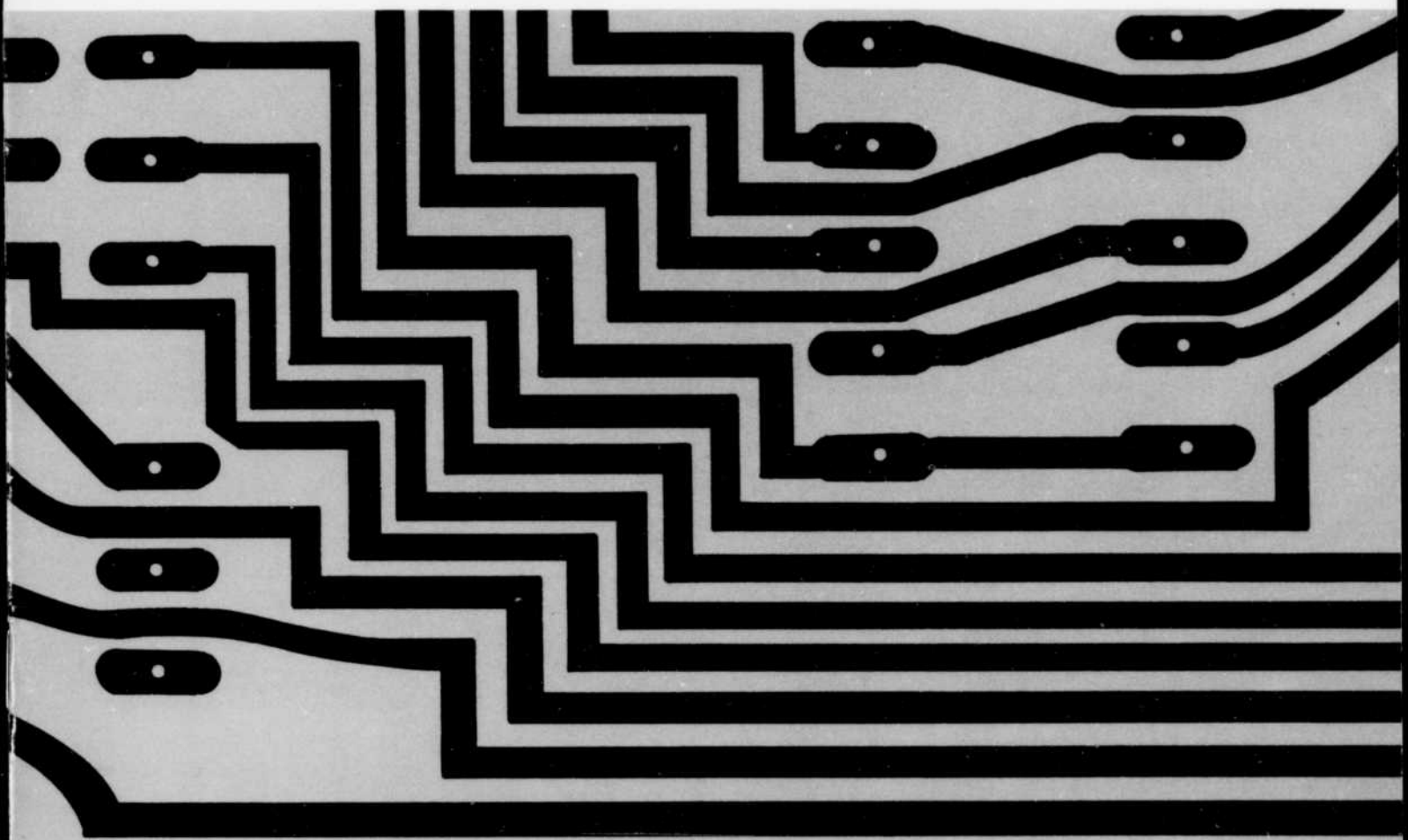




SEPTEMBRE/OCTOBRE 1976
No 315
62^e année

PÉRIODEX

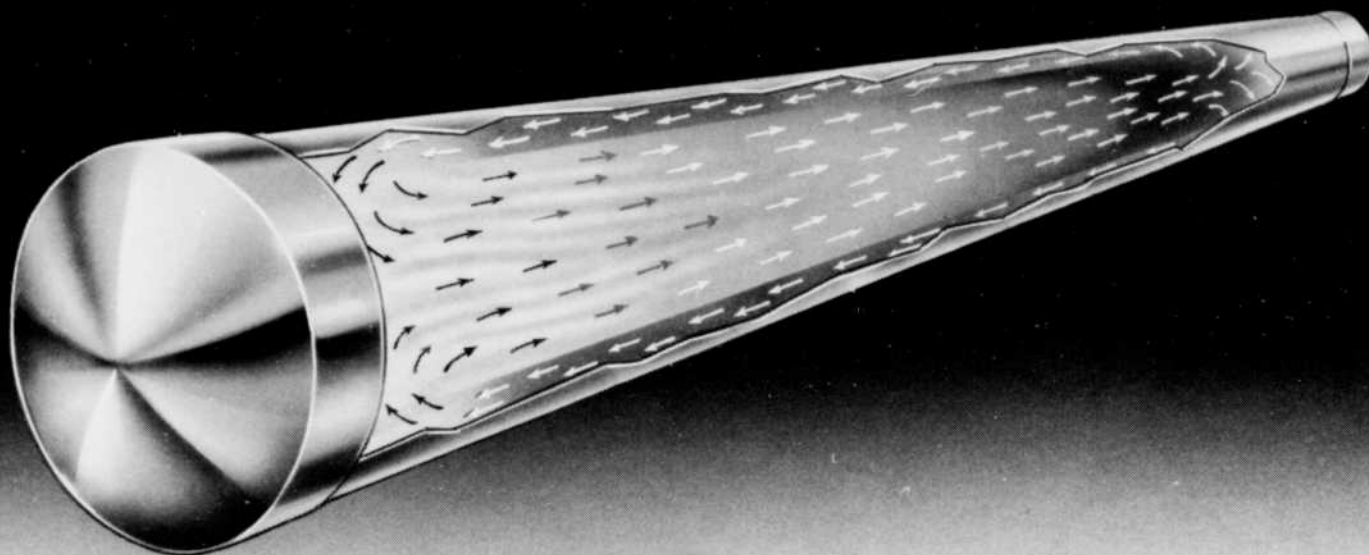
INGÉNIEUR



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

Index Analytique
Service des Bibl. d'Ens.
Gouvernement du Québec
1055, rue de la Chevrotière
Québec, Qué. G1R 5A5

Réduisez votre facture d'énergie avec le récupérateur de chaleur Q-Dot



Un urgent besoin dans le monde

Vu la crise énergétique qui sévit présentement, il est essentiel de trouver des méthodes économiques de récupérer la chaleur qui se perd dans l'évacuation de l'air vicié.

A cet effet, le récupérateur de chaleur Q-Dot est l'invention la plus remarquable de notre siècle.

Le récupérateur de chaleur Q-Dot

Il se compose fondamentalement d'un tube scellé, d'un véhicule d'échange de chaleur et d'une mèche capillaire. Sa surface extérieure à ailettes augmente le rendement. Un cycle évaporation-condensation se produit à l'intérieur du tube sans consommation d'énergie.

Pas d'entretien

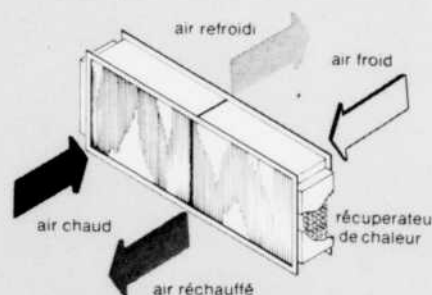
Le récupérateur de chaleur Q-Dot peut durer indéfiniment. Il ne s'use pas car il ne comporte aucune partie mobile. Dans la plupart des cas, aucun raccordement d'eau, d'électricité ou de tuyauterie n'est nécessaire. De plus, s'ils ont été spécialement enduits, le tube et les ailettes ne sont pas sujets à la corrosion atmosphérique.

Aucun danger de contamination

Le récupérateur de chaleur Q-Dot empêche la contamination de l'air frais parce qu'une plaque de métal scellée sépare l'air frais des courants d'air vicié.

Fonctionne de -40°F à $+525^{\circ}\text{F}$

Disponibles dans des longueurs allant de 2 à 16 pieds, les récupérateurs de chaleur Q-Dot peuvent être superposés comme les serpentins à ailettes de modèle courant en sections de 14 à 54 pouces de hauteur.



Nous vous enverrons, sur demande, de plus amples informations au sujet du récupérateur de chaleur Q-Dot.



KeepRite Products Limited,
Brantford, Canada.
Division Unifin, London, Canada.
Bureaux de vente: Halifax, Montréal,
Ottawa, Toronto, Hamilton, London,
Winnipeg, Calgary et Vancouver.

ADMINISTRATION ET REDACTION

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

COMITÉ ADMINISTRATIF

Réal LAUZON, ing.,
président
Jacques DE BROUX, ing.
Roger FYEN, ing.
Roger LESSARD, ing.
André A. LOISELLE, ing.
Michel ROBERT, ing.
Michèle THIBODEAU-DEGUIRE, ing.

SECRETAIRE ADMINISTRATIVE

Yolande GINGRAS

REDACTRICE

Madeleine G. LAMBERT

COMITE CONSULTATIF DE REDACTION

André BAZERGUI, ing.,
directeur
Thomas AQUIN, ing.
René AUDY, ing.
Bernard BÉLAND, ing.
Marcel FRENETTE, ing.
J. Guibert LORTIE, ing.
André MAISONNEUVE, ing.
Robert MORISSETTE, ing.
Michel PARENT, ing.
Thomas J. PAVLASEK, ing.
Robert G. TESSIER, ing.
Charles VILLEMAIRE, ing.

PUBLICITE

JEAN SEGUIN & ASSOCIES INC.
Courtiers en publicité

601, Côte Vertu, St-Laurent, Québec H4L 1X8
Téléphone : (514) 748-6561

EDITEURS

Association des Diplômés de Polytechnique
En collaboration avec l'École Polytechnique de
Montréal, la Faculté des Sciences et de Génie de
l'Université Laval et la Faculté des Sciences appli-
quées de l'Université de Sherbrooke. Publication
bimestrielle. — 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, Biol., Chem., Sci. Abstracts, Periodex et Radar signalent les articles publiés dans L'INGÉNIEUR — ISSN 0020-1138.

Tirage certifié : membre de la
Canadian Circulation Audit Bureau



ARTICLES

3 LA MICROÉLECTRONIQUE HYBRIDE À COUCHES ÉPAISSES

par le Groupe Électronique de l'Université de Sherbrooke

Cet article s'adresse aux non-initiés et discute des circuits intégrés, particulièrement de la technique des couches épaisses. On discute des procédés de fabrication et des applications qu'ont ces différentes techniques.

10 LA PYROLYSE DES DÉCHETS SOLIDES : UNE SOURCE PROPRE D'ÉNERGIE ET DE MATIÈRES PREMIÈRES

par Antoine Théorêt, Ph.D.
André M. Chamberland, Ph.D.
Réal Simard, ing., et
Donat A. Martinoli, D.Sc.A., ing.

Les Services de protection de l'environnement du Québec chargeaient, l'année dernière, un groupe de travail de faire une étude sur les possibilités techniques de la pyrolyse (gazéification) comme moyen d'éliminer et de recycler les déchets solides et les boues d'égout de façon à favoriser, dans un contexte industriel, leur intégration dans notre économie québécoise. Les auteurs, après avoir passé en revue les principaux procédés commerciaux de pyrolyse des déchets, explorent les différentes possibilités d'utiliser les produits de la pyrolyse en tant que source de combustible pour le chauffage urbain ou industriel ou encore comme source de matières premières pour la synthèse de l'ammoniac et du méthanol ou pour la réduction directe du minerai de fer.

25 L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE : ASPECTS TECHNIQUES ET HUMAINS

par Wladimir Paskievici, D.Sc.

Dans une communication présentée au IV^e Symposium du Conseil québécois de l'environnement, l'auteur expose les problèmes associés à l'utilisation de l'énergie nucléaire et traite de divers aspects d'intérêt général.

RUBRIQUES

20 LE MOIS : Chroniques mensuelles

36 RÉPERTOIRE DES ANNONCEURS



M. Gerry Morneau est diplômé de l'Ecole Polytechnique, Université de Montréal, marié et père de trois enfants. Dès ses débuts avec Bechtel en 1966, on lui confia le poste d'ingénieur principal du chantier du projet de construction de la Mine Griffith, à Red Lake, Ontario. Par la suite il remplit des fonctions similaires pour l'usine: Les Poudres Métalliques du Québec à Sorel, la British Aluminium à Baie Comeau et la Iron Ore Company of Canada à Sept-Iles. Il occupe présentement le poste de chef des services soutiens au projet de la Baie James.



"Cette émission ne quitte jamais les ondes"

dit M. Gerry Morneau de Bechtel Canada, ingénieur responsable du programme d'expansion de l'usine de papier journal de la Quebec North Shore Company, à Baie Comeau.

Sur la photo, on aperçoit le convoyeur de tri automatique des billes qui alimente l'atelier ultra-moderne de préparation du bois. Son fonctionnement est sous observation constante grâce à un circuit fermé de télévision. M. Morneau estime que cet atelier est le plus perfectionné que l'on ait jamais réalisé. Ce projet faisait partie d'un plan pour augmenter la production annuelle de papier journal à 470,000 tonnes. Bechtel Canada assumait la direction des travaux de construction "dont le défi n'avait d'égal que sa complexité", selon l'avis de tous ceux qui y participèrent.

Ce projet la Quebec North Shore est un exemple typique d'une multitude de travaux d'importance entrepris partout au Canada. Même si la plupart de ces réalisations sont ignorées du grand public, elles contribuent toutes à la prospérité de tous les canadiens.

Ces réalisations sont rendues possibles grâce aux ressources et à l'habileté des ingénieurs canadiens.



CANADIAN BECHTEL LIMITED

Bâtisseurs au service de l'industrie

Montréal

Toronto

Edmonton

LA MICROÉLECTRONIQUE HYBRIDE À COUCHES ÉPAISSES

par le Groupe Électronique de l'Université de Sherbrooke *

Sommaire

Cet article s'adresse aux non-initiés et discute des circuits intégrés, particulièrement de la technique des couches épaisses. On discute des procédés de fabrication et des applications qu'ont ces différentes techniques.

Introduction

Depuis quelques années l'électronique a évolué rapidement en passant des tubes aux transistors et aux circuits intégrés. Le Groupe Électronique de l'Université de Sherbrooke (G.E.U.S.) s'intéresse à cette technique des circuits intégrés et a déjà quelques réalisations à son actif. Dans cet article, nous présentons, de façon simplifiée, la technique des couches épaisses en plus de mentionner brièvement d'autres techniques.

Historique et évolution

Lorsque les médias d'information annoncèrent timidement la découverte du transistor, au début des années 1950, peu de gens se doutaient que ce minuscule dispositif révolutionnerait le monde de l'électronique. Qui aurait pu prédire que ce nouveau-né, d'apparence banale, grandirait en moins d'un quart de siècle pour rendre des services inestimables à la société ? En fait, le transistor permet la réalisation de grands ordinateurs, de calculateurs de poche, de microprocesseurs, de montres électroniques, de radars portatifs, de satellites de communication et de nombreuses autres applications.

Les auteurs :

Le Groupe Électronique de l'Université de Sherbrooke (G.E.U.S.) est composé de :

M. Gaston Aubé, Ph.D., ing., professeur titulaire
M. Bernard Béland, D.Sc., ing., professeur titulaire
M. Alexandre Kocsis, ing., professeur agrégé
M. Adrien Leroux, M.Sc.A., ing., professeur titulaire
M. Sylvio Richard, M.Sc.A., ing., professeur titulaire

À cause des dimensions réduites du transistor, les manufacturiers n'ont cessé, depuis sa découverte, d'imaginer des façons de l'encapsuler. Les premiers transistors mis en marché étaient enfermés dans un boîtier cylindrique aux dimensions approximatives de $\frac{1}{3}$ de pouce de diamètre par $\frac{1}{4}$ de pouce de longueur. Pourtant, si l'on ouvrait une de ces capsules (figure 1-a), on croyait d'abord qu'elle était vide. Ce n'est qu'à la suite d'une inspection minutieuse que l'on remarquait au fond une pièce luisante d'environ $15 \times 15 \times 2$ MILS (millièmes de pouce) à laquelle étaient normalement attachés deux fils d'or ou d'aluminium de 1 à 2 MILS de diamètre. Il est évident que ce mode d'encapsulation exploitait très peu les petites dimensions du transistor, et l'idée de construire des circuits intégrés apparut au début des années 1960.

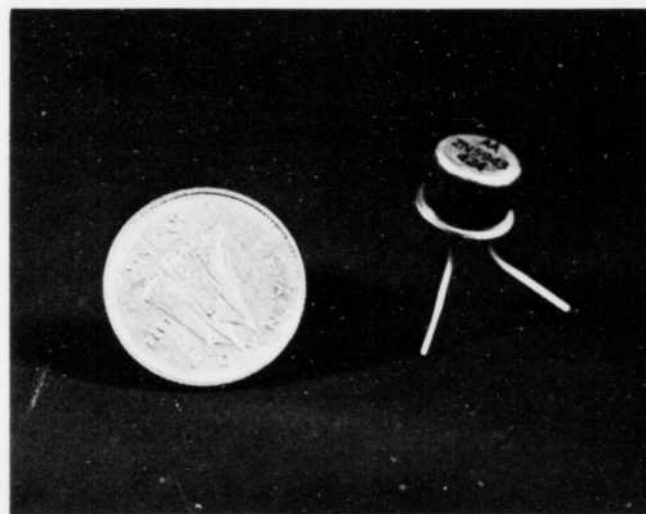


Figure 1a — Boîtier TO-39

Cette technologie consiste à bâtir les composants (résistances, condensateurs, diodes, transistors, conducteurs) sur une pastille de silicium par une extension du procédé « planar » de construction des transistors

(figure 1-b). En utilisant cette technique, on peut entasser des milliers de composants actifs et passifs sur un substrat de silicium d'environ $250 \times 250 \times 3$ MILS, rendant ainsi possible la construction de calculateurs de poche, de montres électroniques, de microprocesseurs et d'autres appareils. Le coût de développement de ces circuits est cependant très élevé et il faut un marché suffisamment important pour le justifier. Le coût des matériaux et de la main-d'œuvre étant presque négligeable, ceci entraîne un coût de production très bas quand le volume est suffisant. Les investissements et le personnel compétent requis pour la construction de ces circuits intégrés monolithiques sont deux paramètres qui ne permettent cette approche qu'aux grandes compagnies et encore !

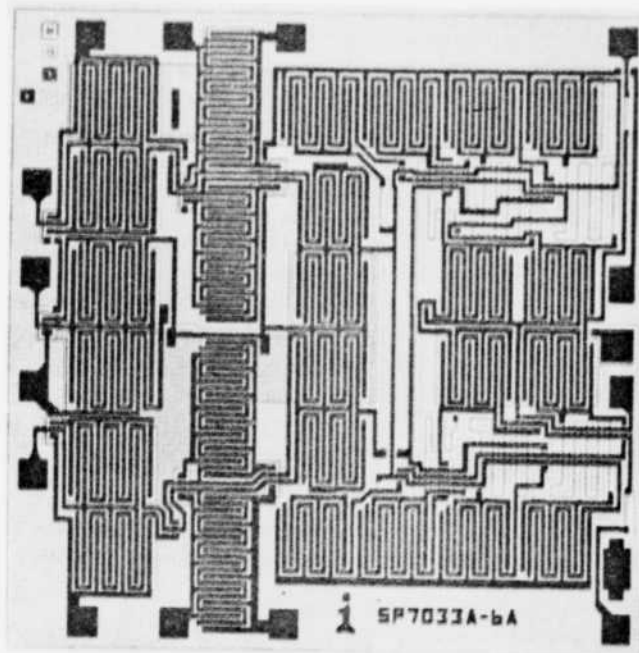


Figure 1b — Circuit monolithique

Pour la plupart des applications où le volume n'est pas suffisant pour justifier le développement d'un nouveau circuit intégré, on assemble les composants standard (circuits intégrés, transistors, diodes, etc...) sur un circuit imprimé en utilisant des dispositifs encapsulés (figure 1-c) ou, encore, on assemble les circuits monolithiques non encapsulés (CHIPS) sur une plaquette de céramique pour les interconnecter avec des conducteurs et des éléments passifs qui peuvent être évaporés sous vide (circuits hybrides à couches minces) ou imprimés par procédé sérigraphique (circuits hybrides à couches épaisses). Il existe aussi des « Monochips » (circuits intégrés non complétés) contenant un assortiment de composants non-interconnectés qu'on peut faire relier entre eux par le manufacturier suivant un devis personnel.

Parmi les quatre dernières méthodes de construction de circuits accessibles à la petite et moyenne industries, nous allons traiter plus en détails la technologie des circuits hybrides à couches épaisses, qui semblent avoir un avenir économique prometteur.

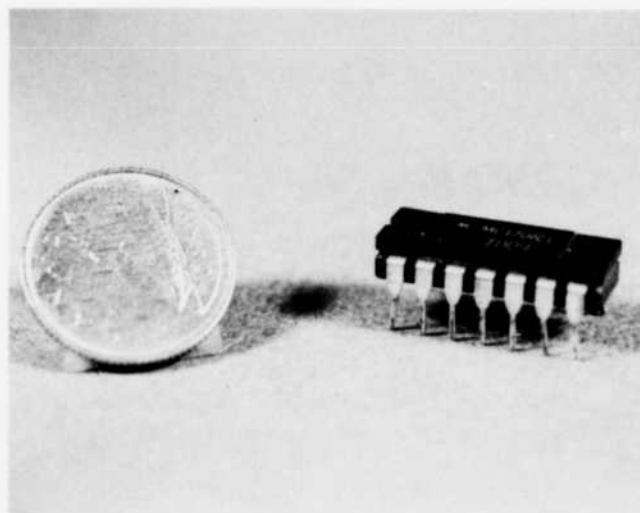


Figure 1c — Circuit intégré D.I.L.

La préparation de masques sérigraphiques pour la fabrication de circuits hybrides à couches épaisses

Les circuits hybrides à couches épaisses utilisent principalement la méthode d'impression sérigraphique. Ce procédé consiste à masquer la surface à imprimer avec un écran ayant des ouvertures correspondant au dessin désiré et à y forcer de l'encre à l'aide d'un racloir (figure 2).

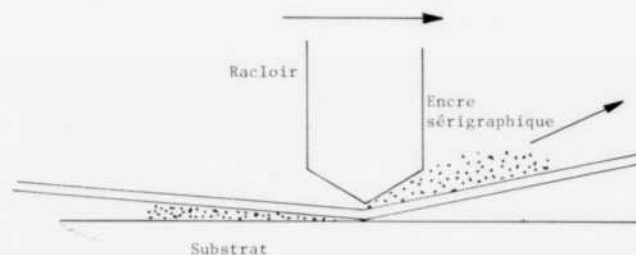


Figure 2 — Impression sérigraphique

La construction du masque

À partir d'une toile d'acier inoxydable contenant environ de 200 à 300 fils au pouce, on forme un écran tendu dans un cadre rigide. On recouvre ensuite cet écran d'une émulsion photosensible qui obstrue les pores de la toile. Cette émulsion sera de type direct (i.e. une pâte que l'on étend sur l'écran) ou de type indirect (i.e. un film de gélatine qu'on fixe à l'écran après le développement photographique). Le dessin désiré sera transféré au masque par :

- 1) contact avec un négatif du circuit ;
- 2) exposition lumineuse ; et
- 3) bain de révélateur dissolvant l'émulsion aux positions d'impression.

Ce négatif est obtenu par réduction photographique (facteur de 20 pour notre laboratoire) d'un plan « Rubylith »[®] à l'aide d'une caméra industrielle (figure 3).



Figure 3 — Réduction photographique

La génération du plan

Sur un papier quadrillé, à une échelle 20 fois la grandeur nature du circuit, on détermine les positions des composantes du circuit (chips, résistances, condensateurs), et on les interconnecte en éliminant autant que possible les croisements de conducteurs. Cette étape de conception mérite un effort particulier pour minimiser le nombre de couches à imprimer. Suivant notre expérience, c'est ici que le succès d'un circuit se décide car il faut bien choisir les matériaux, les dimensions des conducteurs, les espacements, etc... Chacune des décisions pendant la conception influence les techniques de production. Il faut donc très bien penser la génération du plan et le choix des encres.

Une technique utile pour réussir le plan sera d'identifier par des couleurs les diverses couches d'impression qui seront requises pour la fabrication. Normalement, les couches successives seront : conducteur, fenêtres d'interconnexion, isolant, conducteur, résistance, etc...

Le « Rubylith »[®] est constitué d'une mince pellicule de mylar rouge qui adhère faiblement à une feuille de plastique transparente servant de support. Le plan « Rubylith »[®] est obtenu à partir de l'original par superposition, découpage et pelage de la pellicule rouge sur une table traçante (figure 4).

Il ne reste plus qu'à préparer un « Rubylith »[®] pour chaque couleur qui se trouve sur l'original, générant ainsi autant de masques sérigraphiques qu'il y a de couches à imprimer.

L'impression sérigraphique

Pour obtenir une qualité constante et une précision acceptable du procédé sérigraphique, il faut utiliser une imprimante semblable à celle de la figure 5. Les encres

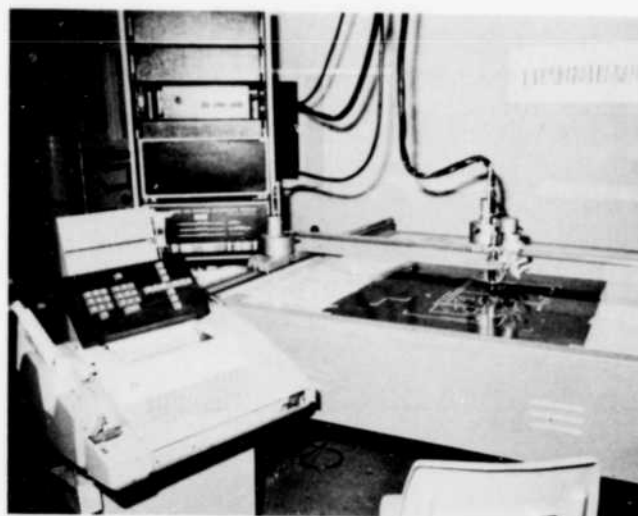


Figure 4 — Découpage du plan

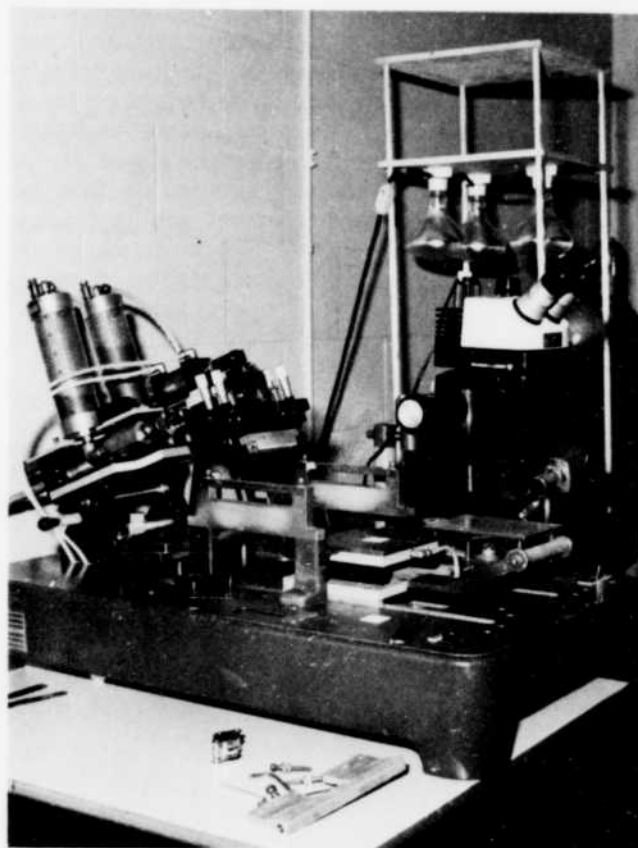


Figure 5 — Imprimante

utilisées à cette fin peuvent être soit conductrices (e.g. Au, PtAg), résistives, isolantes ou encore une encre d'alignement. Ces encres sont constituées d'un mélange de fines particules conductrices ou résistives, et de verre de frittage auquel on a ajouté un liant organique. Lors de la cuisson dans un four, semblable à celui de la figure 6, le liant organique s'évaporerait et le verre de frittage se fusionnerait pour former un agglomérat dans lequel sont emprisonnées les particules conductrices ou résistives. Pour la fabrication d'un circuit hybride à couches épaisses, on imprimera la première couche de conducteurs que l'on fera cuire. En second lieu, on

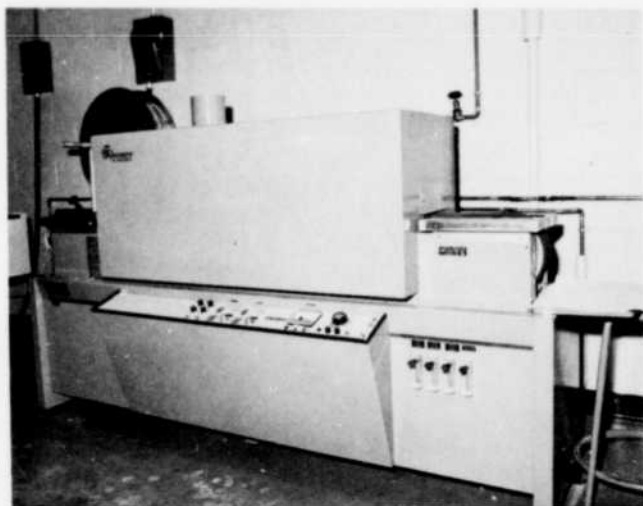


Figure 6 — Four continu

imprimera les fenêtres d'interconnexion avec de l'encre d'alignement (qui se sublimera lors de la cuisson) et deux couches de diélectriques qu'on fera cuire simultanément, donnant ainsi les points de raccordement avec la première couche de conducteur (figure 7). On répète ensuite ce même procédé autant de fois que nécessaire, en ayant soin de s'assurer que les conducteurs de la couche subséquente passent au-dessus des fenêtres. Finalement, on imprime les résistances qui, si nécessaires, après la cuisson, seront ajustées en les taillant soit au jet de sable (figure 8-a) ou au laser (figure 8-b).

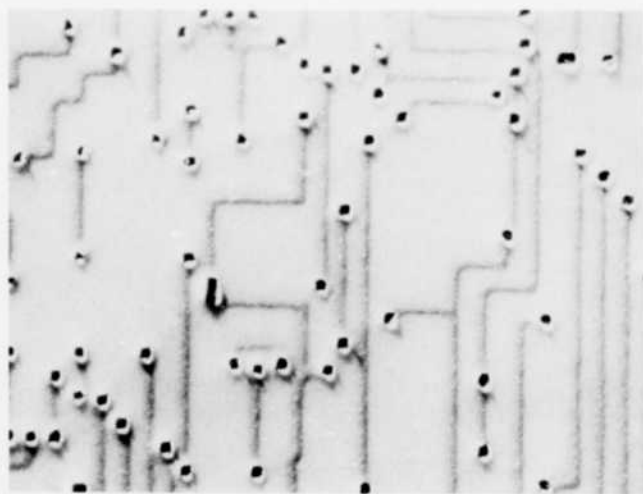


Figure 7 — Fenêtre d'interconnexion

Fixation des circuits monolithiques et encapsulation

Le circuit hybride est maintenant prêt à recevoir les composants monolithiques telles que les transistors, les diodes et les circuits intégrés. Ces éléments sont produits sous plusieurs formes (e.g. « Back Bonded Chip », « Flip Chip », « Beam Lead Chip », etc...) (figure 9), et les plus utilisées sont : le « Back Bonded Chip » et le « Beam Lead Chip ».

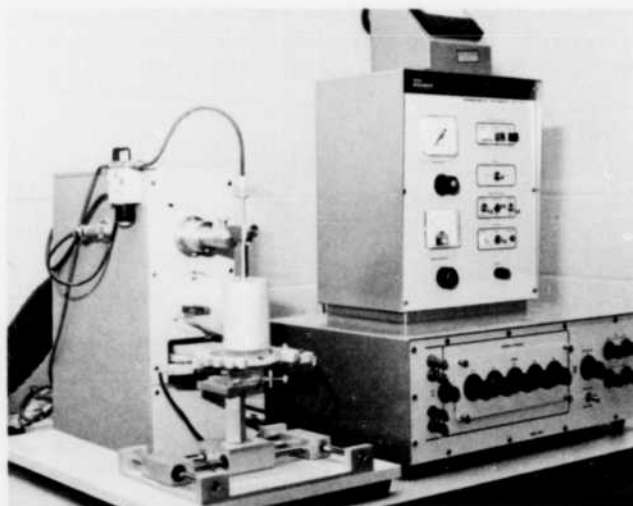


Figure 8a — Ajustage par jet de sable



Figure 8b — Ajustage par laser

Le raccordement au reste du circuit sera par fils et soudure ultrasonique (figure 10) ou par thermocompression. Pour ce qui est des composants passifs non imprimés, leur raccordement se fera avec de l'époxy conductrice à base d'or ou d'argent.

Protection

Le circuit est maintenant complété et il ne reste qu'à le protéger des chocs et des agents extérieurs. Une forme de protection consiste à enduire le circuit d'une pellicule protectrice. On peut de plus le mettre dans un boîtier de plastique (figure 11-a) ou dans un boîtier métallique hermétique (figure 11-b) ou encore l'enrober dans un bloc de plastique coulé.

Considérations économiques justifiant l'utilisation des circuits hybrides à couches épaisses

La technologie des circuits à couches épaisses capture une partie de plus en plus grande du marché de l'élec-

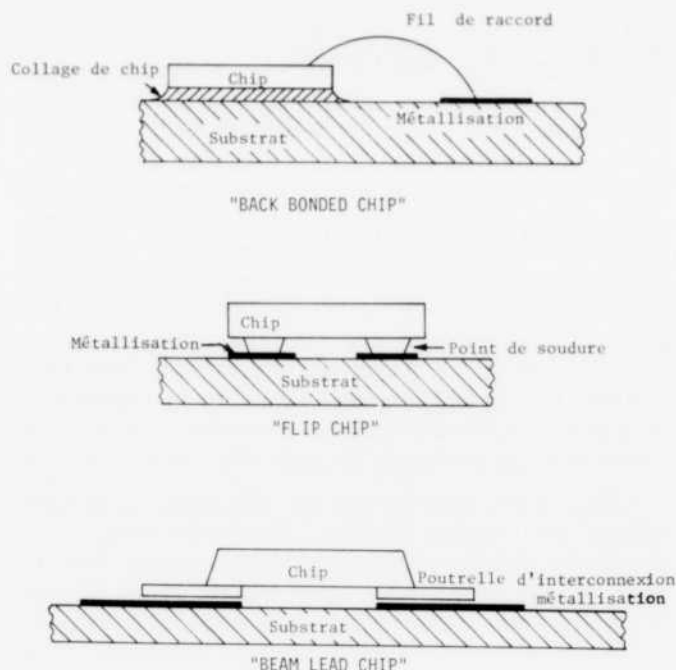


Figure 9 — Montage des chips



Figure 10 — Soudure ultrasonique des fils

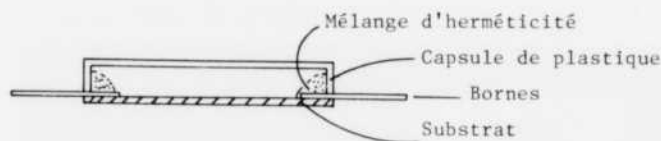


Figure 11a — Boîtier de plastique

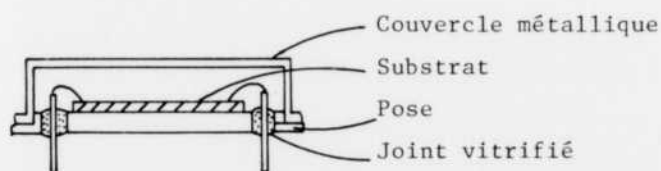
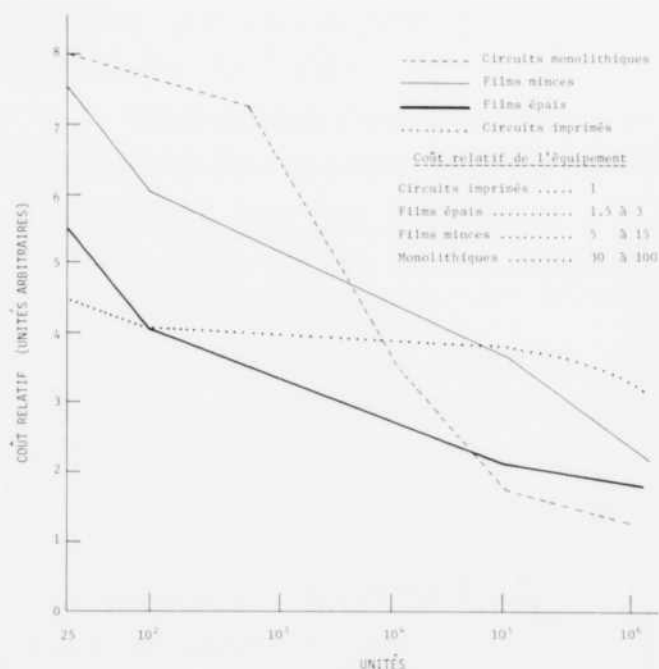


Figure 11b — Boîtier métallique hermétique

tronique, principalement à cause des économies réalisées par ce procédé qui, tout en permettant la fabrication de petites séries à des prix raisonnables, s'adapte très bien à une production massive automatisée. D'après une étude faite par H. Hillen (dans « Circuits Hybrides », p. 14, 1974), la technique des films épais est normalement la plus économique pour des quantités se situant approximativement entre 100 et 10,000 unités (figure 12). D'après cette étude, il semble que pour des petites quantités, le principal compétiteur de l'approche hybride soit le circuit imprimé. Cependant, en plus des principales sources d'économie qui proviennent du fait que les résistances sont imprimées, qu'elles sont ajustables avec une très grande précision, qu'une grande partie des interconnexions par fils sont éliminées, que le circuit imprimé est remplacé par une plaque de céramique, etc..., il existe beaucoup d'autres sources d'économie qu'on tend à oublier. Pour le manufacturier d'équipements, les petites dimensions du circuit hybride entraînent une réduction importante du volume de l'appareil. De plus, celui-ci peut réduire considérablement son inventaire par l'achat de quelques modules hybrides complexes au lieu de quantités d'éléments discrets qui risquent de demeurer à l'inventaire. À cause des propriétés mêmes du substrat de céramique Al_2O_3 servant de support au montage hybride qui est à la fois un excellent conducteur thermique et aussi un très bon diélectrique à très haute fréquence, ces circuits sont très utiles là où la puissance dissipée est importante et aussi pour les micro-ondes. La figure 13 montre un circuit d'oscillateur à 500 MHz qui a été réalisé dans nos laboratoires.



SOURCE: H. Hillen « Circuits hybrides », p. 14 (1974)

Figure 12 — Comparaison des coûts relatifs des techniques de fabrication

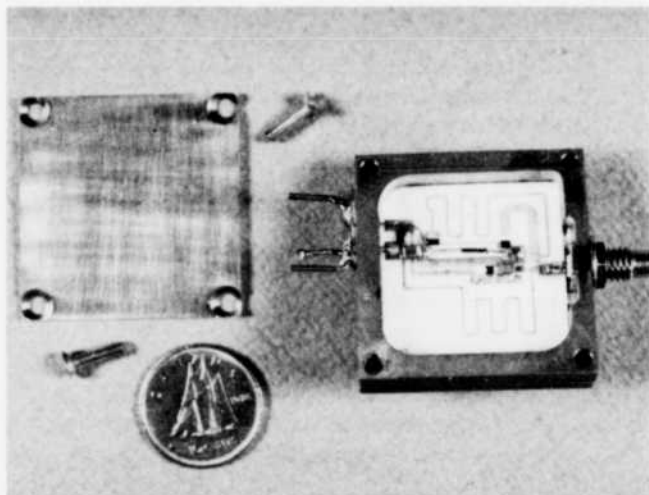
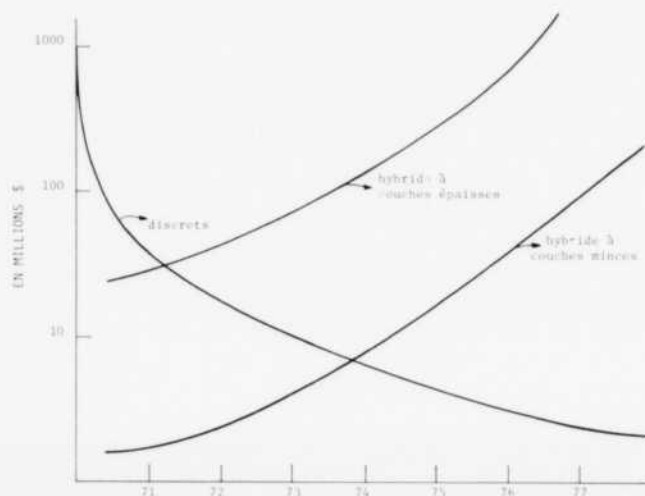


Figure 13 — Oscillateur 500 MHz



Marché mondial (Production militaire non-incluse)

SOURCE : Integrated Circuit Engineering Corporation

Figure 14 — Marché mondial

Conclusion

La technique des circuits hybrides à couches épaisses est très intéressante des points de vue technique et économique. Elle permet la réalisation de circuits complexes, de dimensions réduites et peu dispendieux, lorsque la quantité à produire s'échelonne de quelques dizaines à environ 10,000 unités. L'équipement requis pour cette technique ne coûte que 2 ou 3 fois celui qui est requis par la technique des circuits imprimés (figure 12), ce qui rend cette approche accessible à la petite et la moyenne entreprise. Il est aussi intéressant de noter que, d'après une étude présentée dans « Integrated Circuit Engineering Corporation » (figure 14), le marché des circuits hybrides à couches épaisses croît rapidement au détriment de celui des circuits discrets.

Nous avons présenté une vue très rapide de la technologie des couches épaisses. Nous n'avons pas tout dit ; nous n'avons présenté la technique que dans sa forme la plus élémentaire. Cette technologie en est une de pointe, qui évolue rapidement aussi bien dans sa technique que dans l'application de matériaux nouveaux. ■

BIBLIOGRAPHIE

Handbook of Thick Film Hybrid Microelectronics, Harper, McGraw-Hill.

Thick Film Handbook,
United Corporation Integrated Electronics,
Millmand, Halkias, McGraw Hill.



Société
de Gérance
Sogerin Ltée

Études économiques, Estimations,
Contrôles des coûts, Tendances des coûts,
Soumissions de contrôle, Analyses des soumissions,
Échéanciers-programmation, Traitements des données,
Gérance de projets, Réclamations

5642 est, boul. Léger, Montréal-Nord, suite 202, Qué. H1G 1K5

Tél. : 323-6430

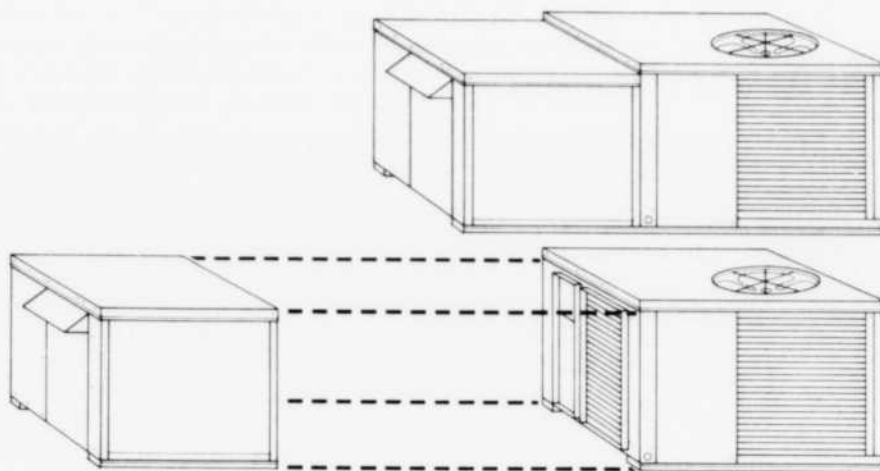


QUÉFORMAT LTÉE

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

FORAGES
ÉTUDES GÉOTECHNIQUES
CONTRÔLE DES MATÉRIAUX

Vous y gagnerez à l'emploi de notre nouvel appareil de toiture



Exigez-le monté sur mesure, en un seul bloc ou détaché, en utilisant le groupe principal avec une chambre d'air existante.

Vous n'avez qu'à choisir comment vous désirez utiliser le nouvel appareil de toiture Carrier pour la climatisation (et le chauffage). Il vous sera fourni entièrement monté en usine, d'une capacité allant de 5½ à 7½ tonnes.

Sa grande souplesse vous permet d'en tirer tout le rendement dont vous avez besoin; vous n'avez donc pas à commander un appareil plus puissant qu'il n'est nécessaire et vous épargnez aussi sur les frais de mise en place.

De plus, ces nouveaux modèles comprennent un tout nouveau

compresseur durable, le meilleur parmi ceux des appareils Carrier de même capacité. Vos clients feront moins de griefs et réaliseront davantage d'économies.

Voici la preuve de sa supériorité.

Le degré d'efficacité de ces modèles de Carrier dépasse déjà les normes que l'on prévoit pour l'industrie en 1980.

Nous avons pour but non seulement de répondre aux normes rigoureuses que l'on prévoit au Canada mais encore de les devancer et même les dépasser.

Pour un nouveau bâtiment, une allonge ou une transformation, exigez le nouvel appareil de toiture de Carrier et choisissez le mode d'installation. Voyez-le chez votre distributeur/entrepreneur Carrier. Vous en verrez le besoin.



LA PYROLYSE DES DÉCHETS SOLIDES: UNE SOURCE PROPRE D'ÉNERGIE ET DE MATIÈRES PREMIÈRES

par Antoine Théorêt, Ph.D.

André M. Chamberland, Ph.D.

Réal Simard, ing., et

Donat A. Martinoli, D.Sc.A., ing. *

Sommaire

Les Services de protection de l'environnement du Québec chargeaient, l'année dernière, un groupe de travail de faire une étude sur les possibilités techniques de la pyrolyse (gazéification) comme moyen d'éliminer et de recycler les déchets solides et les boues d'égout de façon à favoriser, dans un contexte industriel, leur intégration dans notre économie québécoise. Les auteurs, après avoir passé en revue les principaux procédés commerciaux de pyrolyse des déchets, explorent les différentes possibilités d'utiliser les produits de la pyrolyse en tant que source de combustible pour le chauffage urbain ou industriel ou encore comme source de matières premières pour la synthèse de l'ammoniac et du méthanol ou pour la réduction directe du minerai de fer.

Introduction

La protection de l'environnement ainsi que la rationalisation de la gestion de nos sources traditionnelles d'énergie et de matières premières comptent parmi les défis les plus importants que notre société industrielle aura à relever si elle veut assurer sa survie. La crise du pétrole aura contribué dans une large mesure à nous faire prendre conscience de l'épuisement éventuel des ressources de notre milieu physique et à favoriser une

remise en question de nos échelles de valeurs. Les déchets constituent un exemple typique du changement de mentalité qui est en train de s'opérer. En effet, les déchets ont toujours été considérés par nos sociétés industrielles comme un fardeau embarrassant mais nécessaire résultant de notre activité économique. Ainsi on estime qu'au Québec la quantité totale de déchets de source urbaine passera de 6.8 millions de tonnes impériales (6,2 millions de tonnes métriques) par année en 1970 à 18.6 millions de tonnes (16,9 millions de tonnes métriques) en l'an 2000¹.

Nos sociétés ont eu recours jusqu'à maintenant à des moyens simples et expéditifs pour se débarrasser des déchets sans avoir beaucoup d'égard pour les préjudices écologiques qui pouvaient en découler ou pour leur potentiel comme source d'énergie ou de matières premières. L'incinération des déchets fut considérée d'abord et avant tout comme un moyen efficace d'élimination réduisant les préjudices causés à notre milieu par les dépotoirs municipaux. Les responsables de la gestion des déchets avaient pourtant bien conscience de leur potentiel énergétique mais, dans nos sociétés d'abondance, cet apport d'énergie apparaissait alors négligeable et d'une exploitation difficile. Les événements politico-économiques internationaux de ces dernières années ont bien modifié cette façon de voir les choses et aujourd'hui on ne saurait ignorer tout nouvel apport d'énergie ou de matières premières quelles qu'en soient l'origine et la source.

Les exemples d'utilisation des déchets à des fins énergétiques se multiplient rapidement comme en font foi plusieurs réalisations tant sur les continents européen qu'américain². De plus, de nouvelles technologies, telle la pyrolyse, font leur apparition et laissent entrevoir de nouvelles possibilités de recycler les déchets sous forme de combustibles ou de matières premières pouvant satisfaire les besoins des industries de transformation telles que les usines de fabrication de produits chimiques. C'est ainsi qu'en août 1974 les Services de protection de l'environnement du Québec, suivant les recommandations d'un comité d'étude, créé en 1972

Les auteurs :

M. Antoine Théorêt, chef de Programme de recherche en chimie physique et organique de l'Institut de Recherche de l'Hydro-Québec. Les travaux de recherche du Dr Théorêt portent principalement sur les applications de la chimie dans le domaine de la génération d'énergie.

M. André M. Chamberland, chargé de recherche à l'Institut de Recherche de l'Hydro-Québec. Les travaux de recherche du Dr Chamberland portent sur l'utilisation des déchets comme source d'énergie et sur la métrologie des polluants atmosphériques gazeux.

M. Réal Simard, co-associé dans la Société d'Expertise en Environnement Inc. et étudiant post-universitaire pour l'obtention d'une maîtrise en génie de l'Environnement.

M. Donat A. Martinoli, à l'emploi du Groupe SNC depuis 1963. Présentement Directeur de projets chez Canatom Ltée.

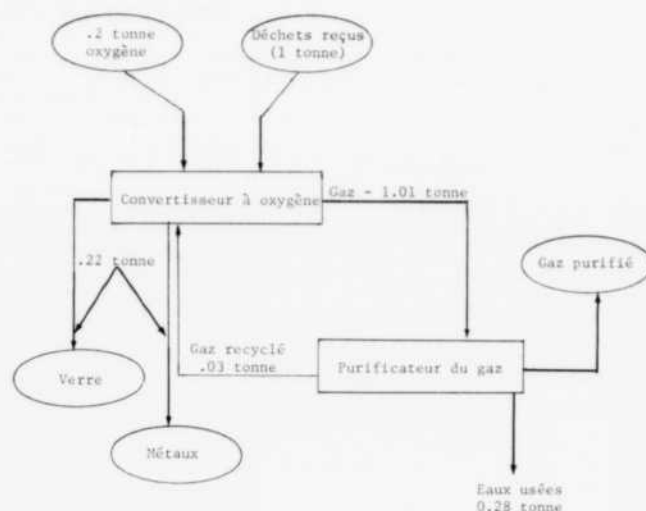
par le Ministre responsable de la qualité de l'environnement et chargé d'étudier la gestion des déchets au Québec, demandaient au Groupe SNC de faire une étude sur les possibilités techniques de la pyrolyse comme moyen de recycler, à des fins utiles, les déchets solides et les boues d'égout. Étant donné les nombreuses expertises effectuées dans ce domaine par l'Institut de Recherche de l'Hydro-Québec, les services de leur personnel scientifique ont été retenus à titre de consultants. Le présent article constitue un résumé des observations et des principaux résultats contenus dans le premier rapport déposé par ce groupe d'étude le 30 mars 1975.

Procédés industriels de pyrolyse

La pyrolyse ou « distillation destructive » est un procédé qui décompose les matières organiques à haute température et dans une atmosphère pauvre en oxygène; elle peut également être considérée comme un procédé de gazéification des déchets. Les avantages et les inconvénients des divers procédés industriels de pyrolyse ont été amplement discutés dans de nombreux écrits^{3,4,5,6}. Le tableau 1 résume l'état de développement et les caractéristiques des principaux procédés actuellement sur le marché ou en voie de l'être.

L'étude de ces divers procédés révèle que la méthode Purox, mise au point par Union Carbide Corporation et de conception différente des autres procédés, présente plusieurs caractéristiques intéressantes du point de vue des applications industrielles. En effet, ce procédé est unique parce qu'il réunit les avantages de l'incinération à haute température, qui transforme la matière inorganique en métal fondu et en verre, et ceux de la pyrolyse, c'est-à-dire la production d'hydrocarbures liquides et gazeux. L'oxygène est introduit à la base du four où il réagit avec les résidus charbonneux formés par la pyrolyse. La chaleur de combustion se maintient autour de 3000°F (1 650°C) et suffit à faire fondre toute matière non combustible. Le système permet de récupérer quatre fois plus d'énergie, sous forme de combustible, qu'il n'en consomme. En effet, seulement 20% de l'énergie totale produite est nécessaire à

PLANCHE 1
PROCÉDÉ PUROX — SCHÉMA DE PROCÉDÉ



sa bonne marche, incluant la production de l'oxygène. Pour les fins de l'étude, nous avons choisi d'étudier plus en détail ce procédé dont le schéma d'opération est reproduit sur la planche 1. De plus, des modifications au niveau de son alimentation en oxygène et de l'utilisation des gaz pyrolytiques résultants sont proposées afin d'en accroître les possibilités industrielles.

En résumé, le procédé Purox se distingue des autres par les éléments suivants :

- (1) Le procédé Purox produit, par tonne de déchets traités, un plus grand volume de gaz pyrolytique de pouvoir calorifique comparable.
- (2) 80% du volume des gaz est composé d'hydrogène et de monoxyde de carbone (tableau 2).
- (3) Les résidus charbonneux ne forment que 2% à 3% du volume initial des déchets.

TABLEAU 2
COMPOSITION CHIMIQUE DES GAZ DE LA PYROLYSE DES DÉCHETS ET DE LA GAZÉIFICATION DU CHARBON
(% EN VOLUME)

PROCÉDÉS	COMPOSANTES	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂	N ₂	C _n H _m	H ₂ O	H ₂ S	Cl ₂	H ₂ /CO
Destugas		55	11	10	18	—	2	4	—	—	5.0
Purox		26	53	3	15	1	2	—	—	—	0.5
Purox & Électrolyse		50	36	2	10	—	—	—	—	—	1.4
Landgard		7	7	3	11	69	2	—	—	—	—
Pyrotek		19	26	13	18	18	6	—	—	—	0.7
Wheelabrator-Frye, Inc. ¹		17 à 27	21 à 29	18 à 22	14 à 24	2 à 4	1 à 13	—	—	—	—
Lurgi		45	27	14	7	6	1	—	—	—	1.7
Koppers-Totzek		21	66	0.1	12	1	—	—	0.3	—	0.3

1. Ces résultats ont été obtenus pour des charges de déchets dont la teneur en boues d'égout variait de 33 à 14%.

TABEAU 1
PROCÉDÉS DE PYROLYSE DES DÉCHETS

PROCEDE	COMPAGNIE RESPONSABLE	USINE PILOTE	USINE INDUSTRIELLE	MAJEURE DE PYROLYSAT	REMARQUES
Destrugas	Pollution Control Ltd. Amaliegade 13 1297 Copenhagen K Denmark	Kalundbord 1971 pyrolyse 5 tonnes/jour L'usine de Kolding (1967) a cessé de fonctionner.	4 usines de 90 à 120 tonnes/ jour en opéra- tion au Japon, en Allemagne et au Danemark.	-gaz: 55% H ₂ , 11% CO, 18% CO ₂ , 10% N ₂ , 10% CH ₄ 3290 kcal/m ³ -résidus: 10% du volume initial de déchets.	Procédé peut être utili- sé pour boues d'égout et déchets solides mais né- cessite 2 installations et 2 traitements diffé- rents. T°: 1470-1830°F, atmosphère appauvrie - pas de triage. Gaz pro- duit similaire à celui produit par la pyrolyse du charbon.
Purox	Union Carbide Corp. Tarrytown, New York USA.	Tarrytown, 5 tonnes/jour. Usine de dé- monstration de 200 tonnes/ jour à South Charleston, Virginia. En exploitation janvier 1974.	Plusieurs d'en- tre elles n'en sont que dans la phase préli- minaire de la conception. 500-2000 ton- nes/jour.	-gaz: 300 BTU/pi ³ 22,000 pi ³ / tonne (net) 47% CO, 14% CO ₂ , 33% H ₂ , 1% N ₂ , 4% CH ₄ . -huile: 14,000 BTU/lb -hydrocarbures solubles	T°: 3000°F Combustion (présence d'O ₂): .18-.20 t.O ₂ /tonne déchets. Pas de triage des déchets; le broyage ne serait pas nécessaire. U.C. fera en 1975 des essais pour pyro- lyser des boues d'égout.
Pyrotek	Pyrotek Inc. 1917 E. St. Andrew Place Santa Ana, California 92705 USA Phone (714) 825-3880 Mr. Gilbert R. Moore	Santa Ana California Unité pilote		-gaz: 385 BTU/pi ³ , 19% H ₂ , 26% CO, 18% CO ₂ , 18% N ₂ , 13% CH ₄ 12,000 pi ³ /tonne (net*) -hydrocarbures liquides 20 lb/tonne -résidus charbonneux 665 lb/tonne *après avoir utilisé le gaz nécessaire à la pyrolyse.	Système très flexible. Vraie pyrolyse, pas d'O ₂ , pas d'air. Pas de triage obligatoire. (inclus dans 130 lb métal/tonne, les résidus 120 lb/verre/tonne, charbonneux Peut pyrolyser des boues d'égout après séchage.
Landgard	Monsanto Enviro-Chem Systems Inc. 800 North Lindbergh Blvd. St. Louis, Missouri 63166 USA Phone (314) 694-1000 Mr. Edsel D. Steward	St. Louis County Missouri 35 tonnes/ jour expéri- menté pendant 2 ans	Prévue à Bal- timore 1,000 tonnes/ jour En exploitation avril 1975.	-gaz: 69% N ₂ , 11% CO ₂ , 7% CO, 7% H ₂ . 100 BTU/pi ³ . -résidus charbonneux: 160 lb/tonne de dé- chets.	T° du four: 2000°F Pas de triage avant la pyrolyse. 140 lb métal/tonne 340 lb verre/tonne Pas d'huile, pas d'eau. But: production de vapeur 330 lb/po ² ; 4,800 lb/tonne.
Garrett R. & D.	Garrett Research and Development 1855 Carrion Road La Verne, California 91750 USA Phone (714) 593-2561 Mr. George M. Mallan	La Verne California 4 tonnes/jour	San Diego California 200 tonnes/jour Projet arrêté à cause de l'in- vestissement qui a grimpé à \$7.5 millions.	-huile 40% en poids 1 bbl/tonne de dé- chets 10,500 BTU/lb d'hui- le -gaz: 27% en poids, 550 BTU/pi ³ , 42% CO, 27% CO ₂ , 10.5% H ₂ 8.9% hydrocarbures C ₃ à C ₇ -résidus charbonneux: 20% en poids -9,000 BTU/lb, 140 lb/ tonne de déchets -Fraction soluble: 13% en poids.	Pyrolyse à 930°F à 1'atmos- phère sans hydrogénation. 90% de la matière inorgani- que enlevée des déchets. 140 lb métal/tonne 100 lb verre/tonne.

Facteurs de conversion (impérial à métrique SI):

1 lb = 0.45 kg

1 tonne impériale = .907 tonne métrique

1 pi³ = 0.028 m³

1 BTU/pi³ = 0.037 MJ/m³

1 BTU/lb = 2 326 J/kg

- (4) Le chauffage des déchets est direct. Il s'effectue en présence de l'oxygène injecté dans le pyrolyseur.
- (5) Le cycle des gaz pyrolytiques est complètement fermé et aucune émission de gaz ne résulte de ce mode de traitement.

Le procédé Purox et l'électrolyse de l'eau

Tel qu'illustré à la planche 1, le procédé Purox utilise 0.2 tonne (200 kg) d'oxygène par tonne de déchets traités. Dans l'industrie, l'oxygène est généralement produit par une liquéfaction de l'air atmosphérique suivie d'une distillation fractionnée. L'électrolyse de l'eau permet également de fabriquer de l'oxygène et de produire en plus de l'hydrogène.

On peut donc concevoir un système hybride de production de gaz, composé de plusieurs modules de pyrolyse Purox, combinés à des modules d'électrolyse de l'eau. L'oxygène obtenu par électrolyse de l'eau serait employé pour le procédé de pyrolyse des déchets tandis que l'hydrogène servirait à enrichir les gaz pyrolytiques.

Cet arrangement présenterait un double avantage :

- 1 - Il permettrait d'augmenter, par l'addition d'hydrogène, le volume des gaz pyrolytiques de 22,000 pi³ à 33,000 pi³ (de 687 m³ à 1 030 m³) par tonne de déchets traités, ce qui aurait évidemment comme résultat d'augmenter le potentiel des déchets comme source d'énergie ou de matières premières.
- 2 - La composition chimique des gaz pyrolytiques, par suite de l'addition d'hydrogène, présenterait un rapport de concentration H₂/CO de 1.5 voisin de celui exigé par les procédés de réduction directe du minerai de fer. L'un de ceux-ci, le procédé Midrex, est employé par la Société Sidbec Dosco à son usine située à Contrecoeur.

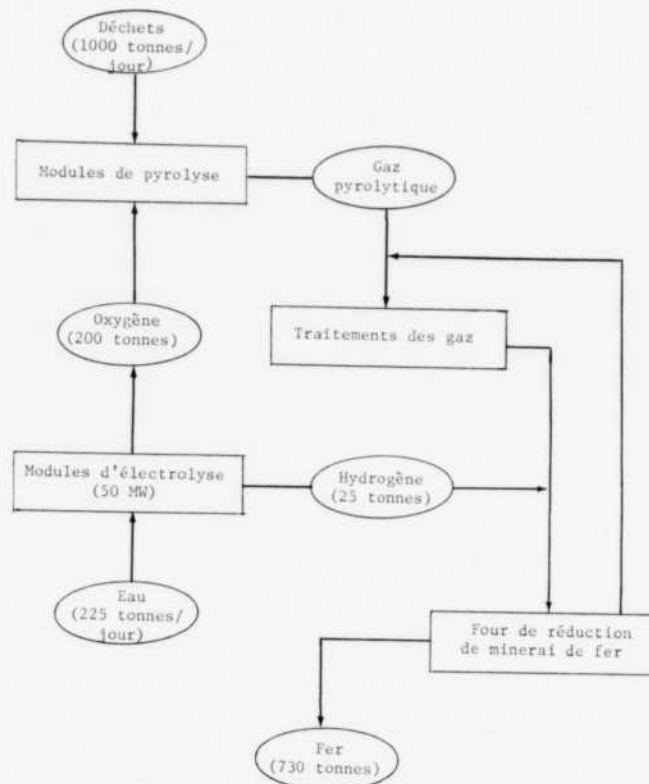
Le schéma d'un système hybride de pyrolyse des déchets et d'électrolyse de l'eau pour une usine de traitement des déchets de 1000 tonnes/jour (900 tonnes métriques/jour) est présenté à la planche 2. Dans cet exemple, les gaz pyrolytiques sont utilisés pour satisfaire les besoins d'une usine de réduction de minerai de fer.

Utilisation des produits de la pyrolyse des déchets

L'incertitude actuelle des marchés et le tarissement prévisible à long terme des sources traditionnelles de gaz naturel incitent plusieurs industries à rechercher de nouvelles sources d'approvisionnement de gaz industriels pour satisfaire leurs besoins futurs de combustibles et de matières premières. La gazéification du charbon représente, certes, la source d'approvisionnement la plus probable et la plus prometteuse comme substitution au gaz naturel. C'est pour cette raison que la recherche sur le développement de nouveaux procédés de gazéification du charbon, plus efficaces et moins polluants que ceux de la génération d'avant-guerre, suscite présentement un grand intérêt. Il ne faut toutefois pas, pour autant, négliger les possibilités des autres

PLANCHE 2 SYSTÈME HYBRIDE DE PYROLYSE DES DÉCHETS ET D'ÉLECTROLYSE DE L'EAU

(Capacité de l'usine : 1 000 tonnes de déchets par jour)



sources potentielles de production de gaz industriels, notamment celles offertes par la pyrolyse des déchets et autres sources de matières organiques.

Source de combustible

Les produits de la pyrolyse des déchets peuvent être utilisés simplement comme combustible pour le chauffage urbain ou industriel, ou encore en tant que source de matières premières pour les besoins de procédés industriels de transformation et de fabrication. La valeur des produits de la pyrolyse sur le marché comme combustible sera fonction dans une large mesure de leur pouvoir calorifique, de leur propreté comme fuel et de l'assurance de pouvoir garantir aux clients éventuels une alimentation constante et continue.

La plupart des pyrolyseurs industriels ont été conçus pour fonctionner à des températures élevées afin de réduire au minimum le volume résiduel des déchets et de favoriser la formation de gaz. Les gaz pyrolytiques présentent toutefois un faible pouvoir calorifique, généralement inférieur à 500 BTU/pi³ (18 630 kJ/m³), comparativement à une valeur de 1000 BTU/pi³ (37 260 kJ/m³) pour le gaz naturel. Pour cette raison et surtout en raison du faible volume de production, comparativement à la demande en gaz naturel, il ne saurait être question d'enrichir ce gaz par un gaz d'appoint ou de le transporter sur de trop longues distances ; par conséquent, il apparaît nécessaire de localiser l'usine de pyrolyse près des utilisateurs éventuels des gaz pyrolytiques.

Les gaz pyrolytiques comme source de combustible pourraient être utilisés pour des fins de chauffage urbain ou industriel ou pour la production d'électricité. Par exemple, à l'usine Landgard de Baltimore, on les utilise à des fins de production d'énergie. Cette usine, d'une capacité de 1 000 tonnes/jour (900 tonnes métriques/jour), utilise les gaz pyrolytiques pour produire de la vapeur qui, vendue à la Baltimore Gas & Electric Co., sert au chauffage urbain.

La compagnie Garrett Research and Development a mis au point un procédé unique de pyrolyse des déchets. Ce procédé, à l'encontre des autres qui ont été conçus pour produire des combustibles gazeux, permet de transformer les déchets en un combustible liquide, ce qui présente plusieurs avantages au point de vue transport et stockage d'énergie. Selon le manufacturier, chaque tonne de déchets permet d'obtenir un baril d'huile pyrolytique de faible teneur en soufre et d'une valeur calorifique de 4.8×10^6 BTU (5 GJ), comparativement à une valeur de 6.4×10^6 BTU (6.8 GJ) par baril pour une huile de type No 6. Avec les déchets disponibles de la région métropolitaine, la production d'huile pyrolytique serait de l'ordre de 3,800 barils/jour (600 000 litres/jour) en 1980 et elle pourrait atteindre au-delà de 9,000 barils/jour (1 430 000 litres/jour) en l'an 2000.

Le tableau 3 fournit une comparaison entre les caractéristiques physiques de l'huile pyrolytique et de l'huile No 6 conventionnelle. Garrett suggère que l'huile pyrolytique soit utilisée pour l'alimentation de centrales thermiques classiques, sans exiger pour autant des modifications majeures à l'équipement existant. Une façon d'utiliser cette huile pyrolytique pour les centrales thermiques serait de mélanger cette huile synthétique à une huile No 6 conventionnelle jusqu'à concurrence de 50%. L'huile ainsi obtenue aurait un pouvoir calorifique supérieur à celui de l'huile pyrolytique tandis que sa teneur en soufre serait inférieure à celle de l'huile No 6, dont la teneur en soufre est de l'ordre de 2.6%. Un tel mélange aurait un pouvoir calorifique acceptable tout en réduisant le niveau de pollution atmosphérique par kWh produit.

TABLEAU 3
PROPRIÉTÉS CARACTÉRISTIQUES DU FUEL N° 6
ET DE L'HUILE PYROLYTIQUE

PROPRIÉTÉ	N° 6	GARRETT (pyrolyse)
Analyse élémentaire en % poids :		
Carbone	85.7	57.5
Hydrogène	10.5	7.6
Azote		0.9
Oxygène	2.0	33.4
Soufre	0.7 - 3.5	<0.3
Pouvoir calorifique, BTU/lb	18,200	10,500
Densité spécifique	0.98	1.30
Densité, lb/gal U.S.	8.18	10.85
Densité calorifique, BTU/gal U.S.	148,840	113,910
Température de pompage, °F	115	160
Température de pulvérisation, °F	220	240

Source de matières premières

La composition chimique des gaz obtenus par différents procédés commerciaux de pyrolyse des déchets et de gazéification du charbon pour les procédés Lurgi et Koppers-Totzek est donnée au tableau 2. Ce tableau montre la riche teneur de ces gaz en hydrogène (H_2) et en monoxyde de carbone (CO). Ces deux gaz jouent un rôle important dans l'industrie. Ils sont surtout employés comme gaz de synthèse pour la fabrication de produits chimiques (ammoniac, méthanol, etc...), comme gaz de traitement dans le raffinage du pétrole ou encore, mais à un degré moindre, comme gaz réducteur dans les procédés de réduction métallurgique. En effet, l'emploi de l'hydrogène plutôt que du charbon (coke) comme agent réducteur dans les procédés de réduction métallurgique demeure encore aujourd'hui une technologie relativement peu répandue.

Le tableau 4 donne une indication des quantités de gaz requis par unité de production pour ces diverses applications industrielles. À titre d'exemple, des 2.06×10^{12} pi³ (58×10^9 m³) d'hydrogène utilisés pour des fins industrielles aux États-Unis en 1968, 42% furent employés pour la synthèse de l'ammoniac, 38% dans les procédés de raffinage du pétrole et 20% pour des applications diverses telle la synthèse de méthanol, naphthalène, cyclohexane, benzène, aniline, etc.⁷.

TABLEAU 4
QUANTITÉS DE GAZ REQUIS
POUR DIVERS PROCÉDÉS INDUSTRIELS

APPLICATION	VOLUME DE GAZ/ UNITÉ DE PRODUCTION
Synthèse de l'ammoniac	~ 80,000 pi ³ H_2 /tonne d'ammoniac
Synthèse du méthanol	~ 110,000 pi ³ H_2 + CO/tonne de méthanol
Raffinage du pétrole (moyenne)	≤ 610 de pi ³ H_2 /baril de pétrole brut
— traitement (Naphte)	50 pi ³ H_2 /baril
— craquage	2,000-2,500 pi ³ H_2 /baril
Réduction du minerai de fer	20,000 pi ³ H_2 + CO/tonne de fer

Facteur de conversion : 1 pi³ = 0.028 316 85 m³

Le gaz naturel constitue aujourd'hui la source la plus importante de gaz industriel. La réaction de réformation catalytique du méthane à 1600°F (871°C) permet de produire, selon les équations suivantes, de l'hydrogène et du monoxyde de carbone requis pour des besoins industriels :



ou



Ces réactions sont endothermiques, c'est-à-dire qu'elles requièrent, pour se produire, un apport extérieur d'énergie par un mode de chauffage quelconque. Il est nécessaire pour certaines applications que le

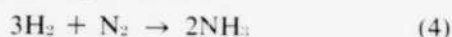
rapport hydrogène/monoxyde de carbone respecte certaines valeurs définies tandis que d'autres applications nécessiteront la conversion complète du monoxyde de carbone en hydrogène. Dans l'industrie ces deux opérations sont réalisées par un procédé de conversion catalytique (shift reaction) :



Selon la réaction d'équilibre ci-dessus, le contrôle des concentrations de vapeur d'eau ou de bioxyde de carbone permet d'ajuster à volonté le rapport de concentration de l'hydrogène et du monoxyde de carbone dans un mélange gazeux ou de transformer complètement le monoxyde de carbone en hydrogène.

Fabrication de l'ammoniac

La fabrication de l'ammoniac est réalisée dans l'industrie par réaction de l'hydrogène avec de l'azote à des températures de 390 à 930°F (200°C à 500°C) et des pressions de 2,000 à 5,000 lb/po² (13 800 kPa à 34 500 kPa), selon l'équation :



Ce procédé de fabrication est basé sur une technologie solidement établie dans l'industrie et la capacité actuelle de production des usines se situe entre 500 et 1,500 tonnes (450 à 1 350 tonnes métriques) par jour. L'ammoniac sert surtout à la préparation d'engrais chimiques pour l'agriculture.

Selon les données du tableau 4, la fabrication d'une tonne d'ammoniac nécessite un volume d'environ 80,000 pi³ (2 265 m³) d'hydrogène, et, comme il a été mentionné précédemment, le procédé Purox de pyrolyse des déchets est susceptible de fournir le plus grand volume de gaz pyrolytiques par tonne de déchets soit 22,000 pi³ (623 m³), desquels on estime que 20,000 pi³ (566 m³) d'hydrogène pourraient être extraits après réformation et conversion catalytique du gaz pyrolytique. Il faudrait donc, selon le procédé Purox, environ quatre tonnes de déchets pour produire une tonne d'ammoniac. Selon les prévisions, les gaz obtenus de la pyrolyse des déchets de la région de Montréal pourraient alimenter une usine de fabrication d'ammoniac d'une capacité d'environ 1,000 tonnes/jour (900 tonnes métriques/jour) en 1980. Le prix de l'ammoniac sur le marché se situe actuellement aux alentours de \$240 la tonne⁸.

Fabrication du méthanol

Le méthanol résulte de la réaction d'un gaz de synthèse composé d'anhydride carbonique, de monoxyde de carbone et d'hydrogène en présence d'un catalyseur.

Les réactions chimiques sont les suivantes :



La production de méthanol aux États-Unis en 1968 atteignait 1.34 × 10⁹ gallons (5 × 10⁹ litres) par année et se détaillait à 17.5¢ le gallon (\$3.05/10⁶ BTU). Les investissements pour une usine de fabrication de méthanol d'une capacité de 20,000 tonnes (18 000 tonnes

métriques) par jour sont de l'ordre de \$150 millions. Une usine de cette capacité produirait, de plus, 200 millions de gallons (900 millions de litres) d'isopropanol et 100 millions de gallons (450 millions de litres) d'isobutanol comme sous-produits. Le méthanol est utilisé dans l'industrie comme solvant et dans la synthèse d'autres produits tel principalement le formaldéhyde. Il faudrait approximativement 110,000 pi³ (3 100 m³) de gaz pyrolytique pour produire une tonne de méthanol. Le gaz pyrolytique devrait cependant subir certaines transformations afin d'augmenter, d'une part, sa teneur en gaz de synthèse (H₂, CO et CO₂) par réformage du méthane résiduel et d'ajuster, d'autre part, dans les proportions voulues le rapport des concentrations de ces différentes composantes.

Selon les prévisions, les gaz obtenus par pyrolyse des déchets pour l'ensemble de la région de Montréal pourraient alimenter une usine de fabrication de méthanol d'une capacité d'environ 700 tonnes/jour (630 tonnes métriques/jour) en 1980.

Raffinage du pétrole

Les raffineries de pétrole utilisent l'hydrogène à deux fins distinctes : premièrement comme gaz de traitement, pour la désulfuration du pétrole brut, l'hydrogénation des hydrocarbures non saturés, la production de composés cycliques tel le cyclohexane, et aussi pour le traitement des huiles lubrifiantes et les carburants pour réactés, à base de kérosène ; deuxièmement, lors du craquage des fractions lourdes du pétrole pour la production de fractions légères dont sont dérivées les essences pour les voitures. Aux États-Unis, près de la moitié du pétrole raffiné est ainsi transformé en essence. La demande d'hydrogène pour les besoins des procédés de raffinage du pétrole devrait croître rapidement au cours des prochaines années et dépasser avant 1980 les quantités de gaz requis pour la synthèse de l'ammoniac. Le tableau 4 donne les volumes d'hydrogène requis par baril de pétrole pour ces divers procédés.

Production de gaz réducteur

La grande majorité des usines de sidérurgie dans le monde utilise le coke en présence d'oxygène dans leurs hauts fourneaux comme agent de réduction du minerai de fer. Les réactions de réduction peuvent s'exprimer de la façon simplifiée suivante :

- Oxydation partielle du coke



- Réduction du minerai de fer



On sait également depuis longtemps qu'un mélange de gaz réducteur formé d'hydrogène et de monoxyde de carbone, obtenu par réformage du gaz naturel (équation 1 ou 2), peut également être employé dans la réduction du minerai de fer.

Selon ce procédé, la réaction de réduction serait la suivante :



Il faut à peu près 20,000 pi.³ (570 m³) de gaz réducteur pour produire, par ce procédé, une tonne de fer. L'usine de Sidbec Dosco à Contrecoeur l'utilise actuellement pour la réduction de son minerai de fer.

Conclusion

L'élimination des déchets urbains posera toujours un problème. Toutefois, les nouvelles technologies de traitement et de recyclage des déchets qui, telles que la pyrolyse, ont fait leur apparition ces dernières années, ont permis de bouleverser les données de ce problème et d'envisager l'avenir avec une plus grande tranquillité d'esprit. Les déchets ne doivent plus être considérés comme un fardeau mais comme une source de matière et d'énergie qu'il est devenu nécessaire d'intégrer dans notre économie par suite du tarissement de nos ressources naturelles, notamment, du gaz naturel et du pétrole. Cet apport d'énergie et de matières premières contenues dans les déchets solides est certes marginal mais ne doit cependant pas être considéré comme négligeable.

La pyrolyse apparaît comme le moyen le plus prometteur d'assurer une gestion rationnelle des déchets qui soit à la fois compatible avec les objectifs des citoyens sensibilisés à la qualité de notre milieu et ceux des administrateurs soucieux d'assurer la rentabilité de cette gestion. En effet, comparé aux autres procédés de traitements des déchets, les risques de pollution occasionnés par la pyrolyse des déchets sont infimes. De plus, la plupart des procédés de pyrolyse, contrairement aux incinérateurs, ne produisent pas d'acide chlorhydrique lequel est particulièrement difficile à traiter. Aussi la pyrolyse représente-t-elle un moyen attrayant sur le plan financier de disposer des déchets d'une communauté. La pyrolyse des déchets offre donc de nouvelles possibilités particulièrement dans les grandes régions urbaines à forte densité de population. Par exemple, les gaz résultant de la pyrolyse des déchets de la région de Montréal pourraient alimenter une usine de fabrication d'ammoniac d'une capacité de 1 000 tonnes impériales (900 tonnes métriques) par jour. Pour les villes de moindre densité, il existe des possibilités multiples d'utiliser les gaz pyrolytiques à des fins de production d'énergie, chauffage urbain et autres. Évidemment pour assurer la réussite d'une politique rationnelle de gestion des déchets au Québec, il faudra que les différents paliers de gouvernement ainsi que les industries concernées ou intéressées soient sensibilisés et consultés dans le but de définir et de planifier une action concertée afin de mieux assurer le succès, tant sur le plan opérationnel que sur le plan financier, de l'implantation éventuelle d'un ou de plusieurs pyrolyseurs au Québec. ■

RÉFÉRENCES

1. La gestion des déchets solides, rapport du comité d'étude créé par le Ministre responsable de la Qualité de l'environnement, Services de protection de l'environnement, Gouvernement du Québec, décembre 1972.
2. Jackson, F.R., *Energy From Solid Waste*, Noyes Data Corporation, New Jersey, 1974.

3. Axelrod, J.M., *Energy Recovery from Solid Waste*, APWA Reporter, October 1974, pp. 24-25.
4. Schulz, H.W., *Air Pollution Free System for the Economic Utilization of Municipal Solid Waste for the City of New York, Phase I, a Critical Assessment of Advanced Technology, Thermal Oxidation processes*, National Science Foundation, Columbia University in the City of New York, April 15, 1973.
5. Wright Engineers Limited, Vancouver, Canada, *Pyrolysis Preliminary Report on the State of Art*, préparé pour Solid Waste Management Division, Environment Canada, March 1973.
6. Snyder, N.W., *Energy Recovery and Resource Recycling*, Chemical Engineering, Deskbook Issue, October 21, 1974.
7. U.S. Atomic Energy Commission Report PB-224 482, *Hydrogen and other Synthetic Fuels*, September 1972.
8. Greek, B.F., *Ammonia Squeeze Loosens, Outlook Stays Good*, Chem. & Eng. News, April 28, 10, 1975.
9. Lyon, S.D., *Development of the modern ammonia industry*, Chem. & Ind., 17, 731, 1975.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à exprimer leur profonde gratitude à messieurs Jean-A. Roy, M.Sc., ing., H.-Claude Lavallée, Ph.D., ing., et Patrice Côté, ing., des Services de protection de l'environnement du Québec, ainsi qu'à monsieur Hugues Marquis, D.Sc.A., ing., de la Société Sidbec Dosco Limitée, pour leurs suggestions et les nombreuses discussions dont ils ont fait bénéficier le groupe. Des remerciements sont adressés également à monsieur Michel Bureau, du Groupe SNC, pour sa participation active à la réalisation de cette étude, et à messieurs Guy Vassort et Pierre Brassard de l'IREQ pour les révisions apportées au texte final.

GRAND SUCCÈS DU TOURNOI DE GOLF DE L'A.D.P.

Sous un soleil magnifique, 200 ingénieurs ont participé, le vendredi 6 août dernier, au tournoi de golf annuel de l'Association, au club de golf de Lachute. On comptait 275 personnes au buffet qui a clôturé la journée. À cette occasion, plusieurs trophées ont été distribués au mérite et de nombreux prix ont été offerts.

REMERCIEMENTS :

Les membres du Comité organisateur du tournoi de golf, ainsi que les membres du Conseil d'administration de l'A.D.P. désirent remercier bien sincèrement tous les commanditaires qui, par leur généreuse contribution, ont permis d'offrir un tournoi de haute qualité.

FÉLICITATIONS AUX GAGNANTS :

- Mme Gilles WHISSEL
(gagnante du trophée pour pointage brut — 44 pour 9 trous).
- Mme Marcel DELAGE
(gagnante du tournoi de coups roulés)
- M. Jean-Paul BOUCHER, '61
(gagnant du trophée pour pointage brut — 75).
- M. Jacques Alepin, '62
(gagnant du trophée pour pointage net — 70.5).

Liste des donateurs

COCKTAIL ET VIN

Archer, Seaden & Associés Inc.
Arsenault, Garneau, Villeneuve & Associés
Bouthillette, Parizeau & Associés
Compagnie Nationale de Forage et Sondage Inc.
Deslauriers, Mercier & Associés
Desourdy Construction Ltée
Laboratoire de Béton Ltée
Laboratoires Ville-Marie Inc. (Les)
Lemieux, Monti, Nadon, Roy, Inc.
Pageau, Morel & Associés
Trudeau, Gascon, Lalancette & Associés

CADEAUX

Asselin, Benoît, Boucher, Ducharme, Lapointe Inc.
Ateliers Électronique Brosseau Inc.
Beauchemin, Beaton, Lapointe Inc.
Philibert Bédard Ltée
Carmel, Fyen, Jacques & Associés
Caron, Racine, Saint-Denis
Chagnon (1975) Ltée
Ciments Canada Lafarge Ltée
Compagnie Miron Ltée
Compagnie Montco (1966) Ltée
Crane Canada Ltd.
Desjardins, Sauriol & Associés
Pierre Desmarais Inc.
Doucet & Doucet Ltée
Paul Dubé & Fils Ltée
Dupuis, Morin, Routhier & Associés

Charles Duranceau Limitée
Enveloppe Montréal Inc.
Francon Ltée
Grace W.R. and Co. of Canada Ltd.
Ingénierie BG Checo Ltée
Jenkins Bros. Limited
La Banque Provinciale du Canada
Laboratoire B-Sol Ltée
Laboratoire Shermont Inc.
La Brasserie Labatt Ltée
La Brasserie Olson Ltée
La Brasserie O'Keefe Ltée
Lalonde, Tétreault & Associés
Lalonde, Valois, Lamarre, Valois & Associés
Claude Lanthier, Jean Saia & Associés
J.C. Lauzon Ltée
J. Bernard Laviguer
Le Groupe SNC
Leroux, Leroux, Nantel, Papin & Associés
Les Constructions du St-Laurent Ltée
Les Estimateurs Professionnels
Les Industries Poly Inc.
Mark Hot Inc.
Raymond Matte & Fils Ltée
Meagher's Distillery Ltd.
J. Meloche Inc.
Mine Equipment Co. Ltd.
Mulco Inc.
Nord Construction (1962) Ltd.
Pepsi Cola Canada Ltée
Petrofina Canada Ltd.
Jean Séguin & Associés Inc.
Services Chimiques et Techniques Inc.
Siemens Canada Ltd.



M. J.-Bernard Laviguer, ing., président et principal de l'École Polytechnique, présente à M. Jean-Paul Boucher le trophée réservé au golfeur ayant obtenu le meilleur pointage brut.



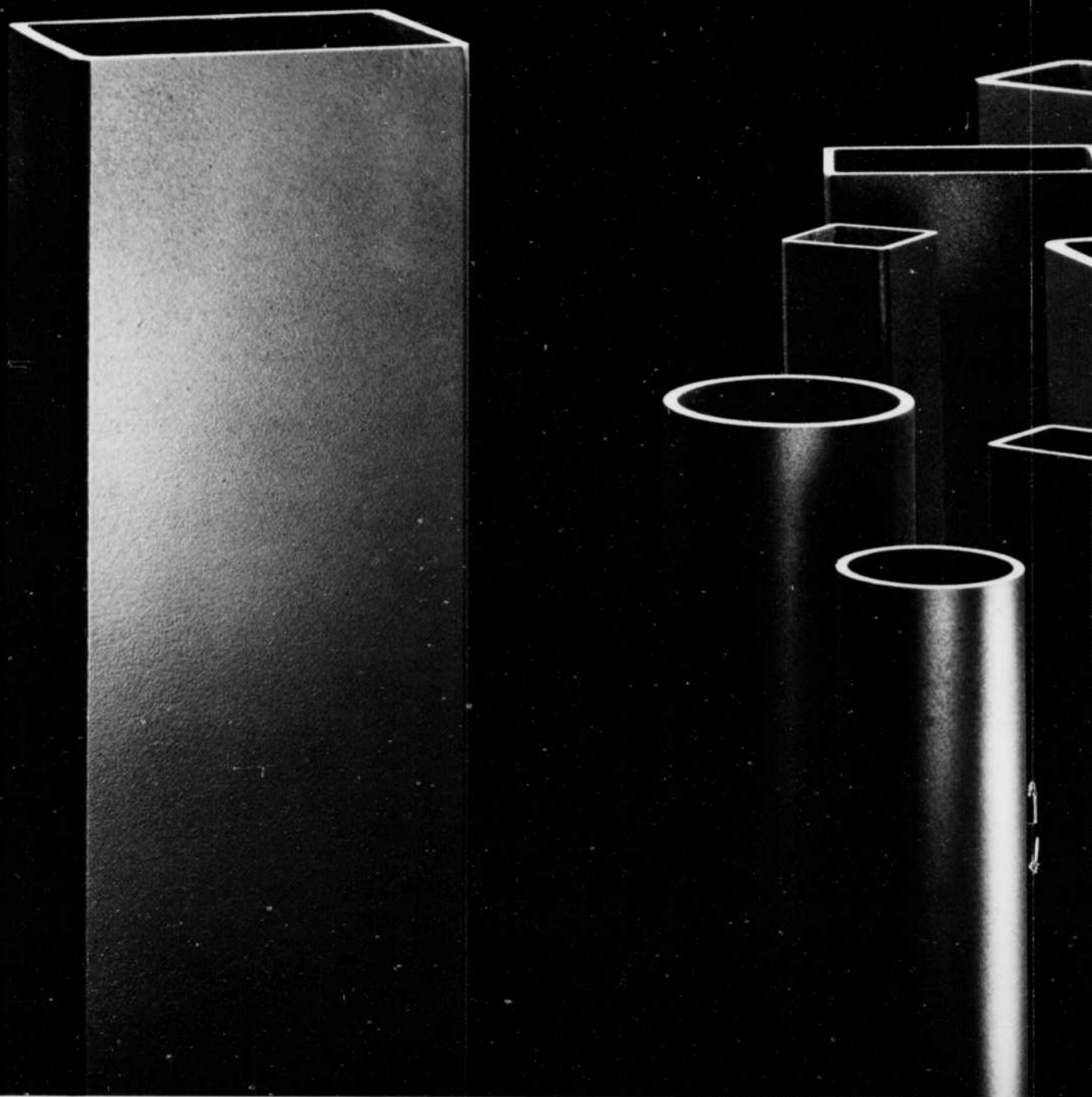
M. Roger Lessard, ing., président de l'Association des Diplômés de Polytechnique, présente à Mme Gilles Whissel le trophée réservé à la golfeuse ayant obtenu le meilleur pointage brut.



M. Jean-Guy Larocque, ing., président du tournoi, présente à Mme Marcel Delage un souvenir pour son exploit au tournoi de coups roulés.

Simard-Beaudry Inc.
Sondage Universel (1964) Inc.
Stinson, Fortier Ltée
Technisol Inc.
Thérien Frères Ltée
Régis Trudeau & Associés Inc.
Trust Général du Canada
Vincent Forgues Automobiles Inc.

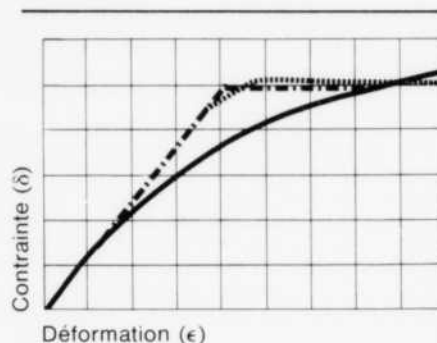
Stelco Classe H



Une classe à part!

Les profils creux de construction classe H de la Stelco, les HSS dotés d'une importante particularité. Conformément aux normes ACNOR G40.20 et G40.21, les HSS classe H de la Stelco sont formés à chaud ou à froid et ultérieurement relaxés. Ces techniques donnent un produit avec de faibles contraintes résiduelles; résultat, la résistance et le rendement sont améliorés.

Les HSS classe H sont des éléments de construction hautement efficaces de formes carrée, rectangulaire ou ronde. Belle apparence et rendement supérieur sont les avantages de la classe H, le HSS de la Stelco.



--- HSS Stelco formé à froid, relaxé — classe H

..... HSS formé à chaud — classe H

— HSS formé à froid — classe C

Comparaison typique des courbes de tronçons courts pour HSS fabriqués selon trois méthodes. Notez la supériorité du produit de la classe H.

Expédier à: The Steel Company of Canada, Limited
Department "A"
Stelco Tower, 100 King Street W.
Hamilton, Ontario L8N 3T1

Prière de m'envoyer la documentation technique suivante sur les HSS:

- ☐ Implications de la norme ACNOR G40.20 sur la fabrication des profils de construction creux
- ☐ HSS Types T and A — weldable, low temperature

- ☐ Profils de construction creux. Dimensions et propriétés des profils
- ☐ HSS Design Manual for Connections
- ☐ HSS Design Manual for Columns and Beams

Nom/titre _____

Compagnie _____

Adresse _____

7601/6F

stelco

The Steel Company
of Canada, Limited

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

LE**MOIS****OFFRES D'EMPLOI****CARNET / DÉCÈS****EN BREF / NOMINATION**

OFFRES D'EMPLOI

— **BERNE HYDRO-MÉCANIQUE LTÉE** (M. André J. Bernier, président) 468, boulevard Roland Therrien, Longueuil, Québec J4H 3V9. Tél.: (514) 670-9670.

Directeur de marketing

Une entreprise en pleine croissance dans le domaine de la construction industrielle (installation mécanique, électrique, tuyauterie) recherche un homme de marketing capable de stimuler les ventes et de participer à l'expansion de la compagnie. Il doit connaître l'industrie de la construction. Il prendra la responsabilité totale du département de marketing, incluant la préparation de soumissions publiques, la publicité, etc., et, à l'occasion, assurera l'exécution technique des projets importants.

Salaire à discuter selon qualifications et expérience. La compagnie offre une gamme complète de bénéfices marginaux et des possibilités de participation aux bénéfices.

Les personnes intéressées sont priées de communiquer avec M. André J. Bernier.

— **BLANCHARD-BOHN, INC.** (M. François Filion, directeur du personnel) 655, boulevard Jean-Paul Vincent, Longueuil, Québec J4G 1R3. Tél.: (514) 871-0033.

Ingénieur industriel

Cette compagnie manufacturière, engagée dans la réfrigération et la climatisation, est à la recherche d'un ingénieur industriel possédant environ trois (3) années d'expérience dans l'industrie du métal, métal en feuille ou produits similaires.

Le titulaire de ce poste aura comme responsabilités:
a) d'analyser et de rationaliser les méthodes de production;
b) d'étudier la possibilité de réduire les coûts de production;
c) d'évaluer les besoins de nouvel équipement; d) d'établir le coût de production de divers produits; e) d'administrer un programme visant à conserver l'énergie.

Les intéressés sont priés de faire parvenir leur curriculum vitae aux soins de M. François Filion.

— **LALLEMAND INC.** (M. Robert Briscoe, président) 1620, rue Préfontaine, Montréal, Québec H1W 2N8. Tél.: (514) 522-2133.

Ingénieur en mécanique, électricité ou chimie

Cette entreprise en pleine expansion (fabrication de levure de bière) recherche un ingénieur bilingue avec quelques années d'expérience dans l'industrie pour prendre la responsabilité du département d'entretien de toute l'usine, ainsi que de la prévention des accidents et de la modernisation de l'usine.

Bénéfices sociaux intéressants — salaire établi selon les qualifications et l'expérience.

Les intéressés sont priés de communiquer avec M. Briscoe.

— **CITÉ DE HULL** (M. Paul Ouimet, service du personnel) case postale 1970, succursale B, Hull, Québec. Tél.: (819) 777-2781, poste 214.

Cette municipalité est à la recherche d'ingénieurs, membres de l'Ordre des ingénieurs du Québec.

1) Ingénieur en circulation (concours 76-65)

Sous la direction du chef de section, le candidat, possédant une expérience d'au moins une année dans le domaine de la circulation et du transport en milieu urbain et ayant à son crédit l'équivalent de 90 heures de cours en transport et/ou en circulation, aura pour tâches: a) la planification de la circulation et du transport dans le cadre des différents programmes; b) la conception ou la vérification de projets d'amélioration; c) l'élaboration de plans et devis types; d) la définition, l'évaluation et la mise en œuvre de plans de contrôle. Une connaissance de base de l'anglais est requise.

Salaire selon la formation et l'expérience — avantages sociaux intéressants.

2) Ingénieur de « design » — Services techniques (concours 76-66)

Sous la direction du directeur adjoint des services techniques, le candidat, possédant un minimum de cinq (5) années d'expérience en génie municipal, aura la responsabilité de la préparation de rapports techniques, d'études préliminaires, de plans, de devis et d'estimations relatifs aux travaux de construction, modification et reconstruction de services municipaux (routes, égouts, aqueduc, pavage, trottoirs, etc.).

Le salaire annuel se situe entre \$16,900 et \$20,500, selon les qualifications et l'expérience — avantages sociaux intéressants.

Note: Pour ces deux postes, les personnes intéressées sont priées de transmettre leur curriculum vitae à l'adresse ci-haut mentionnée.

— **MONTTEL INC.** (M. Conrad F. Johnson, président et directeur général) 225, 4^e avenue (case postale 130) Montmagny, Québec G5V 3S5. Tél.: (418) 248-0235.

Cette entreprise, spécialisée dans la fabrication d'appareillages électriques de moyenne et haute tension ainsi que dans la fabrication de bibliothèques métalliques et autres meubles connexes, est à la recherche d'un ingénieur bilingue, possédant au moins cinq (5) années d'expérience dans le domaine industriel, de préférence dans l'industrie métallurgique pour remplir le poste suivant:

Gérant du génie industriel (production)

Relevant du directeur de l'usine, le candidat choisi aura la responsabilité de diriger, planifier, coordonner et contrôler la procédure et les temps de fabrication de tous les produits, coordonner et réaliser la préparation de tous les projets d'amélioration des facilités en machinerie, outillage et bâtisse.

Le salaire sera à discuter selon l'expérience et la compétence.

Les intéressés sont priés de transmettre leur curriculum vitae ou de communiquer directement avec M. Johnson.

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

— **COLLET FRÈRES LIMITÉE** (M. Georges Thomas, ing.) 1978, rue Parthenais, Montréal, Québec. Tél. : (514) 526-4407.

Cette entreprise est à la recherche d'un ingénieur possédant de quatre (4) à cinq (5) années d'expérience dans la construction générale pour travail d'estimation et de surveillance de travaux de bâtiment et autres.

Salaire à discuter.

Les intéressés sont priés de communiquer avec M. Georges Thomas.

— **ENGINEERING PRODUCTS OF CANADA LIMITED** (M. Michel Milot, ing., directeur général) 150, boulevard Industriel, Boucherville, Québec J4B 2X3. Tél. : (514) 655-9051.

Cette entreprise est à la recherche de deux ingénieurs pour les postes suivants :

Ingénieur métallurgiste (option soudure)

Le candidat sera bilingue et possèdera de deux (2) à cinq (5) années d'expérience pertinente et dont la principale occupation sera de mener à terme un produit de haute technicité qui est présentement au stade d'étude.

Lieu de travail : Boucherville — salaire : de \$15,000 à \$19,000 selon les qualifications et l'expérience.

Ingénieur mécanicien

Le candidat possèdera de quatre (4) à huit (8) années d'expérience pertinente. Il aura la responsabilité de la conception, du choix, de l'adaptation, des études comparatives et de l'implantation de machines et de lignes de production de vaisseaux sous pression.

Lieu de travail : Boucherville — salaire : de \$18,000 à \$24,000 selon les qualifications et l'expérience. Le candidat choisi sera appelé à voyager au cours de la première année.

— **LABORATOIRE B-SOL LTÉE** (M. J.C. Tremblay) 229, boulevard LaSalle, Baie Comeau, Québec G4Z 1S7. Tél. : (418) 296-6788.

Ce laboratoire, spécialisé dans les études géotechniques, le contrôle qualitatif du béton, des sols et du béton bitumineux, est à la recherche d'un ingénieur diplômé en génie civil et possédant de une (1) à cinq (5) années d'expérience pour prendre charge d'un laboratoire de béton-sol et asphalte à Sept-Iles. Le travail de l'ingénieur se répartit de la façon suivante : technique 75%, administration 15%, contact avec les clients 10%.

Salaire selon les normes établies par l'Ordre des ingénieurs du Québec — semaine de 40 heures — autres détails à discuter.

Les intéressés sont priés de communiquer directement avec M. Tremblay.

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

Génie-conseil

Ingénieur en chef (Électricité)

Une firme d'ingénieurs-conseils, connaissant une expansion continue, a un besoin immédiat d'un cadre pour prendre charge du département électrique.

Les candidats(es) à ce poste très important possèdent au moins dix (10) années d'expérience pertinente dans le domaine du génie conseil. Ils (elles) peuvent travailler efficacement en équipe et démontrent des capacités de leadership.

La personne choisie coordonnera tous les efforts des professionnels de son département dans la réalisation technique des projets de sa spécialité. L'ingénieur en chef sera responsable d'un projet, de sa conception à sa réalisation.

Rémunération très intéressante qui tient compte de l'importance de ce poste.

Les intéressés sont priés de faire parvenir leur curriculum vitae aux soins de M. Claude Vézina en référant au dossier #2000.

SIMPLE dès qu'AM y a pensé

Mettez-le en marche—faites vos copies—arrêtez-le. Le PD 600 est facile à entretenir—il suffit seulement de nettoyer le filtre de temps en temps. Il n'y a pas de mélanges de solutions chimiques à préparer parce qu'AM a développé un révélateur en cartouche sans ammoniac qui supprime les odeurs et les conduits de ventilation coûteux. De plus le PD 600 est rapide—départ instantané, 26 pieds à la minute, et des copies jusqu'à 50" de largeur.



PD 600

LE COPIEUR INDUSTRIEL PRATIQUE



ADDRESSOGRAPH MULTIGRAPH
DU CANADA LIMITÉE / DIVISION BRUNING

5850, CÔTE DE LIESSE RD. MONTRÉAL QUÉBEC H4T 1B2

☐ Veuillez bien me faire parvenir une brochure explicative. ☐ Veuillez bien prendre les dispositions nécessaires pour une démonstration.

NOM _____ TITRE _____
COMPAGNIE _____
ADRESSE _____
VILLE _____ PROVINCE _____ CODE POSTAL _____

Un de nos projets... la nouvelle ville de Fermont

Terratech

LTÉE
CONSULTANTS EN GÉOTECHNIQUE

- études de fondations • études d'ouvrages en terre
- géologie de l'ingénieur • essais de béton

275 rue Benjamin-Hudon, Montréal.
Téléphone (514) 331-6910

Quinze années de travail d'équipe à votre service



Beauchemin-Beaton-Lapointe Inc.
CONSULTANTS

génie, planification
et services
multidisciplinaires

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



Contrôle Technique Appliqué Ltée

Services de consultation

Études géotechniques

Contrôle qualitatif des matériaux

Évaluation • Expertises

Essais nondestructifs par radiographies,
ultrasons, infra-rouge

128 rue Elmslie, Montréal, P.Q. H8R 3T7
Téléphone (514) 365-3111



mon-ter-val inc.

société d'expertises

Géotechnique

Géologie

Mécanique des Roches

Contrôle des matériaux

Contrôle de la pollution

1470 rue mazurette, montréal, qué., h4n 1h2, tél. (514) 381-8041

LEBLANC, MONTPETIT, De BROUX & ASSOCIÉS

INGÉNIEURS-CONSEILS

6655, CHEMIN CÔTE-DES-NEIGES
MONTRÉAL, QUÉ. H3S 2B4
TÉL. 514-733-8264

INGÉNIEURS DES PROCÉDÉS Industrie Métallurgique

JUSQU'À \$25,000

Pour le compte d'une société québécoise bien connue dans le secteur de l'industrie métallurgique et opérant plusieurs usines d'importance au Québec et ailleurs au Canada, nous recherchons *plusieurs* ingénieurs d'expérience et ayant œuvré dans le domaine du contrôle des procédés industriels.

Au départ, les titulaires participeront à un programme intense de formation et d'entraînement, (dans d'autres usines métallurgiques au Québec et en Ontario) pouvant s'échelonner sur une période de plusieurs mois et visant à les familiariser avec les différentes techniques modernes reliées au contrôle technique des procédés industriels.

Ils seront ainsi exposés aux problèmes opérationnels et techniques susceptibles d'affecter le rendement et l'efficacité des différents procédés en cours et touchant l'ensemble des opérations unitaires y compris le broyage, le concassage, le séchage, le mixage, la lixiviation, l'enrichissement, les additifs et la calcination.

Par la suite et dépendant de leurs aptitudes, leurs goûts et leurs contributions personnelles et des besoins de la société, ils pourront assumer des responsabilités dans les différents secteurs y compris les opérations, le génie d'usine, l'entretien, les projets, etc...

De préférence nous recherchons des ingénieurs bilingues, diplômés en génie métallurgique, minier, chimique ou mécanique et ayant quelques années d'expérience pratique dans le domaine des procédés. Ils doivent être mobiles et posséder un intérêt marqué pour l'aspect technique des opérations et être en mesure d'assumer à court terme des responsabilités de supervision ou de coordination.

L'endroit de travail est au Québec et le salaire sera en fonction de l'expérience des postulants. Si intéressé veuillez communiquer confidentiellement avec G. Maurice Gilbert, ing., vous référant au dossier MG-129-LI



G. MAURICE GILBERT & ASSOCIÉS

400 Dorchester Blvd. West, Suite 902
Montreal, Quebec. H2Z 1V5.
Tel. (514) 861-9457

Consultants: Human Resources and Career Planning

EN BREF

L'ASSOCIATION QUÉBÉCOISE DE TÉLÉDÉTECTION

Au mois de novembre 1975, l'Association québécoise de télédétection était fondée dans le but de favoriser le développement de cet ensemble de techniques qui permettent d'étudier la surface terrestre et l'atmosphère grâce à leur rayonnement électromagnétique.

À cause de ses propriétés, la télédétection s'avère un outil précieux tant dans l'inventaire des ressources naturelles que dans leur utilisation.

Les personnes spécialistes ou non qui désireraient en connaître davantage sur la télédétection sont priées de communiquer avec le secrétaire de l'Association qui se fera un plaisir d'envoyer l'information demandée et une formule d'adhésion à l'Association, si désirée.

M. Yvan Bastien, secrétaire
L'Association québécoise de télédétection
Case postale 10047
Sainte-Foy, Québec
G1V 4C6

NOMINATION

LAURÉAT DE LA SOCIÉTÉ ROYALE



M. Roger A. Blais, ing.

Lors du congrès annuel des sociétés savantes tenu à Québec en juin 1976, la Société royale a décerné le Prix Bancroft à M. Roger A. Blais, ingénieur-géologue et directeur de la recherche à l'École Polytechnique de Montréal. M. Blais est professeur titulaire de géologie économique et joue un rôle important dans nombre de sociétés savantes et de comités scientifiques. Il est vice-président international d'une association qui groupe 600 géoscientifiques dans 75 pays. Il est le premier Québécois à obtenir ce Prix.

Hewlett-Packard vous offre la HP-25C:

une nouvelle calculatrice programmable,
... qui n'oublie pas les programmes que vous lui confiez.

Grâce à une nouvelle technologie, la HP-25C est dotée d'une mémoire permanente qui conserve les informations contenues dans les 49 pas de la mémoire programme lorsque vous placez le commutateur sur « OFF ». Les 8 registres mémoire adressables et le registre « Last X » sont également protégés. Vous pouvez donc conserver des programmes ou des constantes fréquemment utilisés.

Tout comme la HP-25, la HP-25C utilise la notation polonaise inverse associée à une pile opérationnelle à 4 registres facilitant l'évaluation d'expressions mathématiques compliquées. Elle est aussi dotée des caractéristiques suivantes : 72 fonctions préprogrammées dont les fonctions trigonométriques logarithmiques et statistiques, conversions polaires / rectangulaires, branchements directs et conditionnels, 3 modes de notation, etc...

La Coopérative étudiante de Polytechnique
École Polytechnique — bureau A 403
Campus de l'Université de Montréal
Case postale 6079, succursale A
Montréal H3C 3A7
Téléphone : (514) 344-4841

\$235.



HP-25 : \$170, HP-21 : \$94, HP-22 : \$154, HP-27 : \$218, HP-67 : \$550, HP-80 : \$358, HP-97 : \$910,
piles Ni-Cad, chargeur et étui inclus.



**Juste pour vous
mettre au courant...**

Montel a installé un sectionneur télescopique dans le métro de New York.

Il ne faut se surprendre car Montel s'y connaît en matière d'appareillages et de produits électriques et ceci est le résultat d'une technique et d'une capacité de fabrication éprouvées. Ses prix sont compétitifs et Montel peut rencontrer les exigences les plus technologiques et rigoureuses.

D'un océan à l'autre, l'équipement électrique de Montel a fait ses preuves de précision et d'efficacité dans des projets tels que le métro de Toronto, Jetty Services à Halifax (Ministère de la Défense Nationale), l'aéroport Mirabel, le Stade Olympique de Montréal, Manic 5, L'Hydro-Québec, la Place Desjardins, Hydro Manitoba, Hydro Toronto, Saskatchewan Power et plusieurs autres.

Outre-mer, Montel est rapidement devenu exportateur d'équipement de plusieurs millions destiné à des projets érigés jusqu'en Amérique du Sud et Formose. Et ce, malgré la compétition internationale des prix et des compétences.

Grâce à son association avec des manufacturiers européens aussi réputés que Sprecher & Schuh (Suisse), Balteau et EIB (Belgique) et Heafely (Suisse), Montel peut profiter des expériences de leurs laboratoires hautement équipés ainsi que sur les siens pour la recherche et le développement.

S'il s'agit de disjoncteurs 25 ou 36 Kv, de transformateurs de courant ou de tension, de sectionneurs télescopiques, de parafoudres, de sous-stations type intérieures et extérieures, de tableaux de commande, de centres de distribution, de canibars, Montel s'y connaît. Écrivez ou téléphonez, s'il s'agit d'électricité, Montel peut vous mettre au courant!



MONTTEL INC.

Siege social et usine:

225, 4e Avenue
Case postale 130
Montmagny, Québec
G5V 3S5
Tél.: (418) 248-0235
Télex: 051-3419

Bureaux de vente:

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

Toronto
105, Davenport
Toronto, Ontario
Tél.: (416) 964-6325

Halifax, St-John, Fredericton, Québec, Montréal,
Toronto, Regina, Winnipeg, Calgary, Vancouver.

CARNET

DICAIRE, Jacques, Poly '72, a été nommé récemment au poste de directeur des Services spécialisés du Conseil canadien des Ingénieurs. Au service de Bell Canada depuis sa sortie de Polytechnique, il s'est joint au Conseil canadien des Ingénieurs en octobre 1975.

DRAPEAU, Arnold J., Laval '54, professeur titulaire à la section de l'environnement du département de génie civil de l'École Polytechnique de Montréal, a été nommé évaluateur externe du programme national de recherche et de développement en matière de santé du Ministère de la santé et du bien-être social du Canada.

OUMET, J. Alphonse, McGill '32, président du Conseil de Telesat Canada, est le récipiendaire de la Médaille d'Or des Ingénieurs du Canada pour l'année 1975. La Médaille d'Or des Ingénieurs existe depuis 1972, à la seule fin d'apporter distinction et reconnaissance à des ingénieurs qui ont eu une carrière exceptionnelle.

Le Conseil canadien des Ingénieurs, un organisme national sans but lucratif, a son siège social à Ottawa. Depuis sa création en 1936, le Conseil sert à assurer la coordination des associations d'ingénieurs qui existent dans les dix provinces canadiennes et dans les territoires du Yukon, et à ce titre représente quelque 80,000 ingénieurs canadiens au niveau national et international.

PRIMEAU, Raymond, Poly '53, a été nommé membre du comité exécutif du Conseil économique du Canada.

TANGUAY, Marc, Poly '62, a été nommé au poste de directeur du département de génie minéral de l'École Polytechnique de Montréal pour un mandat de trois ans.

VAUCLAIR, André, Poly '56, a été nommé au poste de vice-président chargé du financement immobilier de La Métropolitaine.

DÉCÈS

L'Association des Diplômés de Polytechnique annonce, avec regret, le décès de quelques-uns de ses membres:

ASSELIN, Louis, '37

BENOÎT, Marc, '44

GAUDETTE, Édouard, '27

GINGRAS, Guillaume, '26

LAROCHE, Jean-Luc, '43

PAINCHAUD, F. Benoit, '13

PIGEON, André, '50

L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE:

ASPECTS TECHNIQUES ET HUMAINS *

par Wladimir Paskievici, D.Sc. **

Introduction

Une étude récente de l'Hydro-Québec¹ sur les prévisions de la demande d'énergie électrique durant les 25 prochaines années donne les chiffres montrés au tableau 1.

TABLEAU 1
PRÉVISIONS DE LA DEMANDE D'ÉNERGIE
ÉLECTRIQUE AU QUÉBEC

ANNÉE	DEMANDE (en mégawatts*)
1975	12 500
1980	17 500
1985	26 000
1990	37 000
1995	54 000
2000	78 000

* Un mégawatt (1 MW) est égal à 1 000 kW.

La réalisation du programme actuel de l'Hydro-Québec assurera les besoins en électricité du Québec jusqu'en 1985. Par la suite, il faudra prévoir quelque 63 500 MW supplémentaires : 52 000 MW provenant de la croissance de la demande durant la période 1985-2000 et 11 500 MW de réserve.

Une première question se pose : quel est le degré de confiance que l'on peut accorder à ces prévisions ? Si l'on peut douter d'une part que le taux de croissance de la demande se maintiendra à la valeur « historique » de 7,5% par année, dans une société de plus en plus consciente de la nécessité d'économiser ses dépenses énergétiques, on doit admettre d'autre part que la rare-

té croissante des combustibles fossiles favorise le passage accéléré à l'utilisation de l'électricité d'origine hydraulique et nucléaire.

Quoi qu'il en soit, acceptons les chiffres précédents comme base de discussion ; acceptons également les prévisions selon lesquelles la puissance supplémentaire de 63 500 MW proviendra des sources¹ listées au tableau 2.

TABLEAU 2
ÉQUIPEMENT DE PRODUCTION, en MW

HYDRAULIQUE	15 000
NUCLÉAIRE	30 000
POINTE	18 500
TOTAL	63 500

Dès lors, deux questions fondamentales se posent :

- l'industrie québécoise pourra-t-elle répondre au défi que représente l'implantation de 30 000 MW nucléaires en 15 ans ?
- la population acceptera-t-elle cette nouvelle source d'énergie ?

La réponse à la première question est de nature essentiellement technique, même si la formation adéquate d'une main-d'œuvre hautement spécialisée constitue une des contraintes imposées au rythme de développement de l'énergie nucléaire.

Pour ce qui est de la deuxième question — la plus importante — sa réponse dépendra de la perception de la société des avantages et des inconvénients de cette nouvelle source d'énergie qu'est l'énergie nucléaire.

L'énergie nucléaire ne doit pas être imposée à la société mais elle doit se faire accepter, à cause des implications à long terme, irréversibles, qu'elle entraîne. Pour la première fois, dans l'histoire de l'humanité, l'homme sent qu'il doit s'arrêter au seuil d'une révolution technologique et se demander s'il doit l'en-

* Texte d'une communication présentée au IV^e Symposium du Conseil québécois de l'environnement.

**

L'auteur :

M. Wladimir Paskievici, D.Sc., est professeur titulaire à l'institut de génie nucléaire de l'École Polytechnique de Montréal.

treprendre, dans quelles conditions et s'il a d'autres choix ! Et il doit décider rapidement car l'inaction peut entraîner des conséquences néfastes.

Dans certains pays, poussés par la nécessité, tels la France, l'Espagne et le Japon, le choix est déjà fait : malgré les protestations de certains groupes de la population, les gouvernements favorisent une politique « tout nucléaire » ; aux États-Unis où le programme nucléaire est le plus développé, on assiste présentement à une controverse croissante. Au Canada, la contestation commence à se faire sentir au Nouveau-Brunswick et en Ontario, tandis qu'au Québec des groupes d'opposition ont fait leur apparition.

Un débat public n'est cependant pas facile : le langage des techniciens n'est pas celui des profanes, les questions soulevées par ceux-ci paraissent mal posées à ceux-là. L'ignorance et la distorsion des faits n'éclaireront pas le débat ; les craintes naturelles ou sciemment provoquées vis-à-vis l'atome (la bombe d'Hiroshima) obscurcissent le raisonnement et la méfiance accrue des gens envers leur gouvernement et les divers groupes puissants d'intérêt ne facilitent pas non plus les choses.

Et pourtant le débat doit continuer, car au-delà de toute controverse d'origine technique — donc surmontable — il s'agit en définitive de la redéfinition de certaines valeurs mises en question aujourd'hui.

Dans cet exposé, on tentera de faire un tour d'horizon des problèmes associés à l'utilisation de l'énergie nucléaire. Dans une première partie, on exposera les aspects techniques indispensables à la discussion consécutive * ; la deuxième partie est consacrée aux aspects écologiques qui intéressent particulièrement les groupes soucieux de la protection de l'environnement et, finalement, la dernière partie portera sur d'autres aspects controversés, de nature plus générale.

À cause des limites imposées à la durée de cet exposé, les sujets seront traités de façon simplifiée ; pour une étude plus approfondie la lecture d'autres ouvrages est recommandée ²⁻¹².

Aspects techniques

La fission

Examinons d'abord les principaux aspects physiques de la fission nucléaire et des phénomènes qui l'accompagnent.

a) Instabilité des noyaux lourds

À partir d'un certain numéro atomique, les noyaux deviennent instables vis-à-vis la fission. Ainsi, les isotopes U^{233} , U^{235} , Pu^{239} , etc. éclatent très facilement lorsqu'une particule pénètre dans leur intérieur, même si celle-ci n'apporte pratiquement aucune énergie ciné-

tique avec elle. La probabilité de fission varie beaucoup avec l'énergie de la particule incidente ; ainsi, pour les neutrons « lents », cette probabilité est quelque cent fois supérieure à celle des neutrons « rapides ». Cette caractéristique est exploitée dans les réacteurs appelés « lents » (ou « thermiques »).

Les noyaux cités plus haut peuvent également fissionner spontanément. Ce phénomène, extrêmement rare, peut servir cependant pour amorcer dans un réacteur la réaction en chaîne.

D'autres isotopes lourds, tels que Th^{232} , U^{238} , beaucoup plus abondants dans la nature que les premiers, ne peuvent fissionner qu'avec des neutrons rapides ; mais, même alors, la probabilité est beaucoup plus faible que dans le premier cas. Par contre, ils absorbent les neutrons lents et se transforment, après plusieurs étapes, en matière fissile par excellence : U^{233} et Pu^{239} .

Cette propriété, tout à fait remarquable, n'est que partiellement exploitée dans les réacteurs lents où une faible partie seulement de l'isotope « fertile » U^{238} , dont la concentration est de 99.3% dans la nature, se « convertit » en matière fissile Pu^{239} . Par contre, dans les réacteurs « rapides », on compte sur une transformation aussi complète que possible — ce qui équivaut à multiplier par environ cent les ressources énergétiques disponibles pour la fission.

b) Production de neutrons

La fission d'un noyau lourd est généralement accompagnée d'une émission de neutrons, en moyenne de 2.5 neutrons/fission. Ce phénomène permet, d'une part, l'entretien d'une réaction en chaîne — pour chaque neutron d'absorbé, il y aura au moins un neutron de formé qui produira une autre fission — et, d'autre part, la « conversion », selon le processus décrit plus haut, d'une partie de la matière fertile en matière fissile. Si ce taux de transformation est plus élevé que celui de consommation de la matière fissile initiale, on se retrouve devant une situation remarquable : il y a plus de matière fissile produite que de matière fissile consommée. C'est sur ce principe physique que sont basés les réacteurs appelés « surrégénérateurs ».

c) Production d'énergie

La fission d'un gramme d' U^{235} libère une énergie d'environ 1 mégawatt-jour, soit 24 000 kWh. Du point de vue énergétique, on a l'équivalence :

$$\begin{aligned} 1 \text{ g } U^{235} &= 2.5 \text{ tonnes de charbon} \\ &= 2.0 \text{ tonnes de pétrole} \end{aligned}$$

De ces chiffres, on peut déduire qu'une centrale de 1 000 MW de puissance électrique consomme durant un an environ une tonne de matière fissile ou 2 500 000 tonnes de charbon, selon que le combustible est nucléaire ou fossile.

C'est cette concentration d'énergie qui constitue l'attrait principal de l'énergie nucléaire.

* Note : Dans le texte intégral de la conférence, l'auteur avait ajouté quelques données sur l'effort nucléaire au Canada et dans le monde. Ces données peuvent être retrouvées dans le texte « L'Énergie nucléaire : perspectives actuelles » présenté dans le numéro de novembre/décembre 1975 de L'INGÉNIEUR.

d) Radioactivité des produits de fission

Les produits de fission sont radioactifs et leurs descendants le sont aussi pendant plusieurs générations. La radioactivité totale des produits de fission est considérable : quelque 130×10^{11} curies par année pour un réacteur de 1 000 MW, soit l'équivalent de la radioactivité de 130 tonnes de radium.

Pour cette raison, le problème majeur associé à l'exploitation commerciale de l'énergie nucléaire est et restera le confinement des matières (ou « déchets ») radioactives, opération indispensable en vue d'assurer une protection adéquate au personnel d'exploitation et au public en général vis-à-vis les méfaits des radiations. Ce problème sera repris plus loin.

Le réacteur

Une centrale nucléaire est composée généralement des parties suivantes (figure 1) :

- a) le réacteur qui constitue la source de chaleur ;
- b) le circuit caloporteur primaire qui comprend un fluide en mouvement, actionné par une pompe, qui enlève la chaleur produite par le réacteur, la transporte au générateur de vapeur où il la cède au fluide du circuit secondaire ;
- c) le circuit secondaire, du type classique, comprenant le générateur de vapeur, la turbine — couplée à l'alternateur, le condenseur et la pompe alimentaire ; dans ce circuit, le fluide, généralement de l'eau, se transforme en vapeur, fait tourner le turbo-alternateur et se condense pour recommencer le cycle.

Les principales composantes d'un réacteur sont (fig. 2) :

- a) le COMBUSTIBLE qui peut être de l'uranium naturel, de l'uranium enrichi (la concentration isotopique de U^{235} est artificiellement augmentée) de U^{235} pratiquement pur, de Pu^{239} ou d'un mélange de ces deux derniers.
- b) le MODÉRATEUR, une substance qui ralentit les neutrons afin d'augmenter la probabilité des fissions. Comme modérateur, on choisit habituellement entre l'eau ordinaire, l'eau lourde (comportant l'isotope lourd de l'hydrogène H^2) et le graphite. Bien entendu, les réacteurs rapides sont dépourvus de modérateur.
- c) le CALOPORTEUR, un fluide qui enlève la chaleur produite par le combustible. À cette fin, on utilise encore l'eau — naturelle ou lourde — le gaz carbonique, l'hélium et, dans le cas des réacteurs rapides, le sodium fondu.
- d) le BLINDAGE, ou l'écran de protection, qui empêche les rayonnements — neutrons et rayons γ — de sortir du réacteur. Le blindage est en général en béton lourd.
- e) le SYSTÈME DE COMMANDE, comprenant des appareils de détection et des dispositifs à fonctionnement automatique ayant pour but de diminuer le nombre de neutrons lents à l'intérieur du réacteur. Cela peut se faire grâce à l'introduction des substances absorbantes (bore, cadmium, etc.) ou par diminution du niveau du modérateur.

Le bâtiment du réacteur de Gentilly 2 est montré à la figure 3.

Système CANDU d'énergie nucléaire à eau lourde sous pression

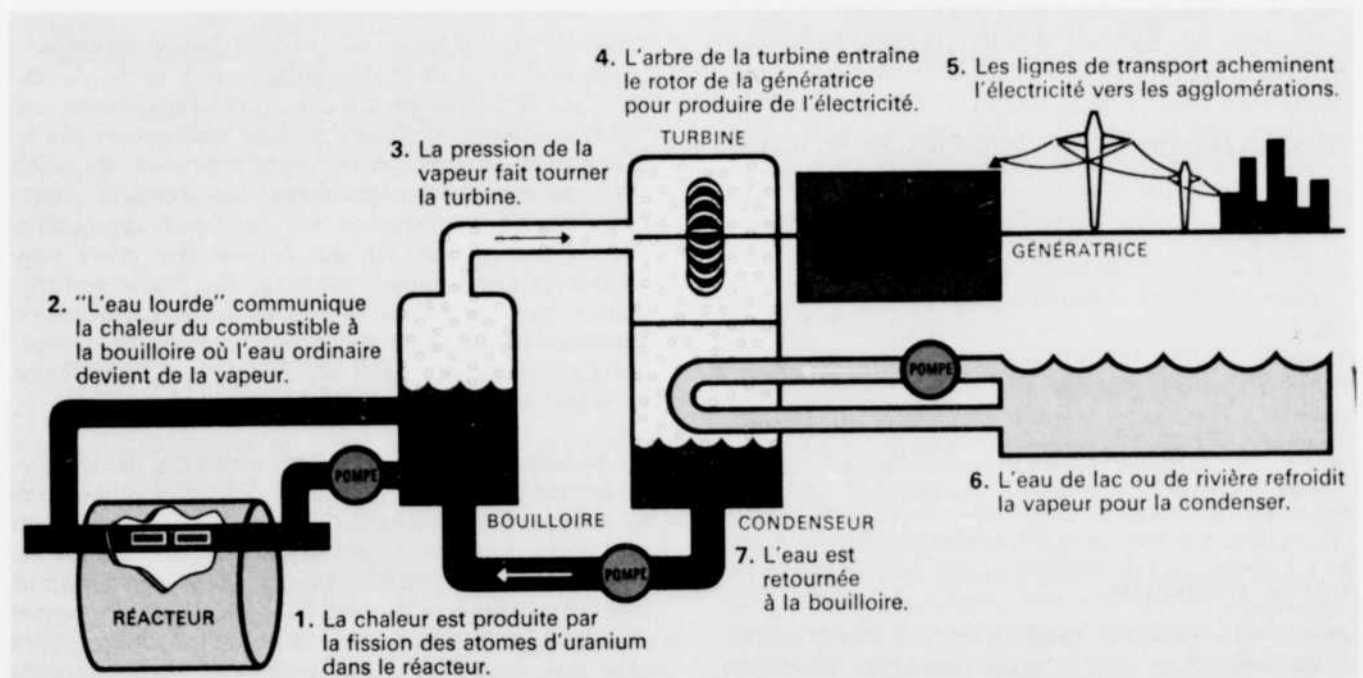


Figure 1 — Schéma d'une centrale nucléaire du type Candu.

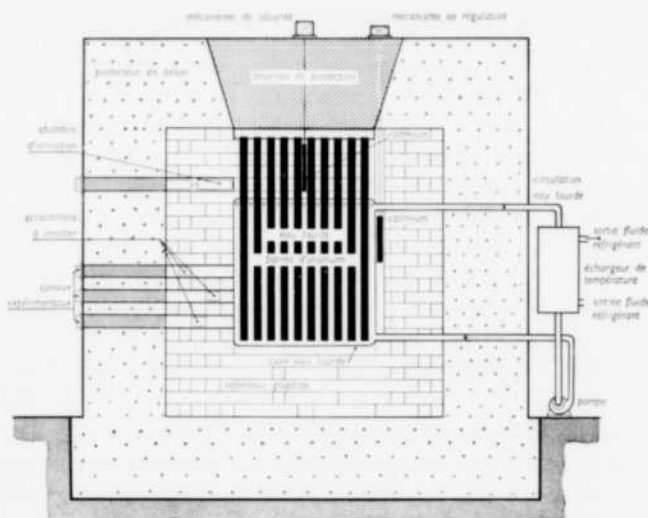


Figure 2 — Composantes d'un réacteur expérimental.

Les filières

Comme les spécialistes nucléaires le savent fort bien, on ne peut combiner n'importe quel combustible avec n'importe quel modérateur. Ainsi, par exemple, si l'on a décidé, comme au Canada, d'utiliser de l'uranium naturel, l'eau naturelle est automatiquement exclue comme modérateur et le choix reste entre le graphite et l'eau lourde. La France et l'Angleterre avaient porté leur choix sur le graphite — pour abandonner par la suite cette voie —, le Canada, sur l'eau lourde. Par contre, les États-Unis ont développé la combinaison uranium enrichi-eau naturelle.

Une « filière » est une combinaison — combustible, modérateur, caloporteur — menant à la réalisation d'une centrale d'énergie. Dans le tableau 3 on résume les caractéristiques de ces filières, tandis que dans les figures 4, 5 et 6 on montre les schémas de fonctionnement des réacteurs à eau sous pression, à eau bouillante et au gaz. La figure 7 montre, pour compléter, le schéma d'un réacteur rapide, refroidi au sodium.

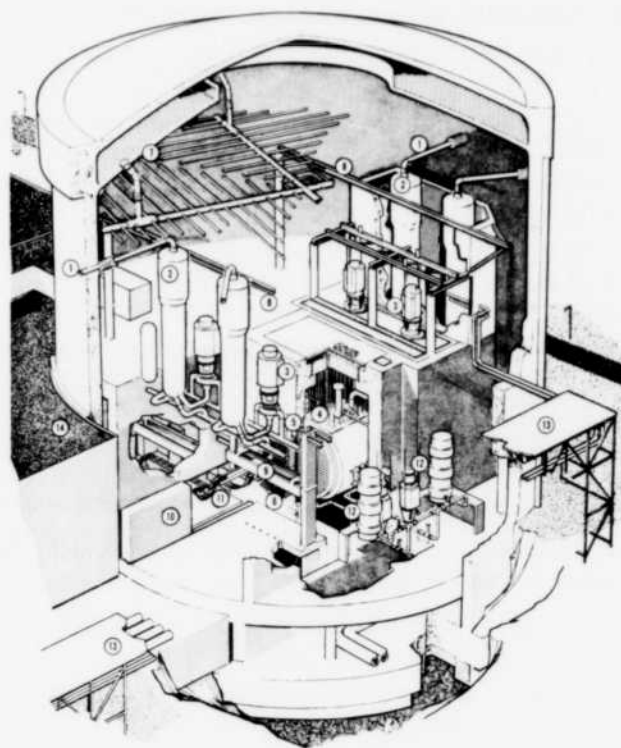
TABEAU 3

CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPALES FILIÈRES

DÉSIGNATION	PAYS	COMBUSTIBLE	MODÉRATEUR	CALO-PORTEUR
PHWR	Canada	U naturel	Eau lourde	Eau lourde (sous pression)
PWR	U.S.A.	U enrichi	Eau	Eau (sous pression)
BWR	U.S.A.	U enrichi	Eau	Eau (bouillante)
HTGR	U.S.A.	U enrichi + Th	Graphite	Hélium
AGR	U.K.	U enrichi	Graphite	CO ₂

Aspects écologiques

Les effets de l'industrie nucléaire sur l'environnement, depuis l'extraction de l'uranium jusqu'à la disposition définitive des déchets et en passant par la fabrication du combustible, son retraitement — pour les réac-



1. Principales canalisations de vapeur
2. Générateurs de vapeur
3. Pompes principales du circuit primaire
4. Cuve
5. Collecteurs
6. Canaux de combustible
7. Réserve d'eau d'aspersion
8. Rails de grue
9. Machine de chargement du combustible
10. Porte d'accès aux machines de chargement
11. Caténaire
12. Pompes du modérateur
13. Passerelle de canalisations
14. Bâtiment de service

Figure 3 — Disposition générale du bâtiment du réacteur de Gentilly.

teurs du type américain —, le fonctionnement des centrales nucléaires, leur démantèlement à la fin de leur vie utile et le transport des matières radioactives, ont fait et continuent de faire l'objet de nombreuses études. D'une part, nos connaissances sur chacun de ces sujets ont grandement augmenté durant ces dernières années avec, comme conséquence, une meilleure appréciation des mesures préventives qui doivent être prises pour assurer une protection adéquate de l'environnement ; d'autre part, on assiste également à une augmentation considérable du nombre des personnes ou de groupes qui s'inquiètent des effets nocifs de l'énergie nucléaire, ou même qui s'opposent à son développement.

Le développement parallèle du nombre de nos connaissances et de celui des oppositions au fait nucléaire ne manque pas d'étonner l'observateur. Les opposants expliquent facilement cet état de choses : « Plus on apprend sur le nucléaire, plus ça nous convainc que c'est dangereux ! ». À quoi les promoteurs rétorquent avec la même assurance : « Les nouvelles connaissances sont mal assimilées ; elles produisent des confusions qui, entretenues ou manipulées, engendrent la méfiance, voire l'hostilité. La vérité met du temps à s'imposer ! ».

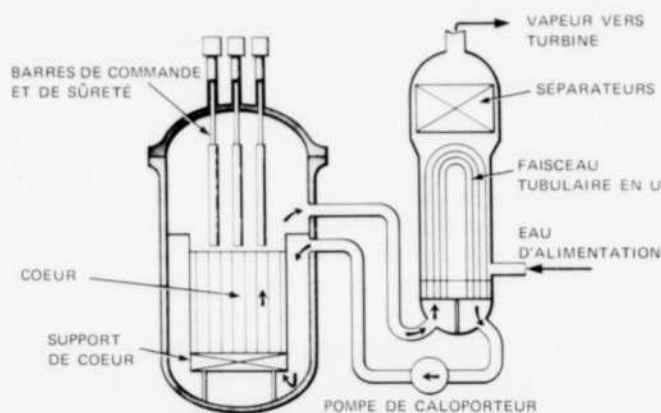


Figure 4 — Schéma d'un réacteur PWR.

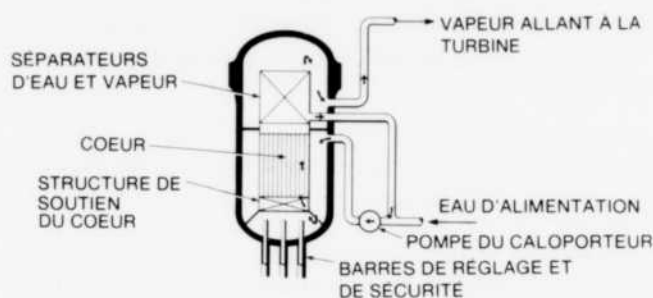


Figure 5 — Schéma d'un réacteur BWR.

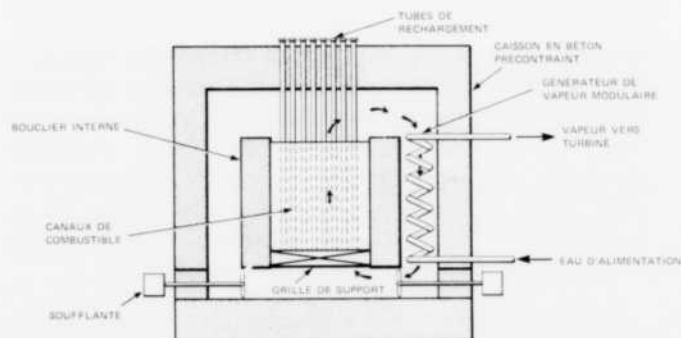


Figure 6 — Disposition schématique — Réacteurs refroidis au gaz.

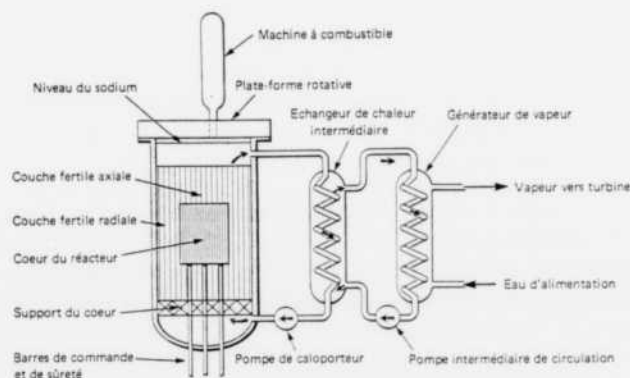


Figure 7 — Schéma d'un réacteur LMFBR.

Écartons-nous de ces positions extrêmes et essayons d'approcher le débat sur les effets de l'énergie nucléaire sur l'environnement avec une attitude ouverte mais avec une certaine rigueur intellectuelle. Ainsi, convient-il de passer par six étapes :

- 1) identifier d'abord les facteurs qui peuvent affecter l'environnement ;
- 2) identifier ensuite les effets de ces facteurs, jugés nuisibles ;
- 3) définir, pour chaque effet, une valeur maximale admissible ;
- 4) comparer les effets observés — ou redoutés — avec les valeurs maximales admissibles ;
- 5) procéder de manière similaire avec les autres sources d'énergie, dans leur cycle complet, depuis la production jusqu'à l'utilisation et la disposition des sous-produits ;
- 6) comparer les effets de l'énergie nucléaire à ceux des autres formes d'énergie.

L'exécution de ce programme constitue une tâche considérable qui n'a pas encore été complétée ; c'est pour cette raison que, malgré l'abondance des données maintenant disponibles, un scepticisme résiduel et vigilant doit nous conduire dans l'évaluation de ces données. Cette réserve faite, il faut admettre que le dossier nucléaire s'appuie sur des bases techniques très solides. Montrons-le, en parcourant ces différentes étapes.

Facteurs affectant l'environnement

Les facteurs pouvant affecter l'environnement sont principalement constitués par les radiations et la chaleur. Les radiations proviennent des substances radioactives se trouvant dans la nature, telles que l'uranium ou le radon qui l'accompagne dans la terre, ou produites durant le fonctionnement du réacteur, fragments de fission tels que le strontium-90 ou l'iode-131 ou éléments lourds obtenus par transmutation, tels que le plutonium-239. La chaleur est due au faible rendement thermodynamique des centrales thermiques (nucléaires ou fossiles) qui ne transforment en électricité qu'environ un tiers de la chaleur qu'elles produisent (30% pour les centrales nucléaires, 35-40% pour les centrales thermiques classiques) et qui dissipent le reste sous forme de chaleur.

Il est à noter que nous avons exclu comme facteur les produits chimiques toxiques. En effet, malgré la toxicité bien connue — mais démesurément exagérée — du plutonium, cet élément est plus nocif en tant qu'élément radioactif que comme poison chimique²⁰.

Effets des radiations et de la chaleur

Les radiations affectent le fonctionnement des cellules, d'autant plus intensément que ces cellules se multiplient plus rapidement (peau, organes hématopoïétiques, fœtus, cellules sexuelles). Les effets sont de nature somatique lorsqu'ils se réfèrent à l'organisme irradié, ou de nature génétique lorsqu'ils affectent les descendants. Les effets somatiques peuvent se manifester à court terme (un jour, après une très forte irradiation) ou à

très long terme (par un cancer ou par un raccourcissement de la durée moyenne de la vie). Il est généralement accepté que les effets génétiques n'ont pas de seuil — les effets (déformations, fausses-couches) étant proportionnels aux causes (dose de rayonnements) — tandis que les effets somatiques à court terme ne se manifestent qu'au-dessus d'un certain seuil. Ainsi par exemple, une personne exposée à une seule dose de radiation de 1 000 rem (le rem est l'unité de mesure des effets biologiques) a de très grandes chances de succomber, à 450 rems, la probabilité de mortalité est de $\frac{1}{2}$ tandis qu'elle descend à $\frac{1}{100}$ à 100 rems ; à 20 rems, cependant, les effets des radiations ne sont pas décelables par examen clinique. Pour ce qui est des effets somatiques à long terme, en absence de preuves absolument convaincantes concernant l'existence d'un seuil, on accepte l'hypothèse linéaire : effet proportionnel à la cause.

C'est ainsi qu'on a abouti aux résultats suivants : une dose continue et uniforme d'un millième de rem — ou millirem (mrem) — par année pourrait produire, aux États-Unis, quelque 35 mortalités pour cause de cancer, annuellement, un nombre semblable de défauts génétiques et une diminution d'une demi-heure environ de la vie moyenne d'une personne.

Pour ce qui est de la chaleur, elle affecte la température de l'eau qui sert comme refroidisseur (rivière, lac, océan), la température de l'air, si le refroidissement se fait dans des tours de refroidissement, le degré d'humidité de l'air, si le refroidissement se fait par évaporation de l'eau et, à la limite, le micro-climat de la région où se trouvent installées les centrales nucléaires. À son tour, l'échauffement de l'eau affecte ses propriétés physico-chimiques (degré d'oxygénisation, par exemple) et son équilibre biologique. Notons cependant que ces effets sont très localisés et qu'ils peuvent être, dans certains endroits, bénéfiques.

Valeurs maximales admissibles *

Il serait absurde d'imposer à une activité humaine un effet nul sur l'environnement, car la nature est « polluante » même en l'absence de l'homme (émissions d'oxyde de soufre des volcans, rayons cosmiques, etc.). L'effet doit être cependant aussi petit que possible, s'il est nocif, et toujours compensé par des bénéfices indiscutables ou communément acceptés.

Dans le cas des radiations nucléaires, la dose maximale additionnelle admissible a été définie, par consensus international à 0.17 rems par année (170 mrem/a) par personne. Ce chiffre est comparable à la dose annuelle moyenne des radiations diverses qui est de 182 mrem aux États-Unis (tableau 6). Ce choix pourrait paraître arbitraire, mais se justifie par rapport à une réalité qui existe et qui est acceptée.

Certains ont contesté la dose maximale admissible de 170 mrem/a ; en pratique, des réglementations sévères limitent les doses admissibles à l'extérieur du terrain d'une centrale nucléaire à 5 mrem/a. Par con-

TABEAU 6

DOSE ANNUELLE MOYENNE DE RADIATIONS, USA

ORIGINE	INTENSITÉ (mrem/a)
naturelle	106
médicale	73
diverse (centrales nucléaires exclues)	3
Total	182

tre, les doses maximales admissibles sont fixées à des valeurs beaucoup plus élevées pour les travailleurs de l'industrie nucléaire (5 rem/a) ; en échange, l'état de santé de ces travailleurs est continuellement surveillé.

Pour ce qui est de l'augmentation maximale de la température de l'eau de refroidissement, elle est également réglementée ; sa valeur dépend du débit de la rivière, de l'efficacité du mélange de l'eau réchauffée avec l'eau non utilisée, de la vitesse d'évaporation, etc. ; elle est d'environ 5 à 10°C.

Comparaison entre valeurs maximales admissibles et valeurs observées

Considérons seulement le cas plus complexe des radiations et, en premier lieu, la situation lorsque tout fonctionne normalement.

Distinguons la situation dans les mines, dans les centrales nucléaires, dans les usines de retraitement du combustible et dans les dépôts des combustibles usés (déchets). Dans chaque cas, le niveau des radiations est rigoureusement contrôlé par des organismes gouvernementaux, indépendants. Comme règle générale, l'exploitant — de la mine, de la centrale ou de l'usine — est invité à garder un niveau de radiations aussi faible que possible, au-dessous de la valeur maximale admissible. Cela est réalisé maintenant de façon courante dans tous les cas, sauf dans les mines où la modernisation des méthodes de travail n'est peut-être pas aussi rapide que certains le souhaiteraient.

Ainsi, autour des centrales, des usines et des dépôts, la radioactivité additionnelle ne dépasse pas quelques mrem/a. Cette radioactivité diminue bien entendu avec la distance, de sorte que la moyenne sur la population totale d'un pays devient tout à fait négligeable : 0.1 mrem/a, aux USA, pour 1 000 réacteurs (plus quelques autres dixièmes de millirems pour les usines de retraitement). À cette dose, l'augmentation du nombre des cancers est d'une dizaine par année, au maximum (par rapport à 400,000). Pour cette raison, la controverse sur ce sujet est en train de se résorber.

Il reste à traiter du problème des accidents. Tâche redoutable car l'esprit est pris d'angoisse lorsqu'on lui demande d'appréhender les données de ce problème ; de plus, le spectre du champignon atomique hante encore de nombreux esprits.

Pour commencer, distinguons les accidents possibles dans une centrale nucléaire des accidents possibles dans les autres étapes du cycle nucléaire.

* Note : Les dispositions légales sont complexes ; pour connaître la réglementation au Canada, voir les références 25 et 26.

Il faut d'abord écarter de façon définitive la possibilité d'une explosion nucléaire ; cela est rigoureusement impossible à cause, entre autres, de la nature différente des combustibles utilisés.

Il faut ensuite distinguer les accidents pouvant affecter la sûreté du fonctionnement du réacteur des défaillances ou des accidents classiques qui n'ont que des conséquences économiques. Sans rentrer ici dans la description technique des multiples systèmes de protection qui agissent comme autant de barrières successives à l'échappement des substances radioactives normalement retenues à l'intérieur du combustible, ni dans la description d'une suite de phénomènes hypothétiques pouvant défoncer ces barrières, retenons seulement les étapes suivantes du pire accident imaginable :

- la perte du caloporteur
- la fonte du combustible
- un dégagement important de radioactivité
- la contamination radioactive de la population environnante

Même si, dans le passé, quelques accidents ont eu lieu, entraînant la fonte de quelques éléments de combustible — à cause du blocage de l'écoulement du fluide caloporteur autour de ces éléments —, aucune des quatre étapes mentionnées plus haut n'a été observée dans la génération actuelle des réacteurs commerciaux refroidis à l'eau. Notons en passant qu'aucun accident mortel attribué à la radioactivité n'a jamais été enregistré pour les réacteurs commerciaux, ni aucune action en justice pour des dédommagements dus aux effets de la radioactivité des centrales nucléaires n'a encore été intentée.

Comme les étapes citées n'ont jamais été observées, il a fallu calculer théoriquement leur fréquence possible — ou leur probabilité — avant d'estimer les dégâts possibles.

Les meilleurs calculs disponibles²¹ donnent les résultats indiqués au tableau 7 qui s'appliquent aux réacteurs à eau du type américain.

TABLEAU 7
RISQUES D'ACCIDENT

TYPE D'ACCIDENT	FRÉQUENCE PROBABLE (en événements/ réacteurs-années)
Porte de caloporteur	1/2 000
Fonte du combustible	1/20 000
Dégagement important de radioactivité	1/100 000
Contamination moyenne	1/1 000 000
Contamination grave	1/10 000 000

Prenons le cas de la contamination moyenne. Sa probabilité est d'environ un sur un million. Ses effets seraient : un cas de mortalité immédiate, 300 maladies immédiates ; à long terme, 170 décès par année durant 30 ans, 25 changements génétiques par année jusqu'à un total d'environ 3 000. Pour une contamination plus grave, dix fois plus rare, les effets seraient dix fois plus élevés, et ainsi de suite.

Pour les ingénieurs, une probabilité de 1/1 000 000 vaut pratiquement zéro. Pour ceux ayant un esprit différent, ou pour ceux qui croient dans le principe de Murphy — « si une chose peut arriver, elle arrivera » —, les probabilités ne valent rien et seules comptent les conséquences de la pire catastrophe imaginable. On comprend donc que le dialogue entre ces deux groupes devient difficile. Par contre, il faut admettre que si l'on exige une protection supplémentaire, cela est techniquement faisable, mais à un coût beaucoup plus élevé, que certains jugent inutile.

Ne nous préoccupons pas outre mesure des accidents possibles dans une usine de retraitement car leurs effets sont plusieurs ordres de grandeur inférieurs à ceux imaginables pour les centrales nucléaires. Par contre, les accidents pouvant affecter l'entreposage des déchets radioactifs posent d'autres problèmes.

Au départ, deux questions viennent à l'esprit : peut-on garder des déchets radioactifs pendant des millénaires (presque indéfiniment !) sans contaminer l'environnement ? Sinon, quels en seraient les effets ?

Le problème du traitement des déchets²² préoccupe beaucoup d'esprits, même parmi ceux qui œuvrent dans le domaine de l'énergie nucléaire. Les techniciens affirmeront sans hésitation que le volume des déchets à surveiller est très faible : 2 m³ de déchets concentrés, très actifs, par année pour une centrale nucléaire de 1 000 MW, ou une piscine olympique pour le combustible non traité, d'une centrale du type Pickering, fonctionnant durant 30 ans. Ils ajouteront que sous une forme solide — soit encapsulés, soit vitrifiés — les déchets peuvent difficilement s'éloigner d'eux-mêmes de la zone d'entreposage surveillée, que placés dans un milieu déshydraté comme les mines de sel, les zones arides ou des soutes de béton, les possibilités de dissolution et d'entraînement sont négligeables. Ils complèteront en insistant que rien ne presse de choisir une méthode particulière dès maintenant, qu'il faut d'abord procéder à de nombreux essais avant de décider de la méthode « définitive » de stockage et que peut-être, tout compte fait, mieux vaudrait laisser aux générations futures le soin d'apporter des solutions techniques plus avancées. Le problème se ramènerait donc à trouver une méthode d'entreposage sûr, pour une période plus courte, par exemple un siècle. Ce problème a des solutions techniques, jugées satisfaisantes. D'autre part, les études sur les accidents possibles se poursuivent^{23,24} et rien ne semble indiquer la présence de risques élevés.

Bien entendu, les opposants ne sont pas convaincus par ces raisonnements, ils soulèvent le problème des imprévus, des tremblements de terre, des sabotages, des actions de guerre, etc., et s'objectent surtout à l'idée de laisser aux générations futures le soin de nettoyer « nos » déchets.

On voit donc que, dans ce domaine également, la controverse est forte et que le dialogue entre techniciens et non techniciens est difficile. Notons aussi cependant qu'à chaque problème technique bien posé il existe une solution technique adéquate.

Comparaison entre l'énergie nucléaire et les autres formes d'énergie

Les deux dernières étapes de notre programme consistent à reprendre le même examen avec les autres types d'énergie, à examiner leurs effets sur l'environnement, à chacune des étapes — production, transport, utilisation, disposition des résidus (s'il y en a) —, autant en régime normal de fonctionnement qu'en cas d'accidents, autant à court terme qu'à long terme, et ensuite à comparer les effets réels ou hypothétiques entre eux pour, finalement, tirer des conclusions.

Remarquons, avant tout, qu'un tel examen est long et laborieux, qu'il ne peut être mené à bien qu'après beaucoup d'études et de recherches et que, contrairement à la croyance générale, les données sur les effets sur l'environnement des sources d'énergie classique sont beaucoup moins abondantes et moins précises que celles portant sur les effets de l'énergie nucléaire.

Il s'ensuit qu'avec des données incomplètes, on peut difficilement porter des jugements définitifs, d'autant plus que la situation évolue continuellement, autant à cause des progrès techniques que des mesures anti-pollution prises par les gouvernements.

Cela étant dit, on peut néanmoins établir quelques comparaisons qui montreront, encore une fois, que le dossier du nucléaire est plus qu'honorable :

- si l'on tient compte des effets sur la santé des mineurs de charbon, le cycle du charbon est au moins dix fois plus dangereux que le cycle nucléaire pour les travailleurs de ces deux industries,
- la radioactivité sortant des cheminées des centrales au charbon dépasse celle sortant d'une centrale nucléaire (à cause du radium et du radon se trouvant dans les impuretés du charbon),
- pour la même raison, la radioactivité à long terme des déchets d'une centrale à charbon est du même ordre de grandeur que celle des produits de fission, une fois les produits les plus actifs désintégrés (500 ans). De plus, les déchets des centrales au charbon sont en bonne partie dispersés,
- la pollution causée par le bioxyde de soufre, SO_2 , produit de la combustion du charbon ou du fuel, est très grande : elle peut produire jusqu'à 70 mortalités par année pour une centrale à charbon classique (sans équipement antipollution) de 1 000 MW, située près d'une ville ; avec équipement antipollution, ce chiffre pourrait descendre d'un facteur 10. (À bien remarquer que ces chiffres s'obtiennent de calculs identiques à ceux utilisés pour apprécier les effets à long terme des radiations). Pour une centrale nucléaire, nous avons vu que l'effet était négligeable,
- les effets du bioxyde de carbone, CO_2 n'ont pas encore été déterminés avec précision ; on sait cependant que ce gaz affecte la santé humaine de même que le microclimat ; on ignore encore les effets des oxydes d'azote...

- la construction des barrages affectent également l'environnement et trop souvent les effets ne sont observés que beaucoup plus tard.

- les probabilités d'accidents catastrophiques ne sont pas négligeables non plus pour les autres sources d'énergie : explosion d'un train dans une ville ou d'un bateau dans un port, transportant du gaz naturel liquide (20 000 morts possibles), écroulement d'un barrage (cela s'est déjà passé en France et en Italie, où on a déploré 2 000 morts ; la probabilité d'un tel événement est estimé à 10^{-4} par année, ce qui est plus élevé que pour un accident majeur dans une centrale nucléaire. Dépendant de l'emplacement d'un tel barrage, les conséquences pourraient être néfastes pour plus de 25 000 personnes), incendies de fuel dans les raffineries ou des ports pétroliers (il y a chaque année plusieurs incendies ; dépendant de leur intensité et de la direction des vents, on a estimé ¹² qu'une catastrophe majeure pourrait produire environ 20 000 victimes, avec une probabilité de un sur mille par année pour la population de l'île de Manhattan).

Ces quelques exemples montrent que chaque type d'énergie présente un certain nombre d'inconvénients ou de risques. On pourrait montrer aussi que les sources « nouvelles » — solaire, éolienne, géothermique, fusion — présentent les mêmes caractéristiques. Personnellement, je ne pense pas qu'il faille continuellement les opposer les uns aux autres, parce qu'on aura besoin de toutes ces énergies, mais qu'il faudra sans cesse augmenter — de façon non discriminatoire — nos exigences sur le degré de protection de la qualité de l'environnement.

Autres aspects controversés

Les aspects écologiques ne constituent qu'une partie — de plus en plus faible d'ailleurs — des sujets entourant la controverse nucléaire. Nous exposerons ici, sans prétention de les analyser, certains de ces sujets qui continueront d'alimenter le débat, tout en lui donnant de nouvelles dimensions, économiques, politiques, stratégiques, voire morales.

Aspects économiques

Les aspects économiques sont très nombreux et se classent en plusieurs catégories : celle liée aux coûts (coût d'installation d'une centrale nucléaire, coût de l'électricité nucléaire, coût des autres parties du cycle nucléaire — extraction des matières premières, enrichissement de l'uranium ou de l'eau lourde, le retraitement éventuel du combustible, le stockage des matières radioactives, le déclassement des centrales à la fin de leur vie utile—), celle de la disponibilité des matières premières (réserves d'uranium en particulier), celle du financement des centrales nucléaires (source, degré de réinvestissement, taux d'intérêt, « cash-flow », etc.), celle de l'impact économique régional (développement d'industries, effets d'entraînement, etc.), celle liée à l'exportation, etc.

Le seul commentaire à propos des aspects économiques est que dans des sociétés basées sur l'économie du marché, les forces économiques jouent un rôle pré-

pondérant et que, par conséquent, le rythme de développement de l'implantation des centrales nucléaires sera largement déterminé, dans ces pays, par la capacité de l'énergie nucléaire de concurrencer ses rivales — ce qui est presque partout maintenant le cas —, par la force et la vitalité de l'industrie nucléaire et par la capacité des compagnies d'électricité de trouver de l'argent pour leurs investissements, ce qui suppose la confiance des investisseurs, confiance qui, aujourd'hui, est un peu chancelante aux États-Unis (à cause d'une multitude de raisons, particulièrement reliées au manque de politique énergétique cohérente, aux juridictions confuses, aux délais imprévus dans les constructions, aux oppositions locales, etc.).

Aspects politiques

Les aspects politiques sont multiples et se groupent à leur tour en plusieurs catégories. Au lieu de les énumérer, il serait peut-être profitable — dans la perspective d'un débat autour d'une table ronde — de les présenter sous forme de questions :

- qui doit décider de la construction d'une centrale nucléaire ? Le gouvernement, en conseil des ministres, la compagnie d'électricité concernée, la population ?
- quels doivent être les mécanismes de consultation ? Comment s'assurer que tous les points de vue ont été écoutés, que l'information donnée ou véhiculée est complète et non biaisée ? Comment pondérer les opinions ?
- y a-t-il d'autres alternatives ? D'autres sources d'énergie, des moyens d'économie avec un effet équivalent ?
- comment présenter un bilan coûts-bénéfices pour chaque type d'énergie ? Qui doit le faire, d'après quels critères ?
- comment considérer des facteurs tels que l'assurance des approvisionnements ou l'indépendance énergétique ?
- quelle place donner à la recherche de nouvelles sources d'énergie ?
- quelle importance donner aux facteurs économiques cités et aux considérations écologiques ?

Cette liste de questions pourrait continuer indéfiniment ; elle pourrait aussi se condenser en deux questions fondamentales :

- comment définir une politique énergétique globale ?
- quel est le rôle de la population dans l'élaboration d'une telle politique ?

Aspects stratégiques

Le plus grand danger de l'énergie nucléaire est, sans contredit, son utilisation sous forme d'armes atomiques. Le club nucléaire est composé officiellement de six pays : USA, URSS, Angleterre, France, Chine et Inde. Malgré les efforts des grandes puissances pour limiter la prolifération des armes nucléaires, plusieurs autres

pays sont capables d'en fabriquer : Israël, Argentine, Afrique du Sud, Brésil, etc., et la plupart des pays occidentaux.

Avec la prolifération des centrales nucléaires dans le monde, assistera-t-on à une prolifération analogue des armes nucléaires ? Cette question est loin d'être théorique. D'une part, on sait que les réacteurs nucléaires produisent du plutonium — environ une tonne pour cent tonnes d'uranium — et que la technique d'extraction chimique du plutonium, sans être à la portée d'éventuels terroristes, est néanmoins réalisable dans un pays sous-développé, comme l'exemple de l'Inde vient de le prouver si fortement. D'autre part, et malgré toutes les mesures de contrôle international acceptées par un pays adhérent au traité de la non-prolifération des armes atomiques, si ce pays craint de perdre sa souveraineté, comment l'empêchera-t-on de faire sa bombe ?

À ces questions, on donne plusieurs types de réponse. Les pessimistes réclament le renoncement pur et simple à l'utilisation de l'énergie nucléaire, les idéalistes, au contraire, voient dans l'utilisation accrue de l'énergie nucléaire dans le monde une diminution du fossé qui sépare les pays riches des pays pauvres et une diminution des tensions locales par un bien-être amélioré ; finalement, les pondérés acceptent la réalité complexe et dynamique du monde contemporain et essaient de maximiser les bénéfices de cette nouvelle source d'énergie, tout en minimisant les conséquences nuisibles. À ce propos, on peut souligner que le Canada, pays exportateur d'uranium et d'une technologie nucléaire avancée, a un rôle international important à jouer, rôle qu'il assume d'ailleurs fort bien.

Aspects moraux

Certaines personnes s'objectent au nucléaire en utilisant l'argument suivant : « A-t-on le droit d'utiliser une technique qui augmente la radioactivité du milieu naturel et le risque d'une guerre atomique tout en laissant aux générations futures le soin de régler les problèmes techniques et sociaux que la société actuelle n'a pas pu résoudre ? », argument qui, sous sa forme la plus extrémiste, s'énonce : « A-t-on le droit de laisser un monde empoisonné à nos enfants ? ».

On pourrait bien sûr répondre que l'énergie nucléaire est techniquement maîtrisée, que les probabilités d'accidents graves sont minimales, que la vigilance des états est très grande, etc. Néanmoins, un malaise subsiste : notre société est-elle suffisamment mûre pour assumer les responsabilités accrues qu'exige l'utilisation sécuritaire de l'énergie nucléaire ?

Par contre, lorsqu'il s'agit des obligations morales envers les générations futures — grave problème ! — il faut encore mettre les choses en perspective. Ainsi, posons-nous trois autres questions :

- disposons-nous d'autres moyens, plus « nobles » pour satisfaire notre soif d'énergie ?
- peut-on nier à nos descendants les bénéfices qui découlent de l'utilisation de l'énergie nucléaire ?

- ne devrait-on pas concentrer nos efforts pour éliminer d'autres sources polluantes, autrement plus nocives à long terme ?

Conclusions

Le thème du symposium est « Le Québec face à l'option nucléaire ». L'ampleur du débat est, comme nous l'avons vu, beaucoup plus vaste : il touche tous les éléments de la société et défie les idéologies. Il a le monde entier comme arène et les générations présente et futures comme acteurs. Le Québec, grâce à ses ressources hydrauliques encore disponibles, se trouve dans une situation privilégiée : sans être obligé de recourir massivement au nucléaire, il peut planifier son implantation graduelle en évaluant avec soin l'impact sur l'environnement local des nouvelles centrales à construire, en élaborant une stratégie industrielle qui devrait accompagner un effort dans ce domaine et en développant les compétences spécialisées et indispensables à cet effort.

Dans cette perspective, l'approche graduelle proposée par l'Hydro-Québec semble réaliste et à point. Certains prétendront que l'effort nucléaire au Québec aurait dû débiter plus tôt et être plus global, et déploieront le retard pris par rapport à l'Ontario.

Il est vrai que ce retard existe, qu'il se creuse et qu'il risque d'être coûteux. Mais à quoi bon se lamenter ? Chaque société écrira sa propre page dans l'histoire du nucléaire. La nôtre débute à peine... ■

BIBLIOGRAPHIE

1. « Le réseau de l'Hydro-Québec : orientations et choix 1985-2000 », Information-Cadres, Dossier 12, Hydro-Québec, 29 janvier 1976.
2. AMYOT, L., « L'énergie nucléaire : un tour d'horizon », Communication, Congrès annuel de l'ACFAS, Moncton, 1975. Document IGN-148, École Polytechnique, 1975.
3. PASKIEVICI, W., « L'avènement de l'énergie nucléaire », Communication, Congrès annuel de l'ACFAS, Montréal, 1973. Document IGN-77, École Polytechnique, 1973.
4. GRAY, J.L., « Why CANDU? Its Achievements and Prospects », AECL, 1974.
5. McINTYRE, H.C., « Natural-Uranium Heavy-Water Reactors », Scientific American, Vol. 233, no 4, octobre 1975.
6. « Nuclear Power in Canada. Questions and Answers », Canadian Nuclear Association, 1975.
7. « Nuclear Power and the Environment. Questions and Answers », American Nuclear Society, 1973.
8. PERRY, T.L., « Nuclear Energy in Canada : Potential and Problems », Nature Canada, Vol. 3, no 2, avril/juin 1974.
9. GIRAUD, A., « Rôle et importance du nucléaire dans la réalisation des besoins en énergie », Rapport présenté à la Première conférence Européenne sur l'Énergie nucléaire, Paris 1975.
10. STARR, C., « Nuclear Safety and Radiation », Rapport présenté à la Première conférence Européenne sur l'Énergie nucléaire, Paris 1975.
11. BETHE, H.A., « The Necessity of Fission Power », Scientific American, Vol. 234, no 1, janvier 1975.
12. WILSON, R., « Some Perspectives on the Energy Question », Nuclear News, février 1976.
13. PASKIEVICI, W., « L'énergie nucléaire : perspectives actuelles », L'Ingénieur, no 310, novembre/décembre 1975.
14. WOODHEAD, L.W. et INGOLFSRUD, L.J., « Performance of Canadian Commercial Nuclear Units & Heavy Water Plants », Rapport 75-CNA-200, Conférence internationale, Association Nucléaire Canadienne, Ottawa 1975.
15. DAHLINGER, A., « The Canadian Heavy Water Situation », Rapport 75-CNA-200, Conférence internationale, Association Nucléaire Canadienne, Ottawa 1975.
16. MacNABB, G.M., « Nuclear and Uranium Policies », Rapport 75-CNA-500, Conférence internationale, Association Nucléaire Canadienne, Ottawa, 1975.
17. DYNE, P.J., « Waste Management in Canadian Nuclear Programs », Rapport 75-CNA-600, Conférence internationale, Association Nucléaire Canadienne, Ottawa 1975.
18. « World List of Nuclear Power Plants », Nuclear News, Vol. 18, no 10, août 1975.
19. « World List of Nuclear Power Plants », Nuclear News, Vol. 17, no 10, août 1974.
20. LAFUMA, J., « Biologie du plutonium et des transplutoniens », Revue générale de l'énergie, Tome 1, no 2, avril-mai-juin 1975.
21. « Reactor Safety Study : An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants. Main Report », WASH 1400, Nuclear Regulatory Commission (Rapport Rasmussen), octobre 1975.
22. GAUVENET, A., « Les résidus radioactifs. Problèmes actuels et perspectives », Revue générale nucléaire, Tome 1, avril-mai-juin 1975.
23. COHEN, B.L., « Environmental Hazards in High-Level Radioactive Waste Disposal », à paraître (cité dans la référence 10).
24. « High-Level Radioactive Waste Management Alternatives », BNWL-1900, Battelle Northwest Laboratories, mai 1974.
25. HURST, D.G. and BOYD, F.C., « Reactor Licensing and Safety Requirements », Canadian Nuclear Association, 12th Annual Conference, 72-CNA-102, June 11-14, Ottawa, 1972.
26. MARCHILDON, P., « La sûreté des centrales nucléaires », comptes rendus du premier colloque Augustin Frigon : L'Industrie québécoise face au défi de l'énergie nucléaire, 12-14 mai, École Polytechnique, Montréal, 1976.

Ce qu'un nom peut faire!



Quand il s'agit de pompes, de machines-outils, d'équipement et de matériel de manutention, (OU D'ÉQUIPEMENTS POUR INDUSTRIES BIEN PARTICULIÈRES), beaucoup d'acheteurs pensent encore à «Robert Morse».

Et cela, malgré que nous soyons devenus CAE-MORSE depuis un an déjà.

Cela signifie justement comment on retient le nom d'une compagnie qui est le chef de file dans son domaine. Et nous le sommes encore lorsqu'il s'agit de bien vous équiper... bien que nous ayons changé notre nom.

Pour obtenir notre Guide de l'acheteur et nos catalogues, appelez le bureau des ventes de votre région ou communiquez avec: CAE-MORSE Ltée., 6600 route Transcanadienne, Pointe-Claire, Qué. H9R 4S2. Tél: (514) 695-0010. Téléc: 05-822610.

**Connaître l'alphabet morse, celui de CAE-MORSE:
c'est connaître des équipements de qualité.**



Bureaux de ventes et services d'un bout à l'autre du pays.
Antérieurement «Robert Morse» — maintenant une division de CAE Industries Ltd.



**COMPAGNIE NATIONALE
DE FORAGE ET SONDAGE INC.**
1130 OUEST, RUE SHERBROOKE
MONTREAL H3A 2R5
TEL.: (514) 288-1177

Études géotechniques
Sondages et forages
Contrôle qualitatif des sols, du béton et de l'asphalte
Laboratoires de sols et matériaux
Laboratoire des eaux

Fondée en 1937



labo s.m. inc

ÉTUDES GÉOTECHNIQUES — CONTRÔLE DES MATÉRIAUX

Sondages — Forages Sols — Béton — Asphalte

ENVIRONNEMENT

76, 12e Avenue Sud
SHERBROOKE J1G 2V4
TEL. 819-569-9051

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



Warnock Hersey Services Professionnels Ltée

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

Répertoire des Annonceurs

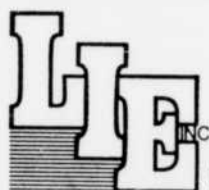
- 21 Addressograph Multigraph du Canada Limitée / Division Bruning
-
- 22 Beauchemin — Beaton — Lapointe Inc.
-
- 35 CAE Morse Limited
- 2 Canadian Bechtel Limited
- 9 Carrier Air Conditioning (Canada) Ltd.
- 36 Compagnie Nationale de Forage et Sondage Inc.
- C III Control Data Canada, Ltée
- 22 Contrôle Technique Appliqué Ltée
-
- 36 Desjardins + Sauriol & Associés
-
- 22 G. Maurice Gilbert & Associés
-
- C IV Jenkins Bros. Limited
-
- C II KeepRite Products Limited
-
- 36 Laboratoire d'Inspection et d'Essais Inc.
- 36 Labo S.M. Inc.
- 23 La Coopérative étudiante de Polytechnique
- 22 Leblanc, Montpetit, DeBroux & Associés
-
- 24 Montel Inc.
- 22 Mon-Ter-Val Inc.
-
- 8 Quéformat Ltée
-
- 8 Société de Gérance Sogier Ltée
-
- 21 Terratech Ltée
- 18-19 The Steel Co. of Canada Limited
-
- 36 Warnock Hersey Services Professionnels Ltée



**Desjardins + Sauriol
& Associés**

Ingénieurs-conseils

400, Boul. LABELLE, VILLE DE LAVAL H7V 2S7 QUÉBEC TEL: 514/681-9221



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

6775, BOMBARDIER
MONTREAL
TEL.: (514) 326-0130

2660, CHEMIN STE-FOY
C.P. 9220 QUÉBEC
TEL.: (418) 653-8704

LABORATOIRE D'INSPECTION ET D'ESSAIS INC.

Voyez Control Data

avant l'installation d'un
nouvel ordinateur



Après tout, qui d'autre connaît mieux la conception et l'installation d'aménagements d'ordinateurs qu'une compagnie d'informatique? Notre expérience dans l'installation de nos propres aménagements d'ordinateurs, de ceux de nos clients et des usagers d'autres marques nous apporte des connaissances techniques qui vous seront utiles.

Si vous voulez un service complet à source unique ou des renseignements sur un problème particulier (climatisation sous plancher, exigences électriques, protection contre l'incendie ou alimentation continue sans interruption), Control Data peut vous fournir la solution. Nous pouvons fournir un service global ou seulement les rensei-

gnements particuliers dont vous avez besoin avec toute marque d'ordinateurs.

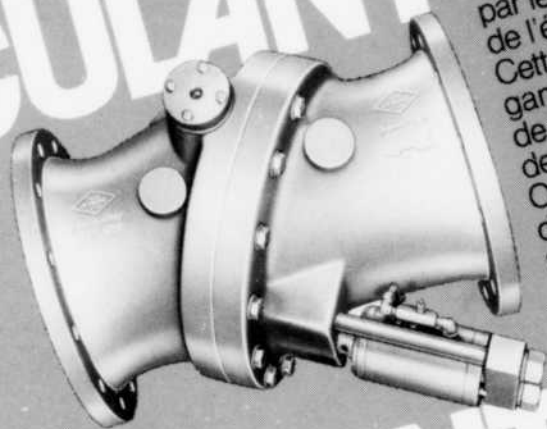
Le service de conception et d'installation d'aménagements de Control Data ne constitue qu'une partie des services globaux de Control Data Canada, Ltée. Ne vaut-il pas mieux s'adresser à une compagnie d'informatique?

Pour plus de détails, adressez-vous au bureau local de Control Data Canada, Ltée.



2020 rue University, Montréal, Québec (514) 845-4201

VANNES À CLAPET BASCULANT



Jenkins fabrique maintenant les vannes à clapet basculant spécialement conçues pour réduire le claquement causé par le renversement instantané de l'écoulement.

Cette importante addition à la gamme des vannes de qualité de Jenkins s'ajoute à la série des vannes à papillon AWWA. On apprécie ces vannes à la décharge et la succion des pompes et compresseurs, l'aération des boues, les conduites de distribution de vapeur, les conduites de transmission, l'utilisation nucléaire spécialisée et plusieurs autres usages. Jenkins Bros. Limited, Lachine, Québec.

MAINTENANT CHEZ JENKINS!

JENKINS

Le spécialiste en valves



Jenkins Bros