

# L'ingénieur


Septembre / octobre 1984

N° 363

70<sup>e</sup> année



**Concours  
rédactionnel 1984**



# À une échelle de 50 à 5000 gpm **FLYGT** se classe premier

## LES POMPES ÉLECTRIQUES SUBMERSIBLES D'ASSÈCHEMENT FLYGT

**Premier pour son rendement:** Une capacité de pompage allant jusqu'à 5 000 gpm; une hauteur de refoulement pouvant atteindre 750 pieds; des boyaux de renvoi de 1½ à 12 pouces. La force submersible pour éliminer à pleine puissance eau à forte teneur de solides.

**Premier pour sa puissance économique:** 104 kw d'énergie électrique qui entrent en action par une simple pression sur le démarreur. Silencieusement, sans polluer, sans carburant; de la puissance qui vous épargne de l'argent tout en fonctionnant efficacement.

**Premier pour sa diversité:** 13 modèles, portatifs ou même en acier inoxydable. Flygt a la pompe qu'il vous faut, où et quand vous en avez besoin. Installation de secours ou permanente. Une protection de vingt-quatre heures sur vingt-quatre pour prévenir l'effondrement de l'ensemble du projet.

**Premier pour la qualité de son service:** Les professionnels de Flygt sont à votre service à travers le Canada pour vous fournir des renseignements sur la location et la vente. Téléphonnez à votre succursale dès aujourd'hui.



# FLYGT

**FLYGT CANADA**  
Pointe-Claire, Québec (514) 695-0100  
Succursales: Montréal, Québec, Sept-Îles,  
Moncton, Coquitlam, Calgary, Edmonton,  
Saskatoon, Winnipeg, Toronto, Hamilton,  
Sudbury, Ottawa, St. John's (Terre-Neuve).  
Aux États-Unis: Flygt Corporation,  
Norwalk, Connecticut.

**Éditeur**

Les publications l'ingénieur inc.  
Case postale 6980, succursale A  
Montréal (Québec) H3C 3L4  
Tél. : (514) 344-4764

**Conseil d'administration**

J. Bernard Laviguer, président  
Jean-Paul Gourdeau, vice-président

**Comité exécutif**

Guy Drouin, président exécutif  
Serge R. Tison, vice-président  
Hélène Denis, vice-présidente  
Claude Brulotte, secrétaire  
Jean L. Corneille, trésorier  
Yolande Gingras, directeur général

**Administrateurs**

Roland Chevalier, Gilles Delisle,  
Fernand DeSerres, Claude Guernier,  
Jean L. Leduc, Donat-A. Martinoli,  
Ovide J. Poitras, Guy Sicard,  
Christian Tessier, Jean Verdy

**Directeur général**

Yolande Gingras

**Comité consultatif de rédaction**

Hélène Denis, directeur  
Yvon M. Dubois, directeur adjoint  
Roger Beaudry  
Lionel Boulet  
Octave Caron  
Jules Delisle  
Georges P. Geoffroy  
Claude Guernier  
Yves Lizotte  
Paul-Edouard Robert

**Rédacteur en chef**

Joseph Kélada

**Directeur artistique**

Lucie Bernard

**Publicité**

Robert Dumouchel  
Publications R.A.D. enr.  
801, boul. Saint-Germain  
Saint-Laurent, Québec, H4L 3R7  
Tél. : 744-3546

**Conception graphique**

Jean-Claude Rousseau  
Direction des communications  
de l'Université de Montréal

**Composition**

Les Ateliers Chiora inc.  
(514) 341-4066

**Imprimeur**

Presses Élite inc.

**Abonnements**

Canada 15 \$ par année  
Étranger 20 \$ par année  
À l'unité 3 \$  
Six (6) numéros par année

**Droits d'auteurs**

Les auteurs des articles publiés dans l'INGÉNIEUR conservent l'entière responsabilité des théories et des opinions émises par eux. Reproduction permise, avec mention de la source; on voudra bien cependant faire tenir à la Rédaction un exemplaire de la publication dans laquelle paraîtront les articles. Engineering Index, Biol., Chem., Sci., Abstracts, Periodex et Radar signalent les articles publiés dans l'INGÉNIEUR — ISSN — 0020-1138

**Courrier de deuxième classe**

Enregistrement no 5788

**2****Introduction au  
Concours rédactionnel****3****Conservation des aliments:  
la lyophilisation**  
Hélène Côté

La production d'aliments atteint de nos jours des proportions gigantesques si bien que des méthodes de conservation efficaces s'avèrent essentielles. Une des plus récentes, la lyophilisation, offre d'importants avantages sur les autres procédés. Aussi connue auprès du grand public, sous le nom de séchage à froid, ce procédé a été appliqué avec succès à certaines parties du monde de l'alimentation ainsi qu'à d'autres domaines plus spécifiques tels que la médecine, la microbiologie, où sont justifiés ses coûts assez élevés.

**10****Les communications par fibre optique**  
Louis Allard

Après la révolution industrielle et la course à l'énergie, notre civilisation moderne se transforme maintenant en société de l'information. Pour ce faire, il faut développer des moyens plus efficaces pour transmettre cette information. C'est ainsi que l'on entrevoit pour la fibre optique une place de plus en plus importante dans le domaine des télécommunications.

**17****Schémacode: un outil d'aide à la programmation**  
Michel Bernier

Les outils d'aide à la programmation mènent à des logiciels mieux structurés. Schémacode utilise le pseudocode schématique, une approche par raffinements successifs, et autodocumente le programme. Son utilité sera pleinement démontrée lorsque des standards de qualité pour les logiciels seront établis.

**25****L'impact de l'informatique dans le domaine  
de la biomécanique**  
Alain Lamer

La biomécanique consiste à appliquer les principes mécaniques à l'étude du corps humain. De plus, elle s'attarde au développement de membres artificiels en remplacement de ceux qui pourraient être déficients. On utilise l'informatique dans ce domaine pour résoudre la complexité des équations mathématiques régissant le comportement des tissus biologiques.

**29****En bref****32****Abstracts**

## Introduction

### Deuxième concours rédactionnel

Pour la deuxième année consécutive, le comité consultatif de rédaction de *L'ingénieur* a voulu sensibiliser les étudiants en génie à l'importance de la communication scientifique et technique, en lançant un concours rédactionnel. La remise des prix eut lieu à Québec, dans le cadre du Congrès annuel de l'Association canadienne française pour l'avancement des sciences (ACFAS).

Les prix et les frais du concours ont été commandités par les organismes suivants: l'ACFAS a offert le premier prix de 500\$, les compagnies Gas Intercité et Gaz Métropolitain ainsi que l'Université Laval ont offert respectivement 500\$, défrayant à la fois le deuxième prix et les frais du concours, et Consolidated Bathurst a offert le troisième prix de 100\$.

Nous avons reçu neuf candidatures. Quatre textes provenaient de l'École Polytechnique, trois de l'Université Laval et deux de l'Université de Sherbrooke. Le jury était composé de Messieurs *Jean-Marc Carpentier*, journaliste scientifique à Radio-Canada, *Pierre Sormany*, conseiller scientifique au ministère de la Science et de la Technologie du Québec, et du directeur de notre comité, Madame *Hélène Denis*.

Nous désirons remercier tous ceux qui ont contribué à faire de ce concours un événement important pour les étudiants en génie: les membres du jury qui ont bien voulu accepter de lire et de commenter les textes soumis par les candidats, les donateurs des prix, l'ACFAS qui nous a offert l'hospitalité lors de la remise des prix, et tous les étudiants qui ont participé au concours.

Nous sommes donc heureux de présenter les quatre articles gagnants (deux troisièmes prix), dans ce numéro.

*Le comité de rédaction*

### Critères de classement

Nous avons tenu pour également importants, à la fois la capacité de communication scientifique et le choix du sujet, c'est-à-dire l'intérêt qu'il présente ou encore sa pertinence pour le lecteur.

La structure du texte, à savoir le cheminement logique de la pensée, a été un élément souvent discriminant, de même que la qualité de la langue. Bien entendu le contenu a été pris en considération, soit la qualité de l'information transmise.

### Les sujets traités

Les neuf articles soumis touchaient des domaines fort variés: La conservation des aliments par lyophilisation (1er prix); les communications par fibre optique (2e prix); Schémacode, un outil d'aide à la programmation (3e prix); l'impact de l'informatique dans le domaine de la bio-mécanique (3e prix); l'ingénieur et le français (2 textes); les cartes de crédit estampées; les systèmes informatiques à traitement multiples; le stockage de l'énergie.

À noter que seuls les articles gagnants apparaissent ci-haut dans leur ordre de classement.

### Nos conclusions

Il est intéressant de constater que nos conclusions se rapprochent étrangement de celles du jury qui nous a précédé. Comme l'an passé, les textes étaient fort inégaux en termes de qualité et d'envergure. Mais, comme l'avait écrit le jury de 1983, «dans l'ensemble... ils res-

semblaient aux articles qui parviennent couramment à la revue».

Le petit nombre de candidatures, il faut bien l'admettre, nous a fort déçus. Nous aurions espéré, avec une publicité plus poussée que celle de l'an dernier, que le nombre des articles soumis aurait au moins doublé. Il y a peut-être lieu de se demander si l'étudiant en génie a le goût et le courage de «tremper sa plume dans l'encre...». Seul le concours de 1985 pourra vraiment répondre à cette question et nous indiquer s'il y a lieu de continuer dans cette voie ou d'abandonner le concours.

Le peu d'articles reçus ne nous a toutefois pas empêchés d'en choisir quatre. En effet il nous était impossible de départager deux articles qui, à leur réception, étaient de valeur égale et méritaient donc un troisième prix. Cette remarque nous amène à souligner ces articles, publiés dans ce numéro, ont été comme tout article soumis à la revue, retravaillés par les auteurs, suite aux recommandations du jury. Ce qui pourra peut-être expliquer au lecteur, dans le cas où il remettrait en cause le choix du jury, les différences entre l'article reçu au concours et l'article publié ici.

Cette deuxième année représente un moment important pour le concours, celui-ci semblant vouloir prendre sa vitesse de croisière. Espérons que les étudiants soient sensibilisés à l'importance de bien communiquer, clairement et simplement, et que la publication de ce numéro leur donne le goût de se porter candidats pour le concours rédactionnel 1985.

*Le jury du concours  
rédactionnel 1984*

## Conservation des aliments : la lyophilisation

Hélène Côté  
Étudiante en Génie Chimique  
Université Laval

### Introduction

Depuis près d'un siècle, l'avancement de la technologie en matière d'agriculture et d'élevage a permis d'accroître de façon phénoménale la production d'aliments. Pourtant, toute cette manne se trouveraient perdue en grande partie si l'on n'avait trouvé le moyen de la conserver en empêchant sa détérioration par l'oxydation, les

micro-organismes, les réactions enzymatiques, etc. Sans ces méthodes de préservation des aliments, il faudrait renoncer à les entreposer pour des périodes excédant quelques jours à quelques semaines.

Les premiers pas en la matière remontent au début du XIXe siècle lorsque le confiseur français Nicolas Appert découvre que des aliments chauffés dans des récipients clos se conservent bien tant que l'on n'ouvre pas le contenant. L'industrie de la conserve vient alors de voir le jour.

Une autre méthode dont l'exploitation débute dans les années trente, consiste à soumettre les aliments à une rapide congélation. On refroidit ceux-ci jusqu'à des températures généralement inférieures à  $-25^{\circ}\text{C}$  en moins d'une demi-heure. L'eau présente dans le produit se transforme en cristaux de glace si menus qu'ils altèrent peu la constitution de celui-ci. On peut ensuite retourner l'aliment à son état initial en le décongelant. Dans les années soixante-dix, d'autres méthodes de conservation viennent concurrencer la congélation rapide. Nous étudierons plus particulièrement ici la «lyophilisation».

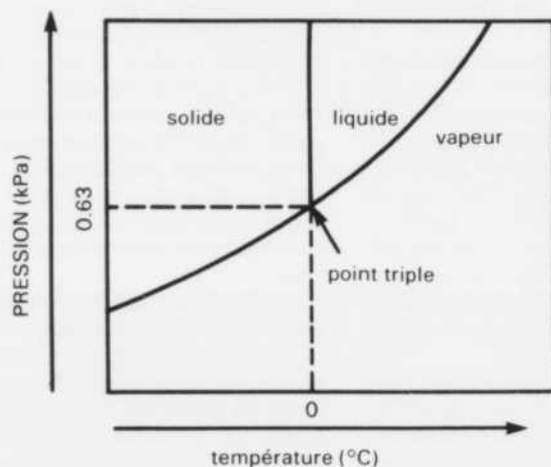


Figure 1 Point triple de l'eau.

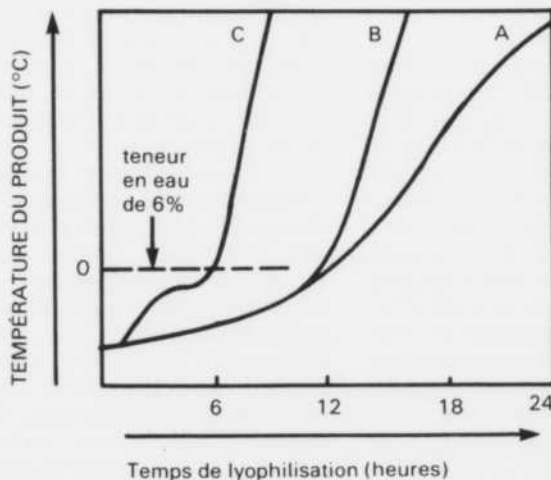


Figure 2 Changement de température pendant la lyophilisation d'un morceau de bœuf.

### Description du procédé

C'est seulement au début des années soixante que les États-Unis et certains pays d'Europe commencent à utiliser la lyophilisation (en anglais freeze-drying) de façon significative.

Ce procédé constitue en fait le résultat d'une heureuse combinaison entre la congélation et le séchage. En effet, le produit que l'on veut lyophiliser doit tout d'abord être congelé rapidement selon la méthode habituelle. On l'introduit ensuite dans une chambre spéciale où l'on maintient un vide poussé, soit environ 0,63 kPa (4,7 mmHg). À cette pression minimale, et à  $0^{\circ}\text{C}$  environ, l'eau se trouve à son point triple, c.-à-d. qu'elle peut exister sous forme liquide, solide ou gazeuse (fig. 1).



Pour des pressions supérieures à 0,63 kPa la phase liquide fait son apparition. Par contre, en soumettant le produit à une pression moindre, l'effet désiré se produit : l'eau sous forme solide passe directement à l'état gazeux. Cette pression idéale de sublimation varie selon l'aliment traité allant de 0,4 à 0,5 kPa pour des liquides comme le jus de tomates à 0,2 kPa pour la viande.

L'opération de sublimation (solide à gazeux) représente la partie originale de la lyophilisation, celle qui permet d'obtenir des aliments semblables aux aliments desséchés ordinaires, mais de meilleure qualité. Sous sa forme finale, l'aliment lyophilisé est extrêmement léger et présente une texture poreuse et spongieuse qui facilite sa réhydratation. Toutefois la seule étape de sublimation ne suffirait pas à ramener l'aliment à un taux d'humidité assez bas pour permettre un entreposage sur une période prolongée.

On procède donc habituellement de la façon suivante : s'il s'agit de viande, par exemple, on la dispose en fines tranches gelées sur une surface, tandis que si l'on a affaire à des solutions très concentrées ou des mélanges pasteurisés, on les étend. La surface qui supporte l'aliment est ensuite chauffée uniformément, ce qui fait que l'on combine à la fois la sublimation (pression) et le séchage (température). La figure 2 représente l'effet des différentes méthodes de chauffage sur le temps total d'assèchement.

La courbe A nous montre la déshydratation d'un morceau de viande quand il est placé sur

une surface que l'on maintient continuellement à 43,3°C (110°F). On voit que la température demeure assez basse tant qu'il reste de la glace à sublimer et qu'elle commence à augmenter quand le taux de disparition des cristaux diminue. Lorsque l'on atteint 0°C (32°F), toute la glace s'est volatilisée et la teneur en eau n'est plus que de 6%. Cette humidité ne suffit pas pour « mouiller » les fibres de la viande mais la structure est maintenue. On voit cependant que l'enlèvement des derniers 6% nécessite un laps de temps du même ordre que celui qui a permis de se débarrasser des premiers 94%. La cause en est la matière déjà séchée qui offre une grande résistance au transfert de chaleur nécessaire pour éliminer les dernières traces d'eau.

À noter que toute la vapeur obtenue par sublimation doit être rapidement évacuée si l'on veut garder le système à la pression idéale. Sans cette précaution, il risquerait d'y avoir formation de liquide.

On se rend compte que l'on peut réduire de façon draconienne les temps requis pour la lyophilisation, en portant la surface à une température supérieure à 43,3°C (110°F) (courbe B) ou en ajoutant un système d'appoint tel un chauffage par micro-ondes (courbe C). Ces techniques nous permettent de mieux contrôler l'énergie transmise au produit, afin que celui-ci n'en absorbe pas plus qu'il

n'en a besoin car on a constaté que les hautes températures nuisent à la qualité de l'aliment. La température dans celui-ci ne doit en aucun moment dépasser 60°C (140°F), sous peine de surchauffer le produit. Cependant, puisque la majeure partie du procédé se passe sous le point de congélation, c'est surtout lors du séchage final que l'on doit tenir compte de ce problème.

Le fait que le produit soit disposé en couche mince sur la surface, que ce soit en le centrifugeant ou en le coulant sur des plaques, permet d'offrir une aire maximale pour l'évaporation. De plus, l'épaisseur de la matière à sécher joue un rôle important sur le taux de transfert de chaleur.

Le mécanisme de séchage lors de la lyophilisation est différent du séchage ordinaire. En effet, lors d'un séchage à froid, c'est la matière la plus éloignée de la surface chauffée qui se déshydrate en premier. Le front de glace s'enfonce graduellement, laissant derrière lui, le produit séché et poreux où peut s'échapper la vapeur d'eau (figure 3).

Malgré tout, de légers problèmes peuvent survenir au niveau de la matière directement en contact avec la surface de chauffe. À cet endroit, le produit peut sécher localement et se briser, laissant la place à un film d'air qui peut par la suite offrir une certaine résistance au transfert de chaleur.

De plus, la résistance de la vapeur à passer au travers de la matière séchée crée un gradient de pression dans celui-ci. En conséquence, le front de sublimation se trouve généralement à une pression et donc à une température plus élevée que celle que l'on mesure dans l'espace libre de la chambre.

Le taux de transfert de chaleur est limité par le fait que l'on ne doit pas dépasser un certain gradient de température entre le matériel sec et le front de sublimation, afin d'éviter la fonte de la glace ou la surchauffe près du film d'air. D'ailleurs, on tend habituellement à maintenir le produit près du point de congélation aussi long-

temps qu'il reste de la glace, pour le laisser ensuite se réchauffer jusqu'à l'atteinte des conditions normales de séchage sous vide.

### Installation

Parmi les différents montages mis au point depuis quelques années, deux principaux types permettent une utilisation industrielle acceptable de la lyophilisation.

Il existe des designs compliqués impliquant l'utilisation de tambours, centrifugeurs, etc, mais dans le cas de production à moyenne et à grande échelle, on utilise généralement des supports du genre plateaux. On les regroupe en plusieurs unités qui sont reliées à un système commun de pompage à vide, si bien qu'en synchronisant les opérations, la vapeur retirée et le chauffage peuvent être équilibrés dans tout le système. De cette manière, on peut établir un semblant de procédé en continu.

Dans le cas d'aliments pouvant être disposés sous forme de minces plaques rectangulaires, par exemple de fines tranches de bœuf ou de poisson, on a mis au point la lyophilisation accélérée (Accelerated Freeze-Drying ou A.F.D.), celle-ci offre de grands avantages du point de vue de l'efficacité et du contrôle du procédé. Le principe est le suivant : les aliments sont placés sur un plateau entre deux grillages de métal, surmontés d'une feuille de métal, bien en contact avec la surface chauffante (figure 4).

De cette façon, la chaleur est directement conduite au produit par l'intermédiaire des mailles de métal, tandis que la vapeur d'eau engendrée peut s'échapper par les passages. La taille et la forme des mailles détermine l'équilibre entre la chaleur apportée et la vapeur relâchée. Généralement, l'utilisation d'aluminium ordinaire donne des résultats très raisonnables. Cependant, des études ont démontré que des mailles spécialement étudiées sont plus efficaces et aident à obtenir un meilleur taux d'assèchement.

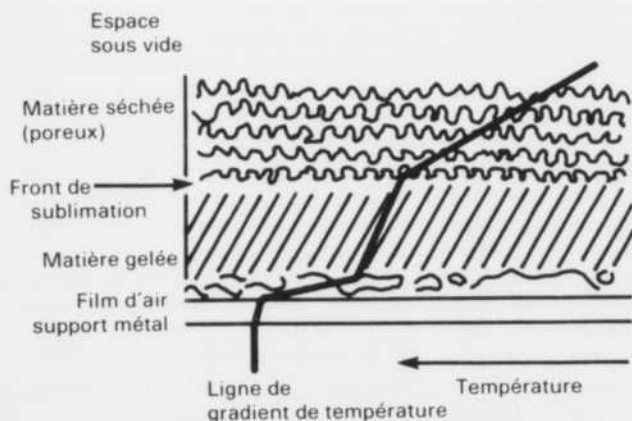


Figure 3 Aspect de la matière durant la lyophilisation.

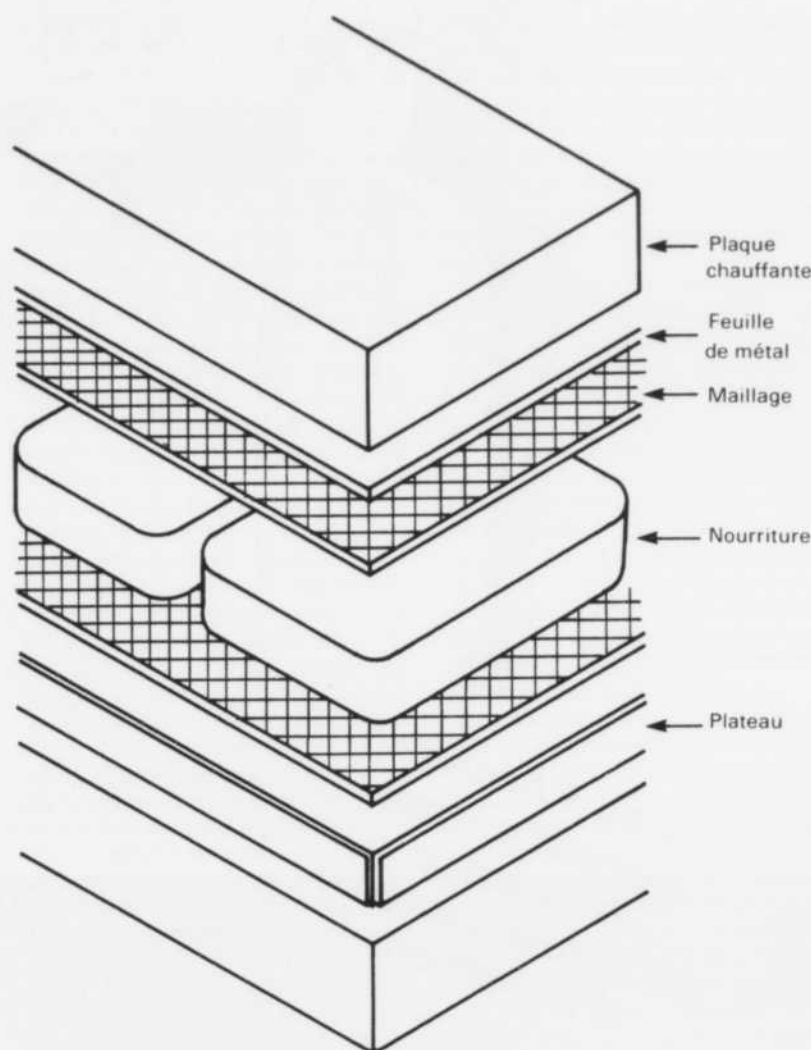


Figure 4 Montage, lyophilisation accélérée.

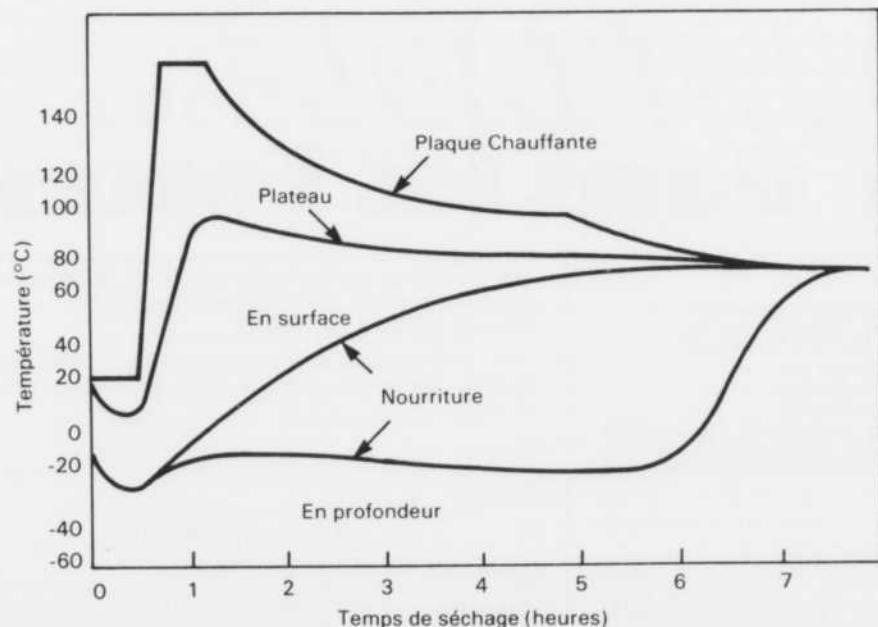


Figure 5 Cycle typique d'une lyophilisation accélérée.

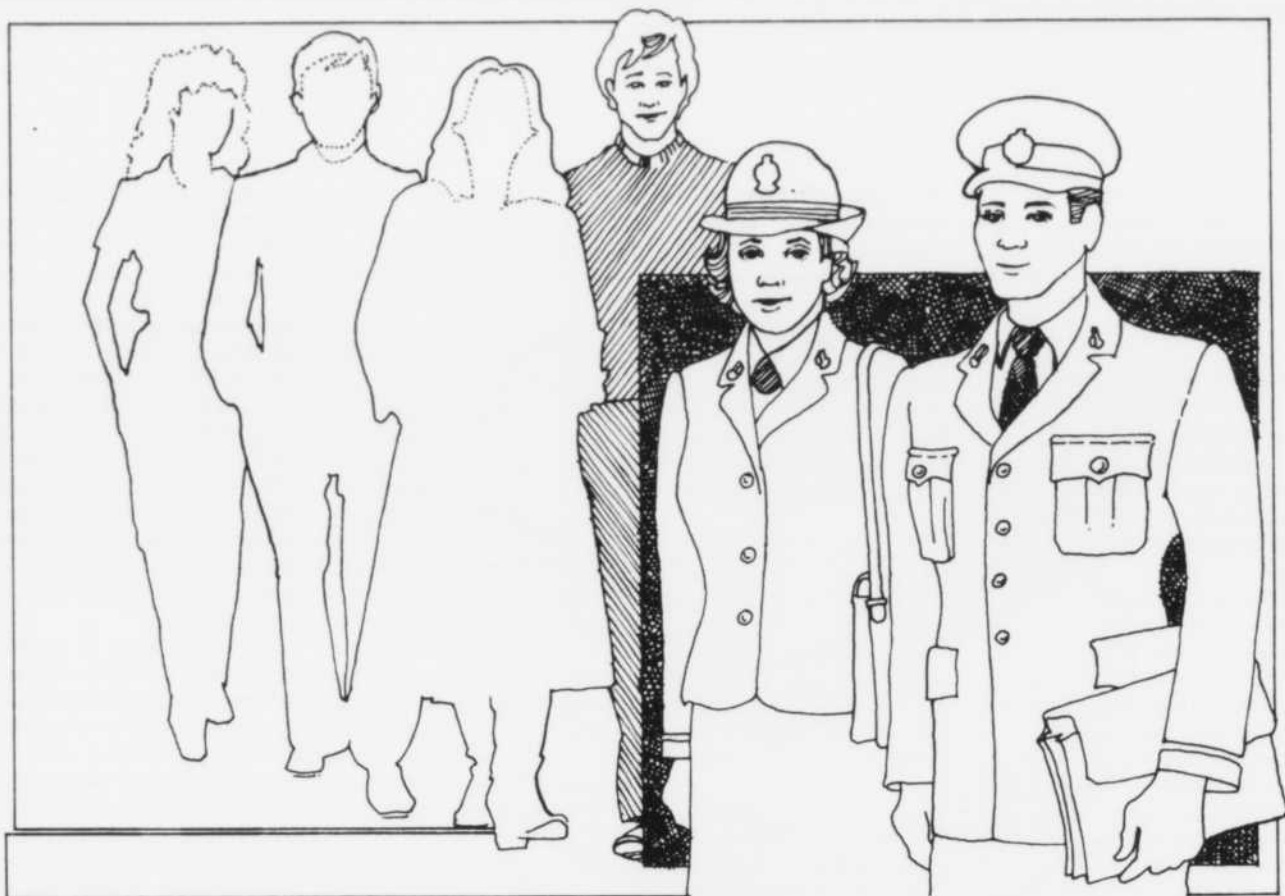
De plus, elles permettent d'utiliser des températures inférieures pour en arriver à la même teneur en eau finale.

Dans certaines installations de grandeur moyenne, on ajoute un raffinement supplémentaire, soient des tablettes que l'on peut graduellement rapprocher grâce à un contrôle hydraulique, afin de compenser pour l'affaissement du produit, à mesure que le processus d'assèchement avance. Ainsi, on arrive à maintenir le contact entre le maillage conducteur et l'aliment.

La figure 5 montre en résumé comment réagissent les différentes composantes du système en fonction du temps. On constate que l'on doit chauffer au maximum au début pour assécher la surface de l'aliment afin de permettre à la chaleur d'agir plus en profondeur et à la vapeur de se frayer un chemin dans la matière sèche. On voit que l'aliment, surtout en profondeur, demeure longtemps sous le point de congélation et que l'on s'arrange pour toujours maintenir le produit au-dessous de 60°C, tel que mentionné précédemment. En utilisant ce genre de méthode, on arrive par exemple à lyophiliser des tranches de bœuf ou de poisson de 1,6 cm d'épaisseur en huit heures environ, avec un contenu final en eau de 2%.

Pour donner une idée, mentionnons qu'un groupe de six plateaux de 0,56 m<sup>2</sup> (6 pi<sup>2</sup>) chacun, peut fournir environ 422 kg (930 livres) de nourriture par cycle de huit heures, l'énergie étant fournie par de l'eau circulant entre les surfaces de chauffe et des thermocouples permettant d'exercer un contrôle plus rigoureux sur la température. La pression standard d'opération est de 21,3 Pa (1 torr), ce qui permet l'évaporation de 159 kg (350 lbs) d'eau par heure.

Quelques compagnies ont mis sur pied un procédé semi-continu utilisant un tunnel muni d'un sas à vide par lequel on peut introduire les lots d'aliments qui sont ensuite acheminés vers la sortie en une période de six à dix heures. Une de ces installations typique



Quelles que soient votre spécialité et vos préférences, si vous possédez un diplôme en Génie d'une université ou d'un institut de technologie reconnu, les Forces canadiennes vous offrent une carrière d'officier.

C'est pour vous une occasion exceptionnelle de mettre en pratique vos connaissances et d'acquérir une expérience profitable dans les domaines

**Les Forces  
canadiennes  
à la base  
de votre carrière  
d'ingénieur**

de la technologie et de la gestion tout en vous assurant la stabilité d'emploi que confère une carrière d'officier dans les Forces.

Pour plus de renseignements, visitez le centre de recrutement le plus proche de chez vous, ou téléphonez à frais virés. Vous nous trouverez dans les pages jaunes, sous la rubrique Recrutement ou postez ce coupon.

# **IMBATTABLE...**

## **la vie dans les Forces**



**LES FORCES  
ARMÉES  
CANADIENNES**

**Canada**

**AU: Directeur du Recrutement et de la Sélection,  
Quartier général de la Défense nationale,  
Ottawa, Ontario K1A 0K2**

Une carrière dans les Forces armées canadiennes m'intéresse, j'aimerais recevoir plus de renseignements à ce sujet.

Nom \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

Téléphone \_\_\_\_\_

Université \_\_\_\_\_

Faculté \_\_\_\_\_

Spécialité \_\_\_\_\_

PT-ING-09-84

mesure approximativement 30,5 m (100 pi.) de long par 1,7 m (5,5 pi.) de diamètre et peut produire jusqu'à 15422 kg (34 000 lbs) de nourriture par jour avec des cycles de dix heures. Dans ce type d'équipement, on se sert de résistance électriques comme source de chaleur.

On a aussi combiné diverses méthodes à la lyophilisation, comme le chauffage par micro-ondes. Ce dernier permet d'accélérer le séchage des dernières fractions d'eau dans le produit. Cependant, ce procédé mixte demeurera toujours plus coûteux que la lyophilisation simple (avec radiation). On préférera le premier cas pour des produits dont la qualité sera améliorée par l'usage des micro-ondes ou encore les procédés où l'espace nécessaire sera réduit et par le fait même, les coûts d'investissement. Une étude individuelle devra être effectuée pour chaque produit afin de déterminer qui l'emportera des coûts ou de la qualité.

Plus récemment, on a aussi développé un modèle de pression cyclique pour la lyophilisation de tranches de dinde. Les temps de séchage s'en sont trouvés considérablement réduits et on a remarqué que seuls les changements dans la «vague» de pression produisaient un effet marqué sur ceux-ci. Mais cette intéressante innovation, tout comme la précédente, se heurte à d'importantes barrières économiques lorsque l'on songe à son application industrielle.

Lors de la lyophilisation, si l'on considère que l'on peut facilement pomper 159 kg de vapeur d'eau et 4,5 kg d'air par heure, soit un volume d'environ  $1,81 \times 10^5$  m<sup>3</sup> à 60°C, on constate qu'il faut penser à employer conjointement des pompes mécaniques et des condenseurs réfrigérants, ou encore un système multi-étagé d'éjecteurs de vapeur, etc.

### Avantages et désavantages de la lyophilisation

La lyophilisation est un procédé relativement récent, elle

présente de nombreuses qualités qui justifient l'intérêt porté à son perfectionnement et à son plus grand développement pour les années à venir. Parmi celles-ci, signalons :

1) la majorité des opérations se déroule sous le point de congélation, ce qui protège le produit,

2) le produit fini possède une texture spongieuse et se réhydrate facilement en retrouvant sa forme originelle, sa couleur, son arôme et sa saveur en quelques minutes,

3) le séchage se fait uniformément et il est très rare qu'il y ait formation de croûte (case hardening),

4) par la lyophilisation, on peut atteindre de très bas niveaux de teneur en eau sans exposer un produit à des températures élevées qui risqueraient de créer des surchauffes,

5) les produits peuvent être lyophilisés dans leurs emballages définitifs ce qui simplifie le contrôle de la stérilité. La plupart des contenants se présentent sous la forme de minces feuillets de métal, qui permettent un bon transfert de chaleur et qui sont assez malléables pour être gonflés à l'aide de gaz inertes qui protègent le produit,

6) la lyophilisation entraîne une diminution importante de poids, ce qui facilite le transport en quantité importante,

7) l'entreposage des produits traités de cette façon peut se faire à la température ambiante, ce qui réduit passablement les coûts. On doit cependant s'assurer que le contenant est parfaitement scellé,

8) un des points très importants en faveur de la lyophilisation concerne l'effet de ce procédé sur les éléments essentiels contenus dans l'aliment (vitamines, huiles, protéines, etc.) comparativement aux autres méthodes de déshydratation.

Dans la majorité des cas, les aliments asséchés et par la suite réhydratés peuvent être comparés avantageusement avec les produits originaux. Cependant, il est évident qu'un aliment qui a été déshydraté, si haut soit son degré de qualité,

ne peut surpasser le produit frais et non traité. Le principal inconvénient du séchage est de réduire le contenu en vitamines.

En effet, les vitamines hydrosolubles ont tendance à être partiellement oxydées en présence d'air. On constate immédiatement l'avantage de la lyophilisation sur ce point, car se déroulant sous un vide très poussé, l'oxydation s'en trouve minimisée. Ces mêmes vitamines sont également affectées par des températures élevées de l'ordre de celles que l'on doit employer pour le blanchiment ou la désactivation des enzymes. La proportion de vitamines retenue dépend donc autant des précautions prises lors de la préparation pour la déshydratation, que lors du procédé lui-même ou lors de l'entreposage du produit fini.

Par exemple, l'acide ascorbique ou vitamine C et la carotène, se révèlent très sensibles à l'oxydation. La vitamine C se conserve mieux au cours d'un procédé rapide, ce qui explique qu'elle soit à peu près absente des aliments séchés au soleil alors qu'elle est retenue en grande partie dans les produits lyophilisés. Quant aux pertes de carotène, localisée surtout dans les légumes, on peut les minimiser à 5% environ dans les meilleures conditions tandis qu'elles peuvent s'élever à 80% si on ne prend pas la précaution de procéder à une désactivation des enzymes.

La thiamine est thermosensible et détruite par la sulfuration. Si on fait subir à l'aliment un blanchiment préalable, on peut s'attendre après la lyophilisation à des pertes de 15%, pouvant s'élever jusqu'à 75% en l'absence de blanchiment. Les basses températures caractéristiques de la lyophilisation aident à conserver cette vitamine.

Finalement, signalons que la riboflavine s'avère surtout sensible à la lumière et qu'elle est, par conséquent, peu influencée par le genre de procédé autre que le séchage au soleil.

Si on s'attarde maintenant au cas des protéines, on s'aperçoit que la valeur biologique de

la protéine séchée basée sur la proportion relative des différents acides aminés, dépend aussi de la méthode employée. Les hautes températures réduisent leur valeur nutritive et leur valeur fonctionnelle (Ex : capacité de produire des émulsions). Par contre, les basses températures favorisent leur digestibilité. On voit que de ce point de vue, la lyophilisation protège les protéines contre la dénaturation.

Lorsque l'on traite de la viande, par exemple, on peut craindre la détérioration des protéines des muscles quand la concentration en sel dépasse 5%. Or, on ne doit pas oublier que lors de la lyophilisation, les protéines, les lipides, aussi bien que les glucides existent en concentrations beaucoup plus élevées que la normale dans l'aliment, étant donné la faible quantité d'eau présente. Malencontreusement, aux températures de lyophilisation soit  $-3,3^{\circ}\text{C}$  ( $26^{\circ}\text{F}$ ) environ, on se situe près des concentrations critiques en sel, ce qui impose certaines précautions si on veut éviter de perdre une grande partie de protéines à cause du gradient de concentration (salting out). La question des fruits et des légumes présente cependant moins de difficultés que celle de la viande.

Avec les lipides, un séchage ordinaire à haute température risque d'entraîner des problèmes de rancissement. Or, le fait que la lyophilisation se déroule aux environs de  $0^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$ ) offre l'avantage de limiter le rancissement, l'oxydation des gras et les inter-actions lipides-protéines. Un moyen supplémentaire de contrôle dans le cas des gras consiste à employer des antioxydants.

Lorsque l'on veut conserver des fruits, les principaux facteurs de détérioration proviennent de la présence des glucides. Si on ne prend pas la précaution d'employer certains agents comme le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) ou encore de procéder à la désactivation des enzymes avant le séchage, on risque de se retrouver avec de sérieux problèmes de brunissement.

On retrouve deux principales sortes de brunissement. Tout d'abord, le brunissement non enzymatique. Celui-ci comprend premièrement la caramélisation qui consiste en un brunissement de sucres placés en conditions acides ou alcalines. Ce type de réaction est favorisé par une augmentation de température. Il existe aussi une interaction entre les sucres réducteurs et les cétones ou aldéhydes avec les acides aminés ou les protéines, connue sous le nom de réaction de Maillard. Celle-ci a tendance à augmenter en même temps que la température. On peut donc constater que le brunissement non enzymatique dans son ensemble est bien contrôlé lors de la lyophilisation puisque l'on demeure à de basses températures.

La deuxième catégorie responsable d'une coloration est le brunissement enzymatique. Cette réaction se produit au contact de l'air sous l'effet d'enzymes. Le meilleur moyen de contrôler reste encore l'inactivation de ces derniers, par exemple en leur faisant subir un chauffage d'une minute à  $100^{\circ}\text{C}$  ( $212^{\circ}\text{F}$ ). À noter que la chaleur doit être humide pour se révéler efficace. Enfin, on peut dire que l'activité enzymatique est pratiquement nulle à une teneur en eau inférieure à 1%.

Signalons enfin que lors de la lyophilisation, les composants volatiles, comme les huiles essentielles, sont perdus dans une proportion beaucoup plus faible qu'avec les autres méthodes. Un phénomène d'absorption se produit, retenant ces éléments importants, ce qui explique que les aliments lyophilisés conservent une telle saveur et un arôme si appétissant après leur réhydratation. Finalement, il est à noter que durant l'entreposage de produits lyophilisés, la croissance des bactéries disparaît totalement en raison de la faible quantité d'eau disponible, mais qu'elles reprennent vie dès la réhydratation.

La liste assez exhaustive qui vient d'être dressée démontre sans peine les nombreux avantages que comporte la lyophi-

lisation.

Pourtant certains facteurs nuisent à une plus grande expansion de ce procédé. Parmi ceux-ci, on retrouve :

1) le produit final s'avère très friable et fragile. Il requiert donc l'emploi d'un emballage spécial gonflé avec des gaz inertes afin de protéger contre les chocs. Cet emballage doit aussi être très étanche car l'aliment est naturellement hygroscopique. Les déchirures sont à éviter car une hausse de l'humidité réactive les bactéries encore présentes.

2) Même si le fait d'entreposer le produit à température ambiante présente certains avantages, on doit se souvenir que des réactions indésirables peuvent tout de même survenir. Par exemple, la dénaturation des enzymes est réversible dans quelques cas, si bien que des changements enzymatiques parfois gênants pour les qualités organoleptiques de l'aliment sont à craindre. L'oxydation aussi peut faire des dégâts car elle est favorisée par la faible teneur en eau. Heureusement, l'emballage oppose une bonne barrière à l'air en même temps qu'à l'eau.

3) La lyophilisation ne peut pas être appliquée à toutes les sortes d'aliments. Les solides, surtout s'ils peuvent se disposer en tranches peu épaisses, ne présentent pas de contraintes majeures. Par contre, dans le cas des solutions, on doit se limiter à celles qui sont suffisamment concentrées. De plus, il serait futile de songer à lyophiliser certaines solutions comme des jus de fruits, car elles sont fortement hygroscopiques, ce qui signifie qu'une énorme quantité d'énergie serait nécessaire pour en éliminer les dernières fractions d'eau. D'autres solutions comme le café ne posent pas ce problème, ce qui permet une lyophilisation aisée.

4) La reconstitution des produits se fait toujours rapidement mais habituellement avec un poids et un volume plus petits que le produit original.

5) Pour finir, deux obstacles très importants et interreliés soient le coût de revient

élevé de la lyophilisation et le fait que le procédé ne se fasse pas en continu. De plus, il faut noter que le procédé exige un temps plutôt considérable et que jusqu'à maintenant toutes les méthodes visant à accélérer le processus se sont traduites par une baisse de qualité du produit, en ce qui concerne les protéines, les vitamines ou la texture.

L'augmentation non négligeable du prix de l'aliment traité, environ cinq fois plus cher qu'un aliment congelé, fait que jusqu'ici ce genre d'opération a surtout été réservé aux produits déjà coûteux tels la viande, le café, etc. Certains organismes comme les Forces Armées s'en sont servi pour mettre au point un nouveau type de ration de secours ou de survie légères, peu encombrantes et nourrissantes.

### Autres utilisations de la lyophilisation

En plus de servir dans le domaine de la conservation des aliments, la lyophilisation a prouvé qu'elle pouvait aussi être utile dans le domaine de la médecine et de la microbiologie. En effet, la lyophilisation du plasma sanguin sous sa forme entière ou fractionnée se fait maintenant sur une assez grande échelle. On se sert également de ce procédé pour conserver à la limite certains tissus humains

destinés à la transplantation tels des os, de la peau, des artères ou encore des tissus cornéens. De cette façon, on peut établir une sorte de banque de tissus ou d'organes qui élimine la nécessité de simultanéité entre le prélèvement et la transplantation.

En microbiologie, on s'est servi du fait que les bactéries ou les levures restent viables après la lyophilisation, pour mettre en réserve des souches intéressantes ou nécessaires à la fermentation par exemple. Seulement 3 ou 4% des cellules lyophilisées restent vivantes, mais cela suffit pour «redémarrer» la culture en temps voulu. Des souches, vieilles de vingt-cinq ans, datant des débuts de la lyophilisation, ont repris vie sans problème. La lyophilisation a aussi trouvé certaines applications dans le monde des produits pharmaceutiques biologiques.

### Conclusion

On a vu que la lyophilisation représente probablement ce qui se fait de mieux dans le domaine de la conservation des aliments surtout en termes de temps d'entreposage et de qualité nutritive ou organo-leptique du produit final.

Évidemment, son coût élevé tend à en réduire l'utilisation, mais le développement d'un procédé en continu signi-

fierait le début d'une nouvelle ère d'utilisation industrielle.

Il reste toutefois à sensibiliser les consommateurs à la qualité des produits obtenus car les premiers aliments séchés, à cause de la caramélisation, la décoloration, la perte de forme, de texture et de nutriments ont laissé une perception négative. Les spécialistes en marketing se chargeront de persuader les gens que ce type d'aliments n'est pas réservé aux temps de guerre ou de catastrophe, mais qu'ils peuvent nous faciliter l'existence en faisant partie de notre vie quotidienne.

*l'ingénieur*

J'aimerais remercier M. Jean-R Moreau, professeur à l'Université Laval, pour m'avoir aidée lors de la recherche de documentation et pour la révision du texte final.

### Références

- Desrosiers, Norman W. *The technology of food preservation*, 2e éd., Connecticut, AVI, 1963, 405 p.
- Judson King, C. *Freeze Drying of foods*, CRC Press, Cleveland, 1971, 86 p.
- Litchfield, R.J., Farhapour, F.A., Liapis, A.I. *Cyclical pressure freeze drying*, Chem. Eng. Sci., 1981, 36 (7), 1233-8.
- Ouellette, Robert P., Lord, Norman W. et Cheremisinoff, Paul N., *Food industry energy alternatives*, Connecticut, Food & nutrition Press, c 1980, 135 p.
- Tissot, Henri, et al. *Nouveaux produits chimiques*, Coll. «Grands thèmes», Paris, Laffont, c 1975, 143 p.
- Webb, F.C. *Biochemical Engineering*, Londres, Van Nostrand, c 1964, 743 p.



**fortier, franklin, legault inc.**  
Consultants en génie civil et mécanique

- Mécanique du bâtiment
- Électricité, chauffage ventilation
- Structure
- Rénovations
- Expertises diverses

100, les Érables, Laval sur le Lac, Qc H7R 1A4 (514) 627-1608

**BOUTHILLETTE  
PARIZEAU  
& ASSOCIÉS**

INGÉNIEURS-CONSEILS  
Mécanique - Électricité

9825, rue VERVILLE

Montréal H3L 3E1

Téléphone : (514) 387-3747  
(514) 387-6238

## Les communications par fibre optique

Louis Allard  
Étudiant en Génie Physique  
Université Laval

Après la révolution industrielle et la course à l'énergie, notre civilisation moderne se transforme maintenant en société de l'information. Pour ce faire, il faut développer des moyens plus efficaces pour transmettre cette information. C'est ainsi que l'on entrevoit pour la fibre optique une place de plus en plus importante dans le domaine des télécommunications.

### Lumière et laser

On se sert depuis longtemps des ondes électromagnétiques pour transmettre l'information. Ces ondes ont une gamme de fréquences très étendue. Or, plus la fréquence d'onde électromagnétique est élevée, plus grande est la possibilité de transmettre une grande quantité d'information. On tentera donc d'utiliser cette propriété. La lumière oscillant à une fréquence de  $10^{14}$  à  $10^{15}$  Hz (soit  $10^4$  à  $10^5$  fois plus élevées que les plus hautes fréquences radio généralement utilisées en télécommunication) on aura ainsi avantage à transmettre l'information par modulation d'une onde lumineuse qui permet de transporter une quantité d'information inégalée.

Ce n'est toutefois pas avant la découverte du laser, au début des années soixante, que les communications par voie optique ont pu être envisagées. Il nous fallait une source de lumière avec des caractéristiques spécifiques: une source de faible dimension émettant une lumière intense qui se propage dans une seule direction sans étalement. De plus la lumière étant rapidement diffusée et absorbée dans l'atmosphère, on doit lui faire emprunter un guide d'onde, de diamètre très faible, pour la propager. C'est pourquoi on a développé un type de source à surface émissive très petite: le laser à semi-conducteur.

### Optique géométrique

Ce guide d'onde est en fait une fibre optique. Fondamentalement la fibre optique est un cylindre fait d'un matériau diélectrique transparent de verre ou de plastique, appelé cœur, recouvert par un second diélectrique, la gaine. La fibre optique a pour fonction de guider la lumière par multiples réflexions le long de son conduit.

Le processus de réflexion est celui de la réflexion interne totale à l'interface des deux diélectriques. Pour comprendre ce qu'est la réflexion interne totale, imaginons un rayon lumineux en propageant d'un milieu optique de l'indice de réfraction  $n_1$  à un autre milieu d'indice  $n_2$  où  $n_1 > n_2$  (ex.: verre-air). La figure 1 montre qu'au fur et à mesure que l'angle d'incidence augmente, le rayon réfracté s'incline de plus en plus vers la surface séparant les deux milieux jusqu'au moment où sa direction vient à coïncider avec celle de la surface (rayon 2). L'angle de réfraction est alors de  $90^\circ$ . À des angles d'incidence plus élevés que l'angle critique  $\theta_c$ , il n'existe plus de rayon réfracté, ce qui donne lieu à la réflexion interne totale (rayon 3).

L'angle critique  $\theta_c$  peut être calculé en posant  $\theta_2 = 90^\circ$  dans la loi de la réfraction (loi de Snell).

Pour voir le principe de la réflexion interne totale dans une fibre optique, examinons la

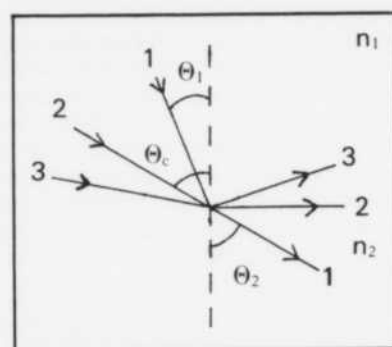


Figure 1: illustration de la réfraction (rayon 1) et de la réflexion interne totale (rayons 2 et 3)

propagation d'un rayon lumineux à travers celle-ci. La figure 2 montre une fibre optique à bout droit. Un rayon incident avec un angle  $\theta$  est réfracté à l'entrée avec un angle  $\theta_0$ . Le rayon poursuit sa course dans la fibre et est réfléchi à l'interface cœur-gaine d'un angle  $\Phi_0$ . Si  $\Phi_0$  est égal ou plus grand que l'angle

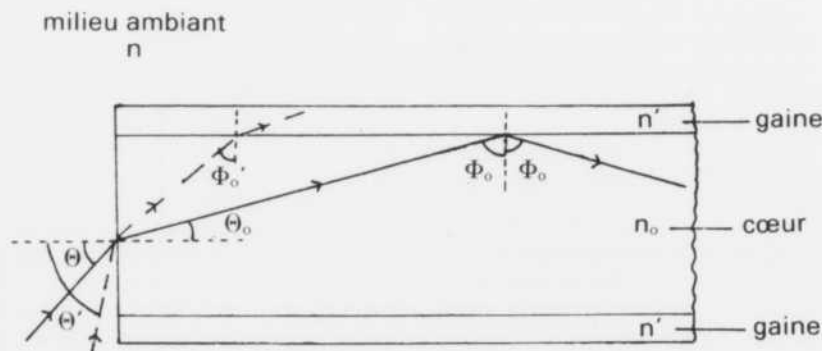


Figure 2: illustration d'un rayon lumineux dans une fibre

critique  $\Phi_c$ , le rayon subit une réflexion interne totale à chaque réflexion. Le rayon sera ainsi emprisonné dans la fibre et n'émergera qu'à la sortie de la fibre.

On voit que pour un rayon incident arrivant avec un angle  $\theta'$ , il ne subit pas de réflexion interne totale, car  $\Phi_o'$  est plus petit que  $\Phi_c$ . De toute évidence, il y a une limite à l'acceptation de l'angle d'entrée pour qu'il y ait propagation de l'onde lumineuse à l'intérieur de la fibre par réflexion interne totale. À l'aide de la loi de Snell et des identités trigonométriques, on peut déterminer l'angle limite d'entrée  $\theta_m$  et  $O.N = n \sin \theta_m = n_0 \sin \theta_0$ .

Le terme O.N est appelé l'ouverture numérique. On voit d'après cette équation que l'ouverture numérique est indépendante des dimensions physiques de la fibre, mais dépend seulement des indices de réfraction du cœur et de la gaine de la fibre. On peut donc se permettre d'avoir une fibre de petit diamètre, ce qui a l'avantage de la rendre flexible. Pour avoir la plus grande quantité de lumière recueillie à l'entrée de la fibre, il suffit de choisir les indices de réfraction  $n_0$  et  $n'$  en conséquence. Il est toutefois difficile de réaliser des fibres de grande différence d'indices entre le cœur la gaine. Par exemple, on commercialise des fibres optiques de large ouverture numérique de 0,6, ce sont des fibres qui acceptent toute lumière arrivant sur leur surface avec un angle inférieur à  $\theta_m = 39^\circ$  ( $\arcsin 0,6 = 39^\circ$ ).

### Optique ondulatoire

L'optique géométrique est insuffisante pour décrire d'une façon complète le comportement de la lumière dans la fibre. Il faut avoir recours à l'optique ondulatoire. La théorie ondulatoire de la lumière nous dit que les ondes lumineuses ne pourront se propager à l'intérieur de la fibre qu'en un certain nombre de modes. Ces modes déterminent les directions permises de propagation dans la fibre et leur nombre est limité par le diamètre de la fibre et par la longueur

d'onde de la lumière émise dans la fibre.

Cet aspect ondulatoire de la lumière a, comme on le verra, des conséquences importantes sur le rendement des fibres optiques.

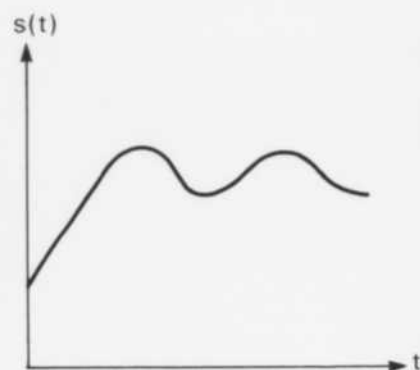
### Transmission de l'information

L'information dans un système de télécommunication optique peut être transmise sous forme analogique ou numérique. Dans la transmission analogique, on module l'amplitude (intensité) de la lumière transmise de façon à avoir une fonction continue dans le temps.

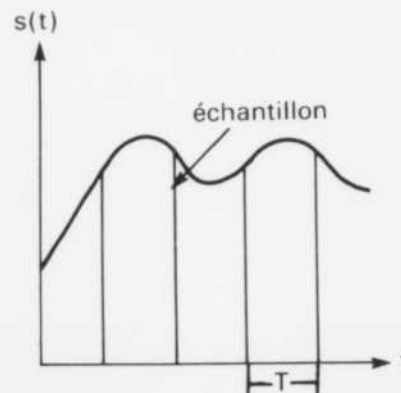
Une méthode plus efficace est la transmission numérique. Le principe est de coder en une série d'impulsions lumineuses le signal à transmettre. Il suffit, comme l'indique la figure 3, d'échantillonner l'amplitude du signal à intervalles réguliers à une fréquence double de la plus haute fréquence à transmettre si on ne veut pas risquer de perdre de l'information. On quantifie cette amplitude selon une échelle établie de valeurs: de 0 à 256 dans un système où on utilise une série de 8 impulsions pour coder une amplitude. Une fois le signal codé en une série d'impulsions lumineuses, il est transmis dans un fibre optique où à l'autre extrémité un récepteur décode le signal par un processus inverse.

Le premier avantage de ce type de transmission est la possibilité d'émettre des impulsions beaucoup plus courtes que la période d'échantillonnage. On a alors la possibilité durant ce laps de temps d'échantillonner et transmettre d'autres signaux. On émet ainsi dans la même fibre optique plusieurs signaux en même temps, c'est le multiplexage. Le second avantage est du côté de la distorsion. Il est beaucoup plus facile pour un récepteur de détecter sans erreur les deux états discrets de la transmission numérique (présence ou absence d'impulsion) que les états continus de la transmission analogique. On peut ainsi faire parcourir de plus grande distance à un signal sans

crainte d'erreur lors de son décodage.

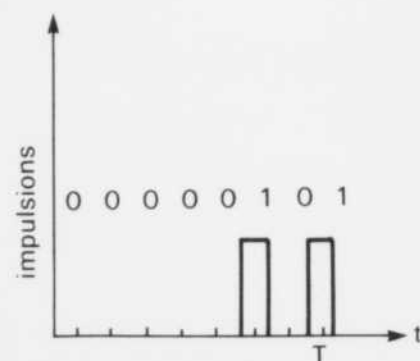


signal à transmettre



signal échantillonné

( $T = 125 \mu s$  pour la voix humaine)



échantillon codé

(amplitude de 5 sur une échelle de 256)

Figure 3: codage d'un signal

# DU 'TOUT-CANADIEN'



Entièrement fabriquées au Canada, depuis le stade du métal en fusion jusqu'au produit fini, et ce depuis 1908, les valves Jenkins n'ont jamais cessé de faire la preuve de leur capacité à satisfaire les demandes les plus rigoureuses du marché canadien.  
Jenkins Canada Inc., Lachine, Qué.

**JENKINS**  
Le spécialiste en valves



Considérons un exemple de transmission numérique ainsi que les possibilités de transmission de conversations humaines par fibre optique. Sachant que la voix humaine a une bande passante de 4 kHz, il faudra échantillonner 8000 fois par seconde (à toutes les 125  $\mu$ s). Si on quantifie l'amplitude du signal sur une échelle de 256 valeurs, ceci requerra une séquence de 8 impulsions par échantillon. Il faudra donc prévoir transmettre 64000 impulsions par seconde par conversation. Considérant toutefois des sources pouvant générer environ 275 millions d'impulsions par seconde, on voit l'incroyable quantité de conversations pouvant être transmises par une seule fibre optique : environ 4000.

### Sources de lumière

On utilise actuellement deux types de sources émettrices : les diodes électroluminescentes

(DEL) et les lasers à semi-conducteur. Ce sont des sources de faibles dimensions dont le fonctionnement est relié à la structure des semi-conducteurs. Dans le cas d'une DEL, si on y applique un courant électrique elle émettra de la lumière dans toutes les directions, donc non cohérente, dont l'intensité lumineuse sera proportionnelle à l'intensité électrique. De telles diodes sont facilement fabricables et sont utilisées pour des débits d'information relativement faibles et pour de courtes distances de transmission.

Quant aux lasers à semi-conducteur, ils sont des diodes électroluminescentes améliorées. On a réussi à piéger dans une cavité résonnante la lumière émise. Les sources lasers ont sur les diodes électroluminescentes deux avantages : la directionnalité et la cohérence. En effet la lumière émise à la fibre optique pour une même O.N.

Bien que les sources lumineuses ne soient jamais parfaites,

la lumière d'une source laser est nettement plus monochromatique que celle d'une DEL. Ceci minimise la dispersion dite spectrale ou chromatique de l'information lors de sa transmission. En effet, l'indice de réfraction de la fibre varie en fonction de la longueur d'onde, il en résulte donc des vitesses de propagation différentes pour chacune des longueurs d'onde de l'onde lumineuse émise. Ceci a pour conséquence un élargissement des impulsions reçues en bout de fibre. Pour éviter un chevauchement trop important entre deux impulsions successives, on se verra imposer une fréquence maximum d'émission. Il est clair que plus la fibre sera longue, plus grand devra être le délai entre deux impulsions successives. On verra, toutefois, que la dispersion chromatique n'est pas le seul élément limitatif à la fréquence des impulsions émises.

Comparons, par exemple, une source laser ayant une lar-

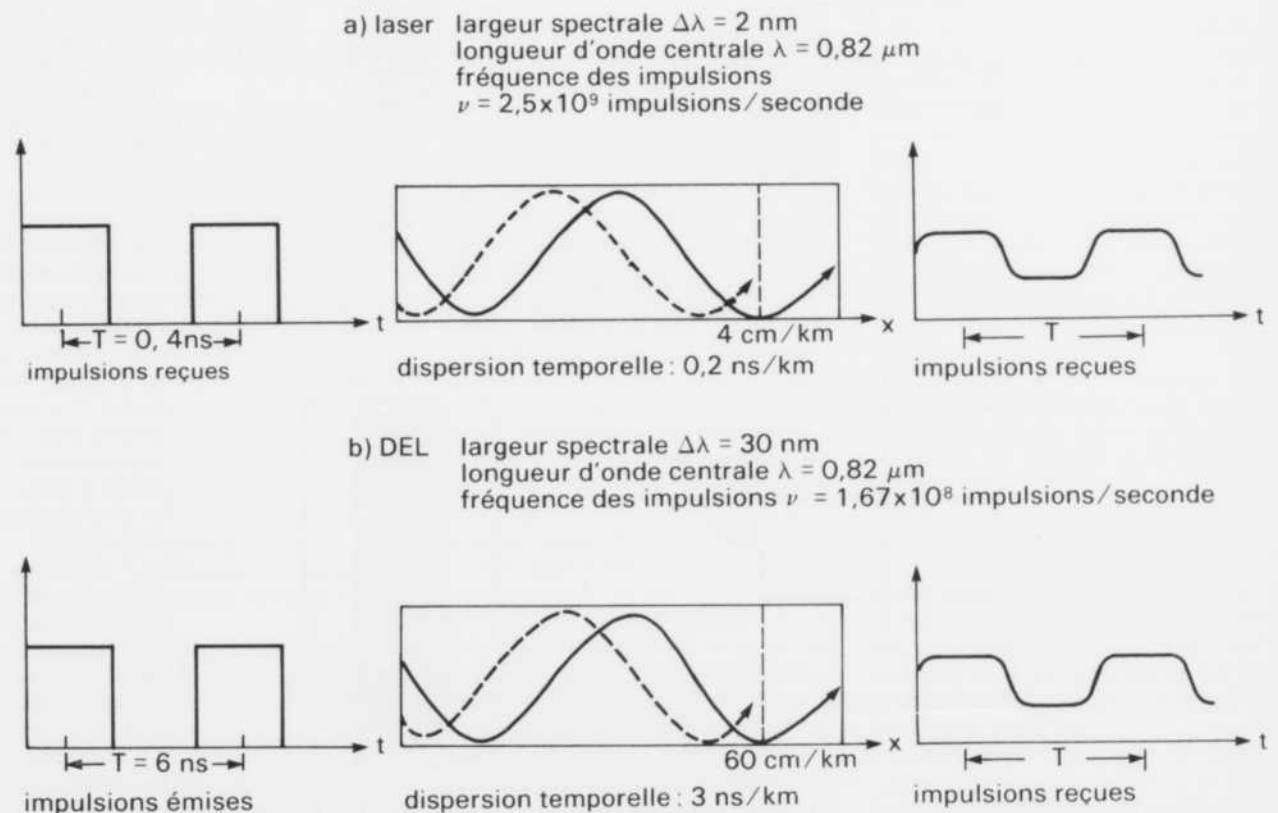
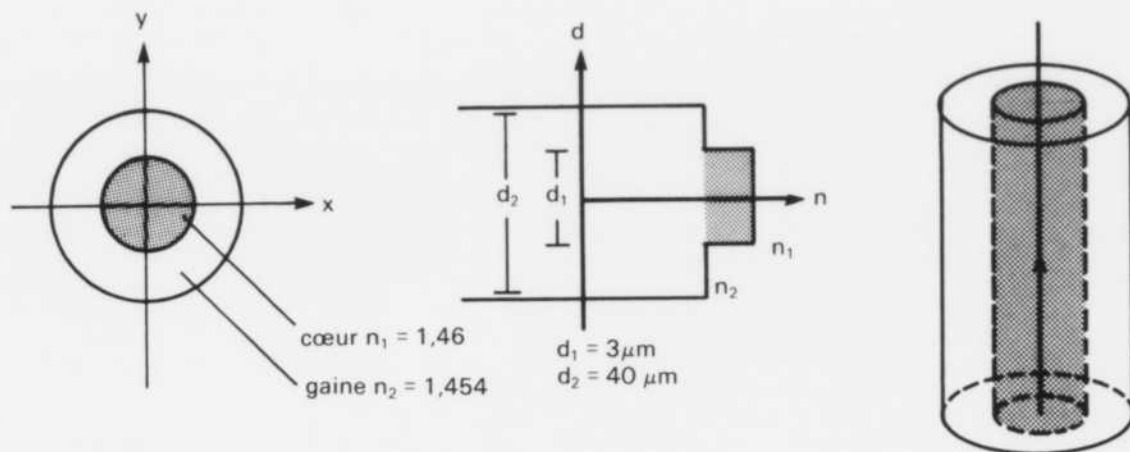
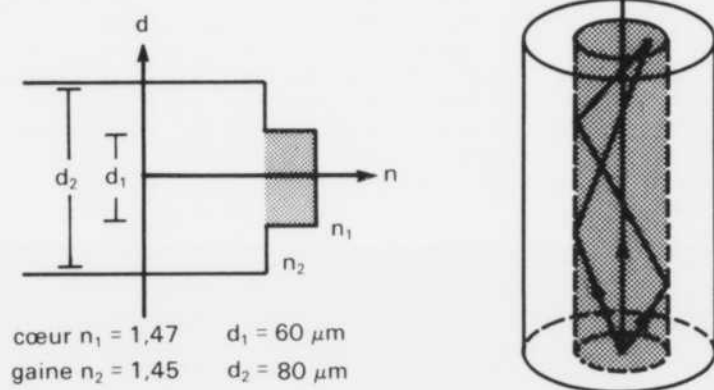


Figure 4 : dispersion chromatique d'un laser et d'une DEL

a) fibre monomode

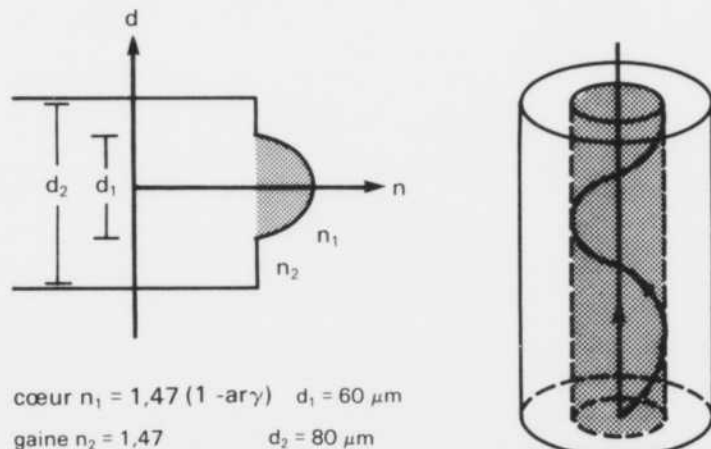


b) fibre multimode à saut d'indice



leur spectrale de 2 nm centrée autour de la longueur d'onde  $\lambda = 0,82 \mu\text{m}$  et d'une DEL de 30 nm de largeur spectrale. Comme le montre la figure 4, après un trajet de 1 km dans la fibre optique, l'impulsion du laser montrera une dispersion temporelle de  $2 \times 10^{-10}$  seconde tandis que pour la DEL, ce délai est quinze fois plus important.

c) fibre multimode à gradient d'indice



### Fibre optique

Nous venons de voir qu'il existe une dispersion temporelle de l'information véhiculée dans une fibre optique due à des sources non monochromatiques. Il existe un autre type de dispersion, la dispersion modale, qui nous impose une limite encore plus restrictive quant à la fréquence d'émission des impulsions.

D'après la théorie ondulatoire en effet, une impulsion lumineuse se propage selon différents modes. Les modes d'ordre faible subissent beaucoup moins de réflexions totales internes sur l'interface cœur-gaine et ont donc une trajectoire beaucoup moins en zig-zag, comparativement aux modes d'ordre plus élevé. On voit qu'il en résultera à l'arrivée un étalement de l'information. Cette

Figure 5 3 types de fibre optique

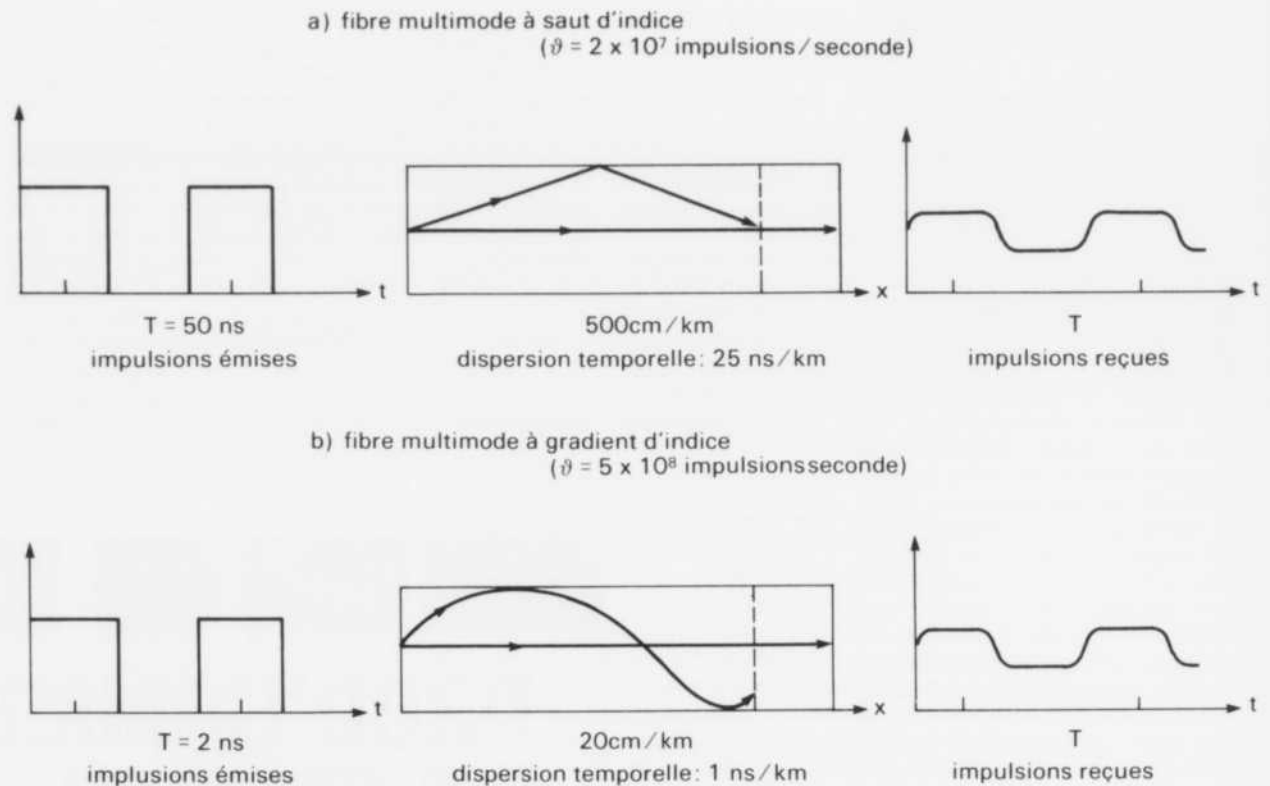


Figure 6 dispersion modale dans les fibres multimodes

dispersion modale est naturellement fonction du type de fibre utilisée.

On distingue trois types de fibre optique : monomode, multimode à saut d'indice et multimode à gradient d'indice. À chaque type de fibre correspond un type de variation de l'indice de réfraction du cœur vers la gaine. Or à chacun des types de fibre correspondent des modes spécifiques de propagation, comme l'indique la figure 5.

Une fibre monomode ne permet la propagation de la lumière que dans un seul mode. Cette fibre se caractérise par le diamètre du cœur qui ne doit être que de quelques longueurs d'onde (quelques microns) et par les indices de a) fibre mono-

mode ne variant que de quelques pour cent. Sous ces conditions, la lumière ne pourra se propager que selon une trajectoire parallèle à l'axe de la fibre. Cette fibre est idéale car seulement la dispersion chromatique causée par la source entraîne un étalement des impulsions. Elle a toutefois un cœur si étroit qu'elle

pose certains problèmes de connexions entre d'autres fibres ou entre les sources et récepteurs. Elle exige une source devant émettre un faisceau de diamètre égal ou plus petit que le cœur de la fibre pour un maximum d'efficacité, ce qui exclut les diodes électroluminescentes.

Une fibre multimode a un cœur relativement large, la lumière pourra s'y propager selon plusieurs modes. La dispersion modale pourra donc y être importante. Toutefois il y a l'avantage que non seulement une source laser mais également une DEL pourront être utilisées. Les problèmes de connexions entre fibres sont moins importants.

La fibre multimode à saut d'indice est celle où le cœur et la gaine ont des indices de réfraction constants mais différents l'un de l'autre. Il y a donc un saut d'indice à l'interface cœur-gaine. Malheureusement les performances de cette fibre sont limitées par la dispersion modale.

Dans la fibre multimode à gradient d'indice, on a réussi à

diminuer la dispersion modale en faisant varier graduellement l'indice de réfraction du cœur vers la gaine. Il n'y a plus de saut d'indice dans ce cas. De cette façon les modes d'ordre moins élevé se propagent plus lentement. En bout de fibre, les impulsions auront subi un étalement beaucoup moins important comparativement à la fibre à saut d'indice. Ceci est schématisé à la figure 6.

Après avoir envisagé le problème de la dispersion temporelle, se pose celui de l'atténuation du signal lors de sa propagation dans la fibre. Cette atténuation sous forme de pertes par absorption et par diffusion est due aux impuretés dans la fibre et à la nature même du matériau formant la fibre. Ainsi les premières fibres optiques étaient telles que le signal était complètement atténué après quelques mètres.

Ce n'est qu'avec la très haute pureté du verre utilisé que l'on a réussi à fabriquer des fibres à très faible atténuation. On a également noté que les pertes étaient fonction de la

longueur d'onde de la lumière utilisée. Il existe en effet, pour toute fibre, des fenêtres de transmission, régions de plus faible atténuation. Il est donc possible de minimiser l'atténuation en développant des procédés de fabrication du verre plus perfectionnés ainsi que des sources émettrices et que des récepteurs capables de travailler à une longueur d'onde précise. Ceci faisant on pourra augmenter significativement la distance de transmission sans atténuation, d'où des économies appréciables.

### Détecteurs ou récepteurs

À l'autre extrémité des sources, on retrouve les détecteurs. Un peu de la même façon que l'on peut convertir un signal électrique en signal lumineux, les récepteurs peuvent faire l'opération inverse: produire un courant (signal électrique) proportionnel à la puissance lumineuse incidente.

Les récepteurs présentement utilisés sont des photodiodes à semi-conducteur. Elles répondent aux caractéristiques requérant une haute sensibilité à la lumière incidente, un temps de réponse suffisamment rapide et un bruit de fond interne minimal.

Cette dernière propriété des détecteurs est très importante car le bruit de fond du détecteur vient se superposer au signal qui arrive atténué. Ainsi plus ce bruit sera minime, plus il sera possible de détecter, avec le moins d'erreurs, la série d'impulsions représentant le signal original.

### Conclusion

Il n'a été présenté ici qu'un survol des principes et des éléments composant un système de communication par fibre optique. On est toutefois en mesure d'apprécier les conséquences importantes qui résulteront de l'implantation d'un tel système de communication.

On retrouvera en effet la fibre optique dans à peu près tous les domaines (téléphone, télévision, informatique) où une

information doit être transmise d'un point à un autre. On n'a qu'à penser que d'ici quelques années, grâce à la fibre optique, nous jouirons d'une gamme de services (transactions, courrier, banques de données) de plus en plus variés qui nous seront accessibles sans même sortir de chez-soi.

L'ingénieur

### Bibliographie

Allen, W.B., *Fibre optics theory and practice*, Plenum Press London and New-York, 1973

Boyle, W.S., *Light-wave communications*, Scientific American; August 1977 p 40-48

Claire, J.J., *Télécommunications optiques*, Masson, Paris, 1977

Cook, J.S., *Communication by optical fiber*, Scientific American; November 1973 p 28-35

Davis, R. et autres, *Optical fibre communications*, John Wiley and Sons, 1980

Fleury, Jean-Marc, *La lumière qui parle*, Québec-Science; février 1981 p 16-23

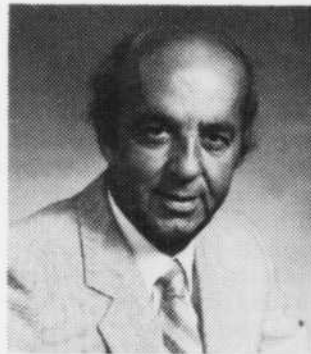
Harrington, James A., *A new frontier for optical fibres*, Optical Spectra; February 1981 p 39-40

Kapany, S.N., *Fiber optics principles and applications*, Academic Press, New-York London, 1967

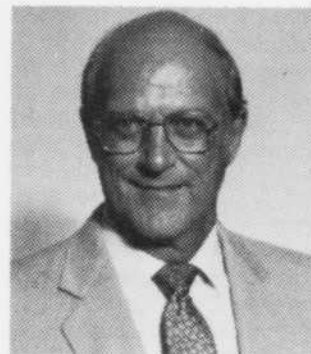
Nérou, J.-Pierre, *Les fibres optiques*, Les éditions Le Griffon d'argile 1983

Ostrowsky, Daniel, *Les télécommunications optiques*, La Recherche; février 1982 p 170-179

## PRUD'HOMME ET FRÈRES ltée



M. Claude Ferland



M. Camille Deschamps

M. Gustave Papillon, président de la compagnie Ciment Québec inc. est heureux d'annoncer les nominations de M. Claude Ferland au poste de président du conseil d'administration et de M. Camille Deschamps au poste de président-directeur général de Prud'homme et frères ltée. Prud'homme et frères ltée est une division de la compagnie Ciment Québec inc., entreprise à propriété exclusivement québécoise.

**Ciment Québec inc.**

## Schémacode: un outil d'aide à la programmation

Michel Bernier  
Étudiant en Génie industriel  
École polytechnique Montréal

*Les outils d'aide à la programmation mènent à des logiciels mieux structurés. Schémacode utilise le pseudocode schématique, une approche par raffinements successifs, et autodocumente le programme. Son utilité sera pleinement démontrée lorsque des standards de qualité pour les logiciels seront établis.*

### Introduction

Le logiciel représente une très grande partie du coût total d'un système informatique. Le développement du logiciel est une activité importante pour l'ingénieur. Il se doit de connaître les outils et les techniques qui améliorent la qualité du logiciel ainsi que l'efficacité de sa production.

Cet article décrit plus particulièrement un outil d'aide à la conception et à la réalisation de programmes. Cet outil se nomme Schémacode. Avant de décrire l'outil et la méthodologie dont il s'inspire, nous verrons d'où vient la nécessité d'un tel outil. Nous déterminerons aussi où s'insère Schémacode dans la gamme de plus en plus large des outils d'aide à la programmation. Nous traiterons de l'origine des outils et de la qualité du logiciel produit avec ceux-ci. Enfin, nous tenterons de prévoir l'évolution future des techniques de développement du logiciel.

La vie d'un logiciel peut être divisée en plusieurs étapes (1). Le logiciel naît lorsque quelqu'un identifie un besoin informatique qu'il exprime par une série de spécifications. L'élaboration de ces spécifications représente une activité non négligeable. Plusieurs outils sont disponibles pour aider le programmeur à énoncer clairement ce que le programme devra accomplir.

Vient ensuite la conception du logiciel. La conception a

pour but d'assurer la satisfaction des spécifications opérationnelles implicites et explicites exprimées à la première étape. Éventuellement, une série documentée d'énoncés exécutoires d'un langage informatique quelconque forme la solution.

La réalisation désigne l'élaboration d'un prototype fonctionnel de la solution résultant de l'étape conception. C'est l'étape du codage et du débogage des erreurs. Le prototype doit alors être testé et validé. Il y a toujours possibilité de rétroaction, même jusqu'à la première étape, si le logiciel n'atteint pas les objectifs fixés. Enfin, le logiciel est mis en opération. Son entretien et son évolution représentent cependant l'étape la plus coûteuse: 67% des coûts d'un logiciel y sont attribués.

Des outils informatiques existent pour aider soit l'analyste, soit le programmeur, ou encore le gestionnaire du projet lors de chacune des étapes de la vie du logiciel. Mais des systèmes complets, unifiés, sont encore à l'étape de projets (2). Nous nous concentrons ici sur les outils intervenant aux étapes de la conception et de la réalisation.

La conception se compose de deux étapes: la définition des algorithmes et l'élaboration de la structure de contrôle qui gouverne l'action des divers éléments du programme. De sérieux problèmes surviennent si cette structure est mal définie, trop complexe ou difficile à comprendre. Le manque de lisibilité du programme est un premier problème aux conséquences économiques importantes: l'entretien représente généralement des coûts élevés et non prévus. Il y a gaspillage lorsqu'un programme doit être réécrit parce qu'on n'en comprend pas la structure. Trop de programmeurs perdent du temps à «réinventer la roue». Il y a aussi le problème de la mobilité d'un logiciel. Ce qui est écrit pour une machine ne fonctionnera pas nécessairement sur une autre. Lorsque le programme est incompréhensible, les frais d'adaptation deviennent prohibitifs.



La mauvaise lisibilité est donc non seulement un problème pour le programmeur, mais pour tous ceux qui devront éventuellement comprendre le programme pour le modifier, l'améliorer ou encore y corriger une erreur. L'essence du problème est le manque d'uniformité dans les styles de programmation. La complexité d'un programme est reliée à la personnalité du programmeur et à son degré de motivation envers l'objet du programme. Des personnes différentes écriront des versions différentes au niveau de la structure et de la complexité. La coordination des efforts d'une équipe de programmation est difficile pour cette même raison.

La programmation structurée est un premier pas vers une meilleure lisibilité. Il s'agit d'un ensemble de règles qui empêchent jusqu'à un certain point qu'un programme devienne «spaghetti»!\* Une bonne documentation aide aussi, mais seulement si elle est fidèle et à jour. En fait, plusieurs méthodologies existent pour améliorer la lisibilité. L'automatisation de ces méthodologies est l'objectif de nombreux outils de développement.

Les outils d'aide à la programmation tentent aussi de réduire le gaspillage de ressources intellectuelles associé à certaines étapes du développement du logiciel: le codage est un procédé pénible, de même que le débogage des erreurs.

\* Un programme «spaghetti» est un programme dont la structure empêche la lecture facile de haut en bas, à cause d'un grand nombre de renvois (GOTO) à d'autres énoncés.



# Évitez l'érosion de vos budgets

## Texel

### Le contrôle de l'érosion

- Canaux de navigation
- Berges de lacs et de cours d'eau
- Piliers de structures maritimes
- Entreposage de résidus miniers

Pour tous ces types de travaux, Texel est un filtre des plus efficaces. Placé derrière les enrochements, il empêche la migration de fines particules, prévenant ainsi l'érosion, il permet également de laisser passer l'eau, afin de ne pas créer de pressions hydrostatiques.

Fabriqué selon un procédé d'aiguilletage utilisant des fibres courtes, le géotextile Texel peut résister à de nombreux efforts lors de l'installation, ce qui lui confère des particularités très intéressantes:

- Il se moule au terrain existant
- Il ne se colmate pas avec le temps
- Il résiste au poinçonnement
- Il évacue l'eau dans son plan

De plus, le géotextile fait de polyester ne flotte pas à cause de sa masse volumique supérieure à celle de l'eau. C'est un atout important dans le cas des travaux sous l'eau.

Texel remplace économiquement les filtres naturels souvent coûteux et plus difficiles à mettre en place.

Une bonne façon de stabiliser vos pentes... et d'éviter l'érosion de vos budgets.

485, des Érables, St-Elzéar  
Beauce-Nord, Québec, Canada  
G0S 2J0  
Tél.: (418) 387-5910 1-800-463-8929

### L'outil de conception schémacode

Schémacode fut développé à l'École Polytechnique de Montréal par le professeur Pierre N. Robillard et son équipe. En plus de la recherche faite à Polytechnique, Schémacode est utilisé à l'Université Laval, aux départements de physique et d'informatique-mathématique de l'UQAM et à l'INRS télécommunication. Schémacode est dit en phase d'essai bêta, c'est-à-dire qu'il est mis à l'essai dans un environnement externe avec des usagers autres que les concepteurs.

Schémacode est un outil interactif qui, non seulement aide l'utilisateur à écrire un programme mieux structuré et plus lisible, mais lui fournit aussi une documentation à jour de ce programme (3). L'outil joue essentiellement sur deux plans. Il permet à l'utilisateur de passer progressivement des spécifications de son problème à des énoncés d'un langage de programmation, tel le Fortran ou le Pascal. Il utilise, pour ce faire, le pseudocode, c-à-d. un niveau de langue intermédiaire entre le français et un langage ordinaire.

Par la technique du raffinement successif et par l'approche descendante, Schémacode aide l'utilisateur à préciser les fonctions de son programme. L'utilisateur commence par décrire l'ensemble des fonctions de son programme par quelques commentaires généraux tels: lecture des données, traitement, impression des résultats, etc. C'est un premier niveau de raffinement, dans lequel il fait abstraction du détail de la réalisation de chaque fonction. L'important, c'est l'information transmise par ces commentaires généraux sur la structure du programme.

Pour Schémacode, chacun des commentaires généraux donne naissance à un nouveau raffinement. Le contenu de celui-ci est soit du code informatique, soit d'autres commentaires généraux, qui engendreront de nouveaux raffinements. Le programmeur passe d'une expression générale pour aller

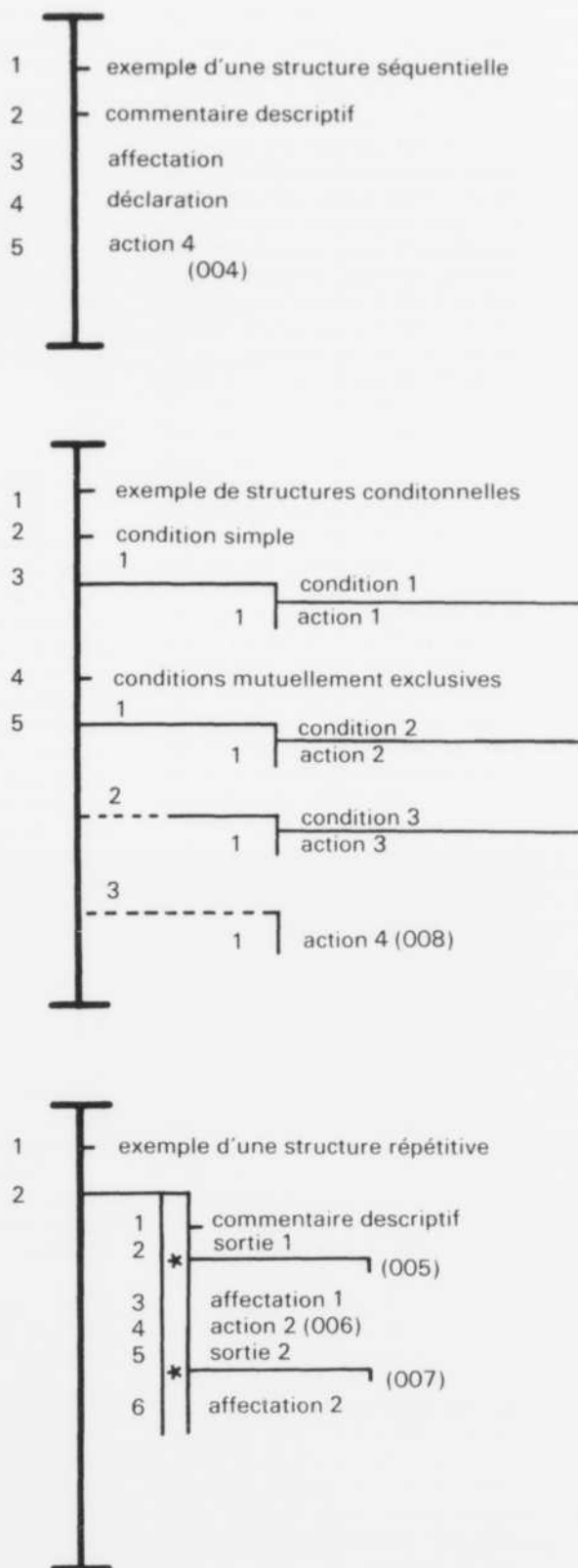


Figure 1 Représentation pseudocode-schématique des trois structures élémentaires.

vers un niveau de détail plus spécifique. La raison d'être de chaque raffinement est toujours décrite par le commentaire général qui l'a engendré.

Il est démontré que tout programme est construit à l'aide de trois types de structure (4). Une structure séquentielle représente des actions ou des affectations qui se suivent une à la suite de l'autre. Des actions qui seront accomplies seulement si une condition *booléenne*\*\* est réalisée constituent une action conditionnelle. Enfin, un groupe d'actions qui sont exécutées tant et aussi longtemps qu'une condition booléenne demeure vraie représente une action répétitive. Le pseudocode schématique est un langage qui permet d'exprimer les trois structures (5). La figure 1 illustre telle que le ferait Schémacode, les trois structures possibles d'un programme. Tout programme est composé de structures séquentielles, conditionnelles ou répétitives. Schémacode utilise le pseudocode schématique pour exprimer la structure d'un programme. Schémacode permet de bâtir et de visualiser schématiquement la structure directement à l'écran du terminal. L'avantage est que la structure risque moins d'être déformée par les particularités du langage informatique utilisé.

Lorsque tous les raffinements sont spécifiés par le programmeur, l'outil les intègre avec énoncés de contrôle appropriés, générés à partir de la représentation schématique, pour produire un programme exécutable. La forme schématique demeure cependant pour documenter le logiciel.

Schémacode est donc un éditeur qui permet au programmeur de travailler par raffinements successifs et d'exprimer sa conception à l'aide de pseudocode schématique. Il fournit une documentation automatique parce que chaque raffinement possède au moins son commentaire général, et intègre automatiquement les énoncés qui composent les raffine-

ments avec les énoncés de contrôle générés à partir de la structure schématique. À noter que schémacode est un éditeur multilingue: le programmeur choisit un langage-cible parmi le Fortran 66 ou 77, le Pascal, l'assembleur PDP 11/60, dbase II ou Basic. Les concepteurs comptent développer, dans un avenir prochain, une version pour micro-ordinateur ainsi que la possibilité d'utiliser le COBOL comme langage cible.

### Classification des outils

Comment situer Schémacode parmi les autres outils? Pour y arriver, établissons une taxonomie des outils d'aide à la programmation. La pratique courante regroupe les outils en les identifiant à l'une ou l'autre des phases du développement d'un logiciel, soit l'expression des spécifications, la conception, la réalisation, les tests ou l'entretien. Mais cette classification n'est pas sans ambiguïté; les phases se chevauchent souvent et, pire encore, cette classification ne permet pas de cerner clairement la fonction de l'outil. «Outil de conception» peut vouloir dire bien des choses et c'est pourquoi identifier Schémacode par cette étiquette seulement ne suffit pas pour le situer clairement parmi les autres outils.

Reifer (6) propose une taxonomie à trois dimensions. À l'intérieur d'une catégorie, «outil de développement» par exemple, on caractérise l'outil en identifiant ses intrants, ses fonctions et des extrants (tableau (1)).

Les intrants sont l'interface entre l'utilisateur et l'outil. Les intrants outils sont ce sur quoi l'outil opère. On les classe selon leur niveau linguistique. Les intrants de contrôle spécifient les opérations que l'outil devra effectuer. Ceux-ci sont regroupés en commandes et paramètres.

La seconde dimension est la fonction de l'outil. C'est le cœur de la classification proposée. Les fonctions possibles

sont regroupées sous trois titres: transformation, analyse statique et analyse dynamique. De nombreuses sous-classifications sont possibles. On constate que la ou les fonctions d'un outil peuvent alors être identifiées beaucoup plus clairement.

La troisième dimension de la taxonomie est l'extrant de l'outil. L'extrant forme le lien entre l'outil et l'utilisateur. Certains extrants sont lisibles par l'utilisateur et d'autres sont destinés à un autre outil ou au traitement informatique. On parle alors d'extrant machine.

Cette classification permet donc de mieux situer les objectifs d'un outil. Elle permet aussi d'évaluer la polyvalence de l'outil en question. En effet, certains outils accomplissent plusieurs fonctions et comportent possiblement plus d'un type d'intrant ou d'extrant.

Selon cette taxonomie, Schémacode est classé de la façon suivante: son intrant est un langage de très haut niveau (pseudocode-schématique). Il a pour fonctions le traitement, l'édition, la mise en format et la restructuration. Enfin, les extrants sont sous deux formes: une forme schématique, qui permet à l'utilisateur de lire son programme sous la forme pseudocode-schématique, et une forme code source, qui est un programme exécutable par l'ordinateur.

En parcourant un catalogue d'outils d'aide à la programmation tel le «Reifer Consultants Software Tools Directory», qui utilise la taxonomie décrite précédemment, on arrive à identifier certains outils qui visent essentiellement les mêmes objectifs que Schémacode, soit la facilitation du développement, de la documentation et du codage structuré des programmes.

Une façon de regrouper les outils de conception est la suivante. Certains outils aident à exprimer les spécifications. Appelons-les «outils pré-conception». Schémacode agit à ce niveau en permettant au programmeur de faire abstraction des complexités du programme en procédant par raffinements

\*\* Une condition «booléenne» est un énoncé logique qui ne peut prendre que deux états: vrai ou faux.

INTRANT		
<b>Intrant outil</b> donnée code source texte langage de très haut niveau		<b>Intrant contrôle</b> commande paramètre
FONCTION		
<b>Transformation</b> édition format instrument restructuration traduction	<b>Analyse statique</b> vérification calcul comparaison complexité intégrité consistance coût index erreur expression interface gestion mémoire optimisation repérage chemin critique statistique structure trace type unité	<b>Analyse dynamique</b> comptage flux des données exécution ressource logique chronomètre mise au point
EXTRANT		
<b>Usager</b> résultat diagnostique graphique liste rapport table		<b>Machine</b> donnée code intermédiaire code objet code source message texte
<p><b>N.B.</b> Des descriptions complètes des sous-catégories sont données dans le «Reifer consultants tool directory» (6)</p>		

Tableau 1 : Classification de Reifer

successifs. La charpente structurale du programme est définie dès le début et la programmeur ne procède pas aveuglément.

Il y a les outils de conception proprement dits. Ils automatisent une méthodologie de programmation en guidant le programmeur et en l'empêchant d'y déroger. Certains outils sont plutôt d'application post-conception. Il s'agit de profilers qui évaluent la complexité et la logique de la conception. Ils facilitent la décomposition hiérarchique des programmes.

Poursuivant ce schéma de classification, il y a ensuite les outils de codage, qui produisent du code source à partir de l'étape conception. Enfin, on retrouve toute une pléiade d'outils post-codage, qui ont essentiellement comme fonction la documentation de programmes déjà codés. Il peut s'agir de documentation graphique sous forme d'organigramme, de représentation hiérarchique, etc. Ces outils ne sont pas utilisés lors du développement du programme, puisque celui-ci est déjà complété, mais ils peuvent être utiles pour son entretien.

### Origine des outils

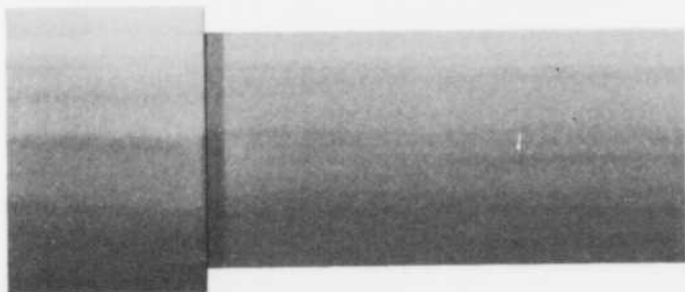
D'où proviennent les outils? On réussit à identifier deux sources principales: les très grandes entreprises et les universités (7). Dans les grandes entreprises, telles Hughes Aircraft ou la NASA, on développe des outils d'aide à la programmation dans le cadre de projets spécifiques importants. Tel est le cas de SREM qui fut élaboré pour aider la conception du logiciel des missiles balistiques de la défense américaine. Mais ces outils ne sont généralement qu'une étape du projet principal. Une fois le projet complété, l'outil, qui a rendu service à l'entreprise, devient disponible au public. Mais l'outil n'a pas été conçu en fonction d'une utilisation dans un environnement différent. L'outil est presque toujours très dépendant de la configuration exacte du système informatique dont il provient.

Le milieu universitaire donne aussi naissance à des outils. Bien qu'ils soient généralement plus universels, donc moins limités à une configuration de système ou à un projet spécifique, leur migration vers le milieu professionnel de la programmation est quant même difficile. Ces outils, comme Schémacode, suggèrent ou imposent généralement une méthodologie de travail. Les programmeurs, réticents à changer leurs habitudes, trouvent l'adaptation à l'usage de ces outils difficile. De plus, il est difficile pour le gestionnaire d'une équipe de programmation d'évaluer la qualité d'un outil et de juger de la pertinence de son utilisation. Les outils promettent d'augmenter la fiabilité du logiciel et d'en réduire les frais de développement et d'entretien, mais comment vérifier à l'avance ces allégations?

### Qualité du logiciel

Il faut revenir au concept d'uniformisation de la programmation pour comprendre comment les concepteurs d'outil tentent de répondre à cette question. L'évaluation de l'envergure d'un programme et de l'effort nécessaire pour sa réa-

# TUYAU ATLAS



**CIMENT  
PORTLAND +  
SILICE +  
FIBRES =  
SANS ROUILLE  
POUR LA VIE**

Tuyau à pression,  
tuyau d'égout,  
tuyau de renvoi.

Fabriqué au Québec  
depuis 30 ans.

Solide, léger,  
pose facile,  
entretien économique.

*Demandez nos brochures.*



**Tuyau Atlas**

5600 HOCHELAGA  
MONTREAL, QUEBEC H1N 1W1  
(514) 259-2531 TÉLEX: 05-828769

Une Division de ATLAS TURNER INC.

lisation est un des problèmes majeurs que doivent résoudre les responsables du développement de logiciel (8). De plus en plus, on pense en terme de complexité plutôt qu'en terme de taille (nombre de lignes de programme). De la recherche se fait actuellement pour définir analytiquement ce qu'est la complexité d'un logiciel (9). La complexité d'un énoncé serait reliée à la difficulté de retirer cet énoncé du programme, donc aux relations entre cet énoncé et les autres.

Lorsqu'on modifie localement un programme en rajoutant quelques énoncés correcteurs, on risque d'augmenter à cet endroit la complexité et d'affaiblir la structure du programme. Les chercheurs posent l'hypothèse que l'emploi d'une méthodologie, ou d'un outil automatisant cette méthodologie, produit des programmes dont la complexité est plus uniforme. Il devient clair que de définir et de pouvoir mesurer la complexité d'un logiciel prend de l'importance.

La lisibilité et la complexité d'un logiciel ne sont en fait que des aspects d'un problème plus vaste, soit celui d'évaluer la qualité d'un logiciel. Peu d'ententes formelles existent à ce sujet (10). Lorsque les usagers et concepteurs pourront définir avec plus de rigueur ce qu'est la qualité d'un programme, il sera beaucoup plus facile d'évaluer la valeur des outils d'aide à la programmation. Cela explique l'intérêt que les concepteurs d'outils ont à définir des standards de qualité. À la question initiale, soit celle de déterminer comment un gestionnaire peut juger de la valeur d'un outil, la réponse est qu'il devra attendre que des mesures de la qualité d'un logiciel soient établies. Il pourra à ce moment évaluer l'amélioration apportée par l'utilisation de l'outil.

## **Limites des outils actuels**

La jeune science du développement du logiciel, baptisée «software engineering», évolue rapidement. En moins de trente

# TANDY 2000

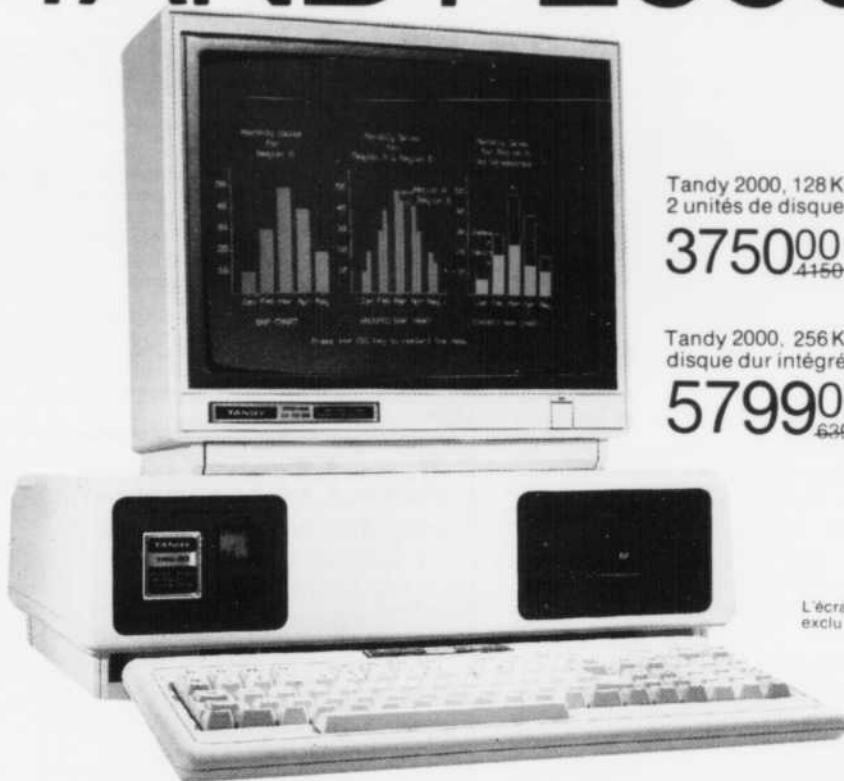
ans, l'état de l'art est passé de la programmation machine au Fortran, aux langages structurés et maintenant à l'utilisation d'outils d'aide à la programmation. Les changements ne se font pas sans difficultés. Les méthodologies proposées aujourd'hui sont, elles aussi, appelées à changer. Quelles sont donc les limites de la programmation assistée par les outils actuels ?

Certains commencent à penser que c'est la structuration même qui pourrait être la grande faiblesse (1). Une structure formelle, établie en fonction d'objectifs précis, pourrait manquer de souplesse face à des changements ou à des redéfinitions des spécifications initiales. Il arrive que les gens qui demandent un logiciel pour une nouvelle application se rendent compte en le recevant que ce n'est pas vraiment ce qu'ils voulaient, bien que ce soit exactement ce qu'ils aient demandé. La conception du programme, dont la structure entière repose sur ces spécifications initiales, est alors difficile à changer. Le problème est accentué lorsque le logiciel est conçu en fonction d'un environnement informatique donné, alors que l'équipement dont il consiste est appelé à changer, parfois même avant l'aboutissement de la conception du logiciel. Trop souvent il faut tout recommencer à neuf pour se buter de nouveau aux mêmes difficultés.

On entrevoit une nouvelle génération d'outils d'aide à la programmation pour pallier à ces problèmes. Ces outils permettraient une structure plus flexible, plus adaptable à des spécifications changeantes. Ces outils proviendraient du milieu de l'intelligence artificielle, très actif présentement en recherche et développement des systèmes « experts ». Il s'agirait d'outils simulant l'approche d'un « expert » en conception de programme. Ces outils aideraient le programmeur à mieux comprendre sa propre approche au développement de logiciel.

## Conclusion

Le développement d'outils d'aide à la programmation repré-



Tandy 2000, 128 K avec 2 unités de disques

**3750<sup>00</sup>**  
4150.00

Tandy 2000, 256 K avec disque dur intégré

**5799<sup>00</sup>**  
6399.00

L'écran exclu

## Le choix logique

Le Tandy 2000 — l'appareil incroyable avec lequel Radio Shack voudrait que vous fassiez connaissance. Pour une période limitée, vous épargnez jusqu'à \$600.

Tandy 2000 offre plus que tout autre ordinateur MS-DOS. Plus rapide, avec plus de mémoire sur disque et des graphiques plus évolués. D'extension si facile, même le PC d'IBM ne peut se comparer avec le "2000".

Avec le Tandy 2000, vous

pouvez choisir parmi les logiciels MS-DOS les plus complexes et les plus demandés. Traitement de texte, planification, classement de texte etc.

Il existe de puissants et pratiques logiciels conçus pour vous.

De format ergonomique, le Tandy 2000 est beau à voir et facile à utiliser. Il bénéficie aussi du soutien du vaste réseau des services Radio Shack.

Les prix expirent le 29 sept., 1984



Renseignez-moi plus au sujet du Tandy 2000

Écrire à Radio Shack, C.P. 34 000, Barrie, Ont. L4M 4W5

NOM \_\_\_\_\_  
COMPAGNIE \_\_\_\_\_ TÉLÉPHONE \_\_\_\_\_  
ADRESSE \_\_\_\_\_  
CODE POSTAL \_\_\_\_\_

**Radio Shack**

Division, Électroniques Tandy Limitée  
NOS ORDINATEURS C'EST DU SÉRIEUX

0002-18160/041, 11

## répertoire des annonceurs

Flygt Canada	C2	Sial	24
Forces Armées Canadiennes	6	Steadtler	31
Fortier, Franklin, Le gault Inc.	9	Géophysique G.P.R. International Inc.	32
Bouthillette, Parizeau & Associés	9	Yvon Dagenais & Associés	32
Jenkus Canada Inc.	12	Dufresne Farley et Associés	32
Texel Inc.	18	Lupien, Rosenberg, Journeaux & Associés Inc.	32
Tuyau Atlas	22	Solar turbines	C3
Radio Shack	23	Infranor	C4
La Rapière Lavalin	24		

### La Rapière

**RESTAURANT FRANÇAIS**  
spécialités pyrénéennes

le confit d'oie, le cassoulet,  
le jambon de Bayonne.

Table d'hôte lundi au vendredi :  
midi à 15h.  
Samedi 17h30 à 23h30  
Fermé le dimanche

**Réservations : 844-8920**  
1490 rue Stanley,  
(métro Peel, sortie Stanley)

## Lavalin

---


ÉTUDES, GÉRANCE DE PROJETS

---

INGÉNIERIE, APPROVISIONNEMENT, CONSTRUCTION

---

Siège social  
1130, rue Sherbrooke ouest, Montréal, Québec H3A 2R5



**SIAL**

**Compagnie Internationale  
de Géophysique Inc.**

◦ Etudes Géophysiques	◦ Géologie & Géochimie
◦ Hydrogéologie	◦ Exploration Minière
◦ Vibration & Sismicité	◦ Environnement

2225 Chemin Saint-François, Dorval,  
Québec, Canada H9P 1K3

☎ : (514) 683-4215
• Télex : GTS HTD MTL

• 05-821643

sente de nombreuses opportunités pour l'ingénieur. Dans les entreprises consommatrices de logiciel informatique, les outils peuvent sensiblement améliorer la qualité des programmes en rendant la programmation plus uniforme et donc plus facile à entretenir.

Les producteurs de logiciel peuvent espérer réduire leurs frais de développement et d'entretien. Avec la recherche qui se fait au niveau de l'évaluation de la complexité et de la qualité du logiciel, ils pourront plus aisément juger de la valeur des outils utilisés.

Pour les ingénieurs de toutes les disciplines, qui ont de plus en plus besoin de l'informatique dans leurs fonctions, les outils d'aide à la programmation devraient leur permettre de consacrer plus de temps à l'ingénierie et moins de temps au développement du logiciel.

À cet égard, on rapporte à l'École Polytechnique de Montréal que les logiciels conçus à l'aide de Schémacode sont plus fonctionnels et adaptables. L'époque où les programmes sont conçus, puis remisés sur une étagère tire peut-être à sa fin.

#### Références

- 1 Miller E., «Tutorial automated tools for software engineering», IEEE catalog EHO 150.3
- 2 Schindler M., «Today's software tools point to tomorrow's tool systems», *Electronic design*, 81-07-23
- 3 Plamondon R., Robillard P.N., «Harness a computer to write better software faster», *Electronic design*, 81-07-23
- 4 Bohm et Jacopini, «Flow diagrams, Turing machines and languages with only two formulation rules», *Comm. ACM* 1966, 9
- 5 Robillard P.N., Thalmann D., «Complex problem solving using schematic pseudocode (SPC)», IRO, Université de Montréal, pub. #373, Nov 1980
- 6 Reifer, «Reifer consultants software tools directory»
- 7 Beck, «Survey of software development practice: tools, methods and results», *IEEE trans. soft. eng.*, Sept 83
- 8 Warburton R., «Managing and predicting costs of software», *IEEE trans. soft. eng.*, Sept 83
- 9 Albrecht A., «Program size and development effort prediction», *IEEE trans. soft. eng.*, Nov 1983
- 10 Ramamoorthy C., «Testing large software with automated software evaluation systems», *IEEE trans. soft. eng.*, Mars 75
- 11 Sheil B., «Power tools for programmers», *Datamation*, Feb 83

## L'impact de l'informatique dans le domaine de la biomécanique

Alain Lamer

*Étudiant génie mécanique  
Groupe Biomécanique-Biomatériaux  
École Polytechnique de Montréal*

*La biomécanique consiste à appliquer les principes mécaniques à l'étude du corps humain. De plus, elle s'attarde au développement de membres artificiels en remplacement de ceux qui pourraient être déficients. On utilise l'informatique dans ce domaine pour résoudre la thématiques régissant le comportement des tissus biologiques.*

*L'usage de l'ordinateur est aussi un atout pour la simulation de prothèse ou d'orthèse en développement et pour l'analyse par éléments finis des matériaux biologiques.*

### Introduction

L'ordinateur est à l'ingénieur biomécanique, ce qu'est le scalpel au chirurgien.

L'usage de l'ordinateur permet d'augmenter la capacité de recherche et d'accélérer l'acquisition de données propres à une étude et l'analyse des résultats obtenus. L'informatique en biomécanique prend une place importante au point où l'on pourrait parler de «préalable» quant aux connaissances élémentaires d'utilisation de l'ordinateur. On peut considérer que, quelle que soit l'étude en cours par le groupe Biomécanique-Biomatériaux, on utilise l'informatique de différentes façons comme support technique important.

L'article expose trois principaux domaines de recherche où l'utilisation de l'informatique est primordiale, soit, dans la modélisation de la colonne vertébrale, dans le développement d'une prothèse ligamentaire du genou et dans le développement de la prothèse hémiarthroplastique du genou. Dans les deux premiers projets de recherche, on utilise l'informatique principalement pour la simulation,

par éléments finis, du comportement du modèle soumis à un état de contrainte. Dans le troisième projet, il s'agit de la conception assistée par ordinateur d'une prothèse pour le genou.

### La biomécanique: une définition

Avant d'aborder ces domaines de recherche, il serait bon d'expliquer en quoi consiste la biomécanique et de quelles façons les logiciels développés font progresser les études.

Depuis quelques années, on parle de l'ingénierie en biomédical comme étant un domaine de nouvelles recherches et de technologies de pointe reliant l'ingénieur à la médecine. Ce nouveau domaine de recherche a donné naissance au développement de l'instrumentation de médecine lorsqu'on pense aux systèmes d'imagerie par exemple. De plus, on parle de la pluridisciplinarité du domaine. En effet, on y retrouve principalement des ingénieurs en électricité, en mécanique et en matériaux; cette dernière concentration ayant apporté beaucoup au développement de matériaux compatibles avec le corps humain, pour éviter les problèmes de rejet.

La biomécanique est, plus précisément, une partie intégrante du biomédical. On y explique les phénomènes biologiques par le biais des sciences de la mécanique statique ou dynamique. Autrement dit, on essaie de comprendre et d'analyser les caractéristiques de l'homme par les lois fondamentales de la mécanique. Qu'il



s'agisse de l'étude des propriétés mécaniques, des forces et déplacements relatifs des membres ou du mouvement, l'ingénieur en biomécanique expliquera, de façon rationnelle, tous ces mécanismes contrairement au médecin qui agit par historicité.

La complexité des matériaux biologiques ne permet pas, dans la majorité des cas, une étude et une solution analytique des problèmes rencontrés. L'ingénieur en biomécanique doit faire appel à une méthode numérique basée sur un recueil de données prises in vitro. L'analyse de ces résultats n'est rendue possible que par l'usage de l'ordinateur. De plus, si l'étude demande une modélisation, l'analyse et la simulation requérant le développement de formules mathématiques complexes ne peuvent se faire que par l'utilisation de logiciels conçus par le chercheur même. De plus, dans plusieurs cas de mesures prises in vivo, les données recueillies sont immédiatement traitées par un mini-ordinateur. Par exemple, dans un test d'analyse du mouvement, le sujet possédant des repères aux différentes

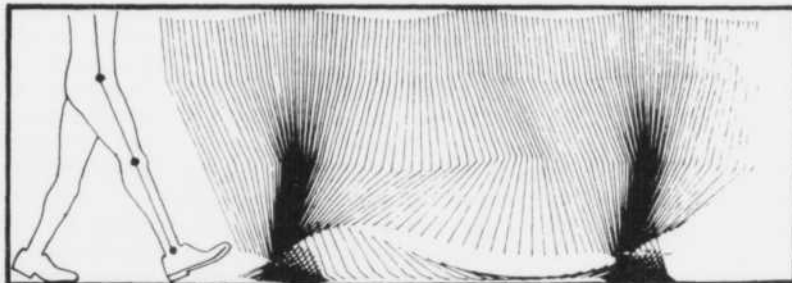


Figure 1

articulations, est filmé à l'aide d'une caméra à haute vitesse d'opturation. Chacun des repères est donc localisé dans l'espace et le temps suivant la démarche du sujet. En soumettant ces coordonnées à un ordinateur, on peut reproduire de façon schématique la démarche sur un écran graphique (figure 1). En comparant ces résultats avec ceux d'une démarche normale, on peut déceler soit une malformation physiologique, soit des problèmes de locomotion.

### Modélisation de la colonne vertébrale

Les maux de dos constituent la deuxième cause d'absentéisme au niveau des accidents de travail en Amérique du Nord. Cette statistique justifie le besoin de faire des recherches en ce domaine pour diminuer ce taux.

Au point de vue biomécanique, l'étude se divisera en deux étapes: une modélisation globale du sujet et locale de la colonne. La modélisation globale constitue l'étude des mouvements et des forces de réaction engendrées par un travail susceptible de provoquer des maux de dos. En obtenant les réponses de ces forces, on peut déduire les contraintes qui sont provoquées au niveau des articulations lombaires. Ces tests sont possibles grâce à l'utilisation d'une plateforme de mesure à cristal de quartz. Elle fonctionne par le principe des différences de potentiel obtenues par l'application de forces sur un élément piezo-électrique. On peut traduire ces impulsions électriques de façon à obtenir les composantes des forces appliquées par l'utilisateur.

La modélisation locale consiste à étudier un modèle formé par un agencement: vertèbre-disque-vertèbre. Donc, en ayant fait une étude paramétrique, en obtenant les propriétés mécaniques des os et les paramètres géométriques, on peut concevoir un modèle axysymétrique se rapprochant le plus de la réalité.

C'est là où toute la programmation entre en jeu. Les os sont des matériaux orthotropes, c'est-à-dire que les propriétés varient suivant le sens et la direction d'application de charge. Ainsi, il devient difficile de prévoir la distribution des contraintes à l'intérieur des tissus. Toutefois, grâce au développement de nouveaux logiciels, il est possible de simuler l'influence des propriétés mécaniques dans un tel matériau. De plus, les simulations obtenues en utilisant le principe de résolution par éléments finis, permettent de voir l'effet des contraintes principales causées par un effort sur les priorités du matériau. À l'aide de ces résultats, nous obtenons une représentation graphique bidimensionnelle de l'état des contraintes. De cette façon, nous pouvons prévoir le comportement des tissus soumis à des efforts pouvant causer des blessures.

### Prothèse hémiarthroplastique du genou

Ce projet, lui aussi, est influencé fortement par l'utilisation de l'informatique et particulièrement par l'usage d'une fraiseuse à contrôle numérique permettant la réalisation de la prothèse.

Plus précisément, il s'agit de la conception d'une prothèse hémiarthroplastique du genou faite sur mesure pour chaque patient (figure 2). La technique présentement utilisée pour la conception de la prothèse consiste principalement en deux interventions chirurgicales au niveau du genou, ce qui augmente les risques de complications. La première intervention donne au chirurgien les coordonnées et la configuration exacte du genou. La deuxième est nécessaire pour la pose de la prothèse.

En utilisant le nouveau procédé, on limite le nombre d'interventions chirurgicales à une et on s'assure d'une compatibilité géométrique plus précise. Le projet est divisé en quatre étapes distinctes, soit le relevé



Figure 2

«géographique» du genou, le développement de formules mathématiques calculant par approximation les surfaces et les contours, la digitalisation du contour et, enfin, le machinage de la prothèse par contrôle numérique. Dans un premier temps, on utilise une série de tomographies axiales prises sur le patient dans le but de déterminer le contour de la surface du genou. On interpole ensuite entre les contours pour produire la surface complète (figure 3). La reconnaissance du contour de l'os est directement faite par l'ordinateur incorporé au tomographe. À partir des photos radiologiques, le logiciel compare les différentes atténuations de gris dont sont composées les photographies. À chaque pixel de l'écran, il attribue une atténuation de gris et compare ensuite avec les pixels du voisinage immédiat. De cette façon, on arrive à obtenir une image nette du contour de l'os. Ce procédé est répété pour différents axes de rotation.

L'interpolation entre les surfaces est assurée par l'utilisation des fonctions splines. Ces fonctions permettent de faire passer, par une série de points, la courbe la mieux balancée et avec le moins de discontinuités possibles. De plus, cette interpolation est nécessaire puisque l'on ne peut obtenir une série de tomographies infiniment minces. Une fois l'interpolation faite, nous sommes en mesure de produire une image tridimensionnelle assez fidèle du genou du patient. Les données emmagasinées dans la mémoire de l'ordinateur sont donc transmises à une machine à contrôle numérique. Cette machine voit, elle aussi, son outil guidé par un ordinateur qui connaît, point par point, la structure finale à usiner, tout cela se faisant automatiquement. Le patient bénéficie alors d'une prothèse sur mesure.

La venue de l'informatique dans ce projet a apporté deux améliorations majeures. Au point de vue technique, la précision de la prothèse est accrue et, dans un deuxième temps, le bien-être du patient est augmenté.

#### Modèle de prothèse ligamentaire du genou

Ce projet consiste en la conception d'une prothèse pour le ligament croisé antérieur du genou. Tout comme les autres projets, nous avons élaboré un modèle mathématique de représentation des propriétés et caractéristiques du ligament. En simulant différentes sollicitations sur les filets de l'ancrage de la prothèse, nous nous sommes rendus compte que la contrainte était concentrée sur le premier filet de vis, ce qui provoquerait éventuellement le rejet de la prothèse.

Donc, nous avons travaillé au développement d'un processus d'automatisation du design de l'ancrage de la prothèse ligamentaire du genou en vue de concevoir un nouveau type de vis d'ancrage permettant de répartir uniformément sur la vis les efforts repris par l'ancrage

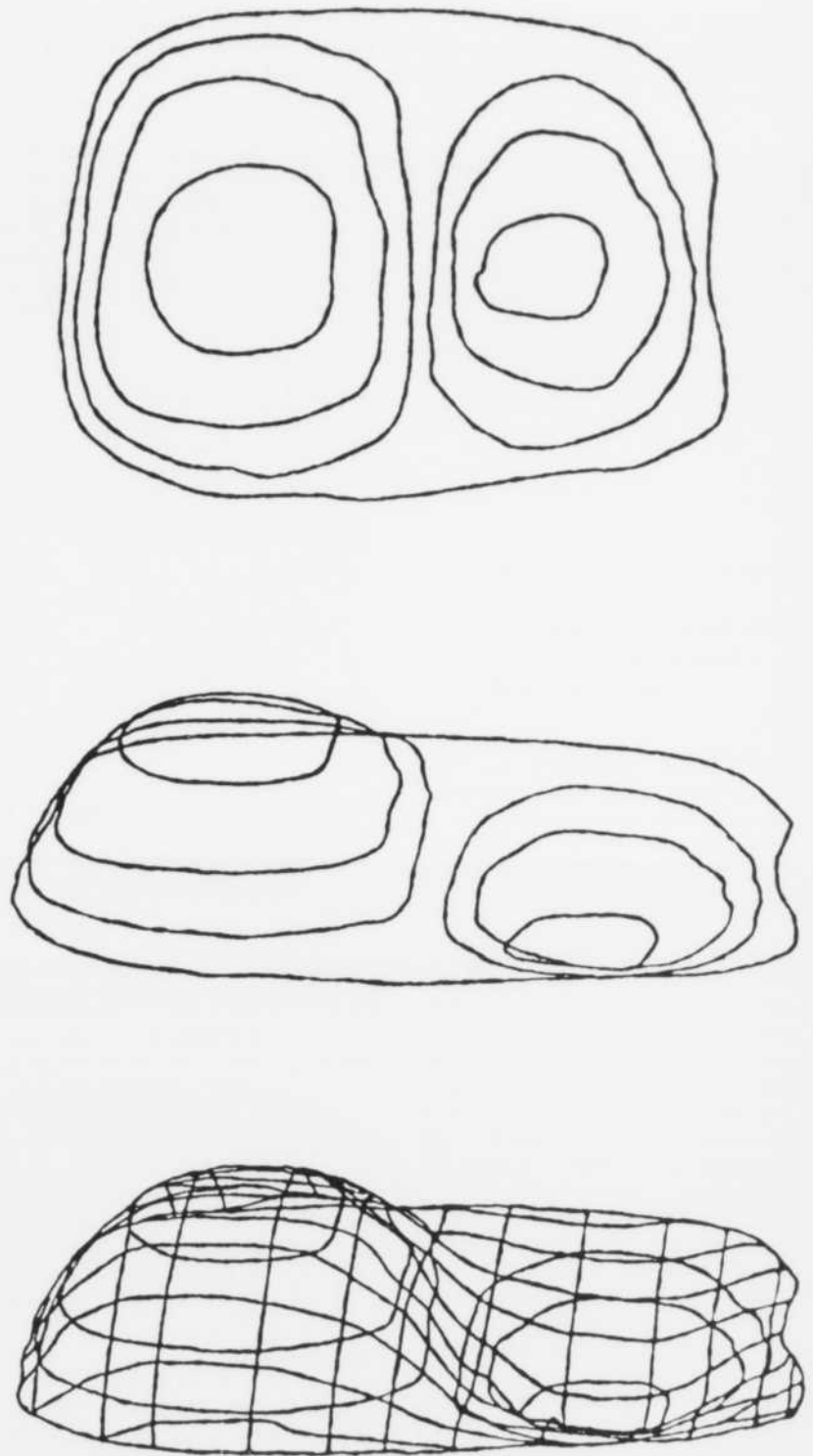
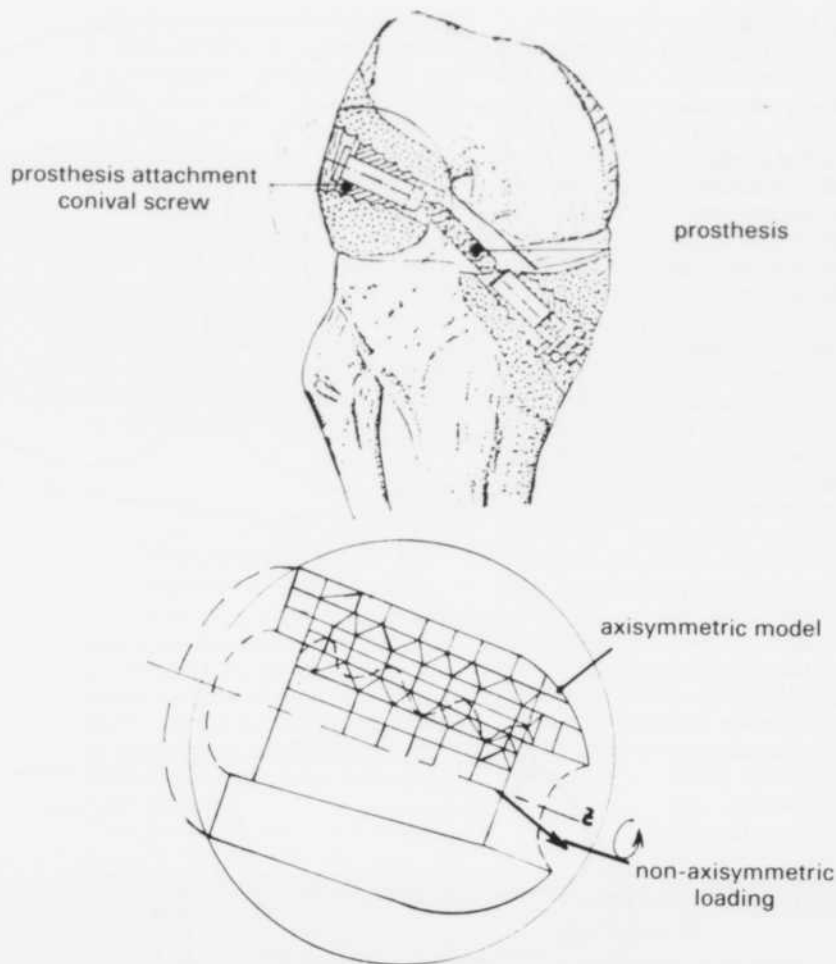


Figure 3



AGRANDISSEMENT DE L'ANCRAGE MONTRANT LE MODÈLE D'ÉLÉMENTS FINIS

Figure 4

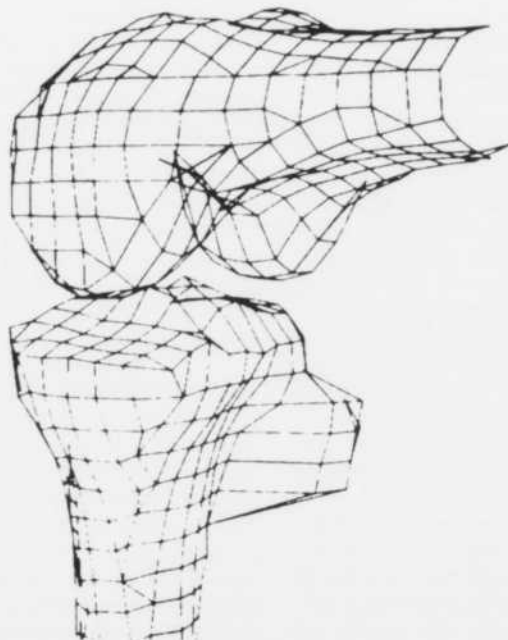


Figure 5

lorsque la prothèse est soumise à un chargement.

Nous avons développé un logiciel graphique permettant d'étudier ces différentes contraintes en fonction de la géométrie et du chargement du modèle: premièrement, l'utilisateur doit concevoir graphiquement l'allure de son modèle de vis en prenant soin de respecter les échelles et le système de référence. Il fait alors appel à un programme de digitalisation lui permettant d'entrer sur fichiers les positions respectives des coordonnées délimitant son design. On remarquera qu'il devient facile de créer des banques de données contenant différents designs de vis d'ancrage. Par la suite, l'utilisateur, à l'aide d'une «tablette digitalisante», divise son modèle en super-éléments de façon à pouvoir définir les limites du maillage qui sera généré, ultérieurement, à l'intérieur de ces mêmes éléments (figure 4).

Une fois les éléments bien définis, l'utilisateur décide d'imposer à son modèle les conditions frontières qu'il juge à propos. C'est-à-dire qu'il impose des déplacements et des forces à des endroits spécifiques de son modèle de façon à refléter le mieux possible la réalité.

À ce moment, il ne reste plus qu'à introduire un logiciel de méthodes numériques d'éléments finis de façon à pouvoir visualiser les contraintes et les déformations engendrées dans le modèle. Plusieurs itérations successives de ce processus de design, en prenant soin de modifier le modèle paramétrique à chaque passe, nous permettront de choisir un modèle qui répartira la charge appliquée tout au long de la vis d'ancrage de la prothèse ligamentaire du genou.

On utilise aussi ces supports informatiques dans le but d'obtenir des configurations géométriques du fémur et du tibia pour la paramétrisation des tissus biologiques (figure 5) ou pour la visualisation géométrique dans différentes positions de flexion.

### **Poteaux téléphoniques et véhicule d'entretien des voies ferrées**

Une nouvelle technique dont on dit qu'elle améliore radicalement la fabrication et l'utilisation des poteaux téléphoniques, des pylones électriques, et autres piliers, a été introduite en Suède.

La méthode, peut produire des pôles pesant un cinquième seulement du poids des poteaux ordinaires. Un certain nombre de brevets ont été accordés ou sont en attente.

Ces nouveaux poteaux sont fabriqués à partir d'une tôle de qualité au choix. Ils sont traités dans un laminoir spécial qui leur appliquent des cannelures, leur donnent une forme tubulaire et une forme conique en second lieu, et procèdent à une soudure par point et au tronçonnage des poteaux en longueurs voulues. En tôle d'acier inoxydable d'une épaisseur de 1,5 mm, les poteaux sont exempts d'entretien, ce qui est particulièrement important dans les pays au climat chaud et humide.

En tôles perforées, il ont un poids très léger, on évite la condensation et il est possible d'y grimper avec des chaussures d'escalade. Les poteaux fabriqués dans des matériaux comme l'aluminium ou des tôles d'acier ordinaire peuvent être traités en surface sans que la surface soit endommagée par le laminoir.

D'autre part, un véhicule d'entretien des voies ferrées, pour travaux sur les lignes électriques aériennes y a été mis au point. Il peut se déplacer d'un point à l'autre à partir de la grue aérienne — même lorsque cette dernière est à 10 mètres au-dessus du sol.

Le contrôle de la grue se fait au moyen d'un moteur hydraulique à transmission hydrostatique variable. Ce moteur est d'une grande souplesse grâce à l'utilisation d'un piston sphérique. Deux ouvriers peuvent travailler ensemble dans la grue, que l'on peut mettre dans la position voulue très facilement vu qu'elle est hydrauliquement rotative.

Ce nouveau véhicule d'entretien est basé sur un camion ordinaire. Cela réduit les coûts vu qu'un véhicule fait sur mesure serait bien plus cher. Il se fait en deux versions de base, pour rouler sur rails uniquement, ou bien sur rails et sur une route ordinaire.

\*\*\*

### **Nouveau président du Bureau Canadien d'Accréditation**

Gordon R. Slemon, doyen de la faculté des Sciences appliquées et du Génie à l'Université de Toronto a été nommé président du Bureau canadien d'accréditation (BCA).

M. Slemon a obtenu un B.Sc.A. et une M.Sc.A. en génie électrique de l'Université de Toronto, il a obtenu un Ph.D. et un D.Sc. en génie de l'université de Londres.

M. Slemon a été expert-conseil auprès de diverses compagnies américaines et canadiennes sur les problèmes de conversion d'énergie. Il a travaillé pour Hydro-Ontario et l'Énergie atomique du Canada Ltée. Il a été conseiller technique du Plan Colombo canadien à Mangalore, en Inde, et a été chargé de cours à l'Imperial College of Science de Londres et professeur adjoint au Nova Scotia Technical College d'Halifax.

Il est membre du Comité national des doyens de génie et de sciences appliquées depuis 1969 et membre du BCA depuis 1981.

Le BCA est un comité permanent du Conseil canadien des ingénieurs, qui est chargé d'administrer les modalités d'accréditation des programmes d'études de 1<sup>er</sup> cycle en génie dans les universités canadiennes.

\*\*\*

### **Un nouveau directeur général du Conseil Canadien des Ingénieurs**

Le président du Conseil canadien des ingénieurs (CCI), a annoncé la nomination de Donald G. Laplante, ing., au poste de directeur général.

M. Laplante est né à Montréal. Après avoir obtenu un B.Sc. en génie civil de l'École polytechnique en 1952, il a été engagé par la Dominion Bridge Ltée comme ingénieur d'études et plus tard a été nommé gérant de l'usine de la compagnie à Ottawa. En 1964, il est entré au service du ministère fédéral de l'Industrie et du Commerce à titre d'agent de développement industriel à la division de la Sidérurgie puis chef de la section de la Construction. Pendant ce temps, il a suivi des cours à l'Université Carleton pour décrocher un diplôme d'études supérieures en administration publique.

Il a accepté par la suite les postes de chef de la division de la Construction de directeur de la division de la Sidérurgie, de directeur du Groupe des métaux et minéraux, de directeur général de la direction des Bureaux régionaux d'Industrie et Com-

merce et est devenu directeur général de la direction des Industries manufacturières à l'Agence d'examen de l'investissement étranger.

M. Laplante est membre de l'Association des ingénieurs de l'Ontario et de l'Ordre des ingénieurs du Québec. Il sera responsable de l'exploitation des services du CCI, dont ceux du Bureau canadien d'accréditation et du Conseil canadien de la main-d'œuvre en génie. En outre, il sera chargé d'assurer la liaison avec le gouvernement fédéral, les associations constituantes du CCI et d'autres organismes nationaux et internationaux.

Situé à Ottawa, le CCI est une fédération de 12 associations provinciales et territoriales qui agrèent les 120,000 ingénieurs du Canada.

\* \* \*

#### Dans l'industrie papetière

### Un projet terminologique couronné de succès

L'Office de la langue française, l'Université du Québec à Trois-Rivières et la Consolidated-Bathurst inc. présentent conjointement deux importants ouvrages reliés à la terminologie technique de l'industrie papetière: le *Vocabulaire du matériel papetier (anglais-français)* et le *Lexique technique général (anglais-français)*.

Rappelons qu'il s'agit là du résultat d'un projet que les trois partenaires avaient annoncé en décembre 1980 et dont *La francisation en marche* avait fait mention.

Cette initiative constituait d'ailleurs une primeur au Québec, car, pour la première fois, un organisme gouvernemental, une université et une entreprise s'associaient pour franciser la terminologie d'un secteur d'activité économique prépondérant au Québec et plus particulièrement dans la région de Trois-Rivières.

La réussite de ce projet terminologique audacieux est en grande partie attribuable à l'excellente coopération de tous les intervenants. Mentionnons tout d'abord la part active qu'a prise la Banque de terminologie du Québec de l'Office de la langue française: en quelque sorte maître d'œuvre de ce projet, elle a assumé le stockage en mémoire d'ordinateur de 15 ouvrages spécialisés, dépouillés par divers spécialistes, traducteurs et techniciens des entreprises participantes. Les termes retenus ont servi de corpus de travail au comité interentreprises en vue de la constitution des dossiers terminologiques, et par la suite de fiches-synthèses par les étudiants en traduction de l'UQTR.

L'engagement de l'Office a certainement été important dans l'aboutissement de ce projet, mais il faut aussi mettre en évidence la collaboration des membres du comité interentreprises.

Ce comité était composé de traducteurs et d'ingénieurs des sociétés CIP, Kruger, Consolidated-Bathurst, Papiers Scott, des fabricants de machines à papier Ateliers d'ingénierie Dominion et Beloit Canada ainsi que d'un professeur du Centre de recherche en pâtes et papiers de l'UQTR. Ces spécialistes ont revu et entériné les travaux effectués par le noyau universitaire.

Par ailleurs, dans le souci de donner au *Vocabulaire* une portée internationale, son contenu a été, d'une part, entiè-

rement révisé par des spécialistes français au cours d'une mission terminologique de deux semaines à Grenoble et, d'autre part, commenté par des représentants de l'Association canadienne de producteurs de pâtes et papiers.

Le *Vocabulaire* contient plus de 800 termes relatifs au matériel papetier. Chaque terme français est accompagné de son indicatif grammatical, d'une définition et de notes, s'il y a lieu; les synonymes, les abréviations et les variantes orthographiques y sont aussi signalés. Des index français et anglais et des illustrations très précises complètent l'ouvrage. Il va sans dire que l'Office de la langue française le recommande expressément!

Quant au *Lexique technique général*, produit plus spécifiquement par l'Université et la Consolidated-Bathurst — l'Office n'y ayant été engagé qu'à titre de consultant, il présente au-delà de 6 000 termes anglais et leurs équivalents français qui concernent le tronc commun industriel. Du fait qu'il déborde largement les strictes limites du domaine papetier, le *Lexique* pourra être utilisé par l'ensemble du secteur de l'industrie.

Le *Vocabulaire du matériel papetier* et le *Lexique technique général* apportent une contribution originale et intéressante à la langue française au Québec. Ils fournissent en effet des outils terminologiques de qualité à un ensemble d'utilisateurs, non seulement aux papetiers, mais aussi aux fabricants, aux ingénieurs-conseils, aux traducteurs, aux terminologues et à toutes les personnes qui œuvrent dans le domaine papetier et dans le secteur industriel en général.

Mireille Pilotto

*La francisation en marche, Vol. 4, No 4.*

## OFFRE SPECIALE

L'ENSEMBLE DE PLUMES RUBIS & TUNGSTENE POUR LE PRIX DE L'ENSEMBLE EN ACIER INOXYDABLE

(700 S3/PS3 au 700 S9/PS9)

Disponible jusqu'à épuisement de la marchandise chez nos marchands participants, incluant:

### ALBERTA

#### Calgary

- Absco Blueprint
- Clarks Art & Drafting Supply
- K-Mac Drafting & Art Supplies
- The Drawing Centre

#### Edmonton

- Alberta Drafting & Survey
- Delta Art & Drafting
- Nordraft Reographics

#### Lethbridge

- Master Image Survey & Drafting

### BRITISH COLUMBIA

#### Chilliwack

- Williams & Mackie

#### Kelowna

- OK Blueprint & Drafting

#### Prince George

- Industrial Reproductions

#### Vancouver

- Associated Graphics Supply
- B.C. Industries Ltd.
- Haida Stat. & Tech Products (Burnaby)
- Marpole Blueprinters (Richmond)
- Neville Crosby Inc.
- Trimen Blueprinting & Sales Ltd.
- Western Technical Supply

#### Victoria

- Island Blueprint

### MANITOBA

#### Winnipeg

- Fraser Art Supplies

### NEW BRUNSWICK

#### Edmunston

- Le Madawaska Ltee.

### NOVA SCOTIA

#### Dartmouth

- Fisher Stationery

### ONTARIO

#### Burlington

- Artists Gallery

#### Kingston

- Wallacks Art Store

#### Kitchener-Waterloo

- Ed Green Blueprint

- Rapid Blueprint

#### North Bay

- Doug Miller Sales

#### Ottawa

- Wallacks Art Store

#### Peterborough

- Brant Office Supply Co.

#### St. Catharines

- Beattles Stationery

#### Sudbury

- Absco Blueprint

#### Timmins

- Eddy Office Supply

#### Toronto

- Calderones Book & Stat (Willowdale)
- Cambrian Bus. Products (Oshawa)
- Cloke & Son Ltd. (Downsview)
- Curry's Art Store
- Daniels Art Supplies
- E.E. Tigert (Agincourt)
- Entire Reproductions (Miss.)
- Gwartzman Canvas & Art
- P & H White Printing (Markham)
- Picasso Art
- Quinn Stationery (Mississauga)
- Sheridan Drafting Sup. (Miss.)
- The Drafting Clinic (Miss.)

#### Windsor

- Dlazo Products (Windsor) Ltd.
- Monarch Office Supply

### QUEBEC

#### Drummondville

- Equip. de Bureau J.R.D. Inc.

#### Gaspe

- Papeterie Cartier Engr.

#### Magog

- Louis Faucher Inc.

#### Montreal

- British Blueprint
- Co-op Ahuntsic
- Le Pavillon des Arts Inc.
- Omer de Serres
- Planimedia Inc.

#### Quebec

- Co-op imolou
- Paul Rouillard Inc.
- Le Spécialiste du Stylo
- Studio Gosselin Inc. (Levis)

#### St. Jean

- Librairie Richelieu (Sopa. Inc.)

#### Trois-Rivieres

- Imprimerie Trois Rivieres
- Librairie Massicotte Engr.

### SASKATCHEWAN

#### Prince Albert

- Eagle Stationery

#### Saskatoon

- Northland Stationery
- P.G.N. Instrument Sales
- Prairie Technical Equipment
- Precision Instruments

### YUKON

#### Whitehorse

- Nortech Services Ltd.

# La Perfection dans le Dessin.



## OFFRE SPECIALE

L'ENSEMBLE DE PLUMES RUBIS & TUNGSTENE POUR LE PRIX DE L'ENSEMBLE EN ACIER INOXYDABLE (700 S3/PS3 au 700 S9/PS9)

**STAEDTLER-MARS LIMITÉE**  
6 Mars Road, Rexdale, Ont. M9V 2K1  
Longueuil, Q.C. • Vancouver, B.C.

**STAEDTLER**  
**marsmatic700**

# abstracts

**Lyophilisation for food conservation** 3  
by H el ene C ot e

Today, food production is so important that efficient conservation methods are essential. One of the most recently discovered methods, lyophilisation, provides important advantages compared to other processes. Well known to the public as freeze drying, this process has been successfully used in food processing as well as in other fields such as medicine and microbiology, where its high costs are considered justified.

**Communication by optical fibre** 10  
by Louis Allard

After the industrial revolution our moderne society, has

become an information society. That is why the development of more efficient ways to transmit information is essential. The optical fibre is becoming more and more important in the field of telecommunications.

**Schemacode: a programming tool** 17  
by Michel Bernier

Programming tools lead to letter structured software. Schemacode uses schematic pseudocode, a step-wise refinement process, and provides automatic documentation of the program. Its usefulness will be fully demonstrated when software quality standards are established.

**The impact of the computer on biomechanics** 25  
by Alain Lamer

Biomechanics applies mechanical principles to the study of the human body. It insists on the development of artificial limbs to replace deficient one's. We use computer technology to resolve complex mathematical problems defining biological tissue behaviour.

Computers are also used for prothesis simulation and for biological material study by finite elements and numerical methods.



**GEOPHYSIQUE G.P.R. INTERNATIONAL INC.**

- Recherche d'eau souterraine
- Localisation des sources polluantes
-  valuation des sites et des fondations
- Lev s sismiques et électriques
- Contrôle des dynamitages

894 RUE FRONT, LONGUEUIL, P.Q., CANADA J4K 1Z7  
TEL : (514) 679-2400 — TELEX: 055-60495



**YVON DAGENAI & ASSOCIÉS INC.**  
ÉVALUATEURS CONSEILS

*Yvon Dagenais*  
B.A., B. Sc.A.  
ING., E.A.

**ÉVALUATION FONCIÈRE  
EXPROPRIATION  
ASSURANCES  
FINANCEMENT  
FISCALITÉ  
EXPERTISE IMMOBILIÈRE**

1400 ouest, rue Sauvé, suite 216  
Montréal, Québec H4N 1C5

332-4161

**dufresne farley et associés**  
ingénieurs-conseils

Chauffage — Plomberie — Climatisation Réfrigération —  
Electricité — Expertises — Etudes énergétiques

200 ouest, rue Sauvé, Montréal, H3L 1Y9

Tél.: 384-0440



**LUPIEN, ROSENBERG, JOURNEAUX & ASSOCIÉS INC.**  
 tudes de sols et matériaux

- Investigations sur le terrain : sondages et essais
- Mécanique des sols et des roches : pieux, caissons, radiers, semelles, parois moulées, tunnels
- Design d'ouvrages en terre : digues, barrages, remblais
- Photog ologie : recherche de matériaux d'emprunt, études de tracés, choix de sites d'aménagement
- Investigations de déficiences
- Instrumentation
- Environnement physique :  tudes d'impact
- Contrôle des matériaux et procédures de construction
- Essais en laboratoire

960, 24e Avenue, Lachine, Québec, H8S 3W7 Tél. : (514) 637-3746

Solar Turbines Canada Ltée a le plaisir d'annoncer la nomination de quatre concessionnaires Caterpillar à titre de représentants pour la vente de toute la gamme des produits Solar, soit des groupes turboalternateurs de 800 KW à 9560 KW utilisés comme source d'énergie permanente ou de secours, ou pour l'écrêtage des heures de pointe.

Pour plus d'informations sur les avantages des groupes turboalternateurs compacts, éprouvés et fiables Solar,<sup>®</sup> communiquez avec:

#### Québec

Hewitt Equipement Limitée  
Division de l'énergie  
5001, route Trans-canadienne  
Pointe-Claire, Québec H9R 1B8  
Téléphone: 514-697-6911  
Télex: 05-821625

#### Alberta

R. Angus Alberta Limited  
16900-107th Avenue  
Box 2406  
Edmonton, Alberta T50 2S1  
Téléphone: 403-483-3571  
Télex: 037-3336

#### Ontario

Crothers Power Division  
Box 5511  
Concord, Ontario L4K 1E2  
Téléphone: 416-667-5772  
Télex: 06-964585

#### Colombie-Britannique et Yukon

Finning Power Products  
555 Great Northern Way  
Vancouver, B.C. V5T 1E2  
Téléphone: 604-872-4444  
Télex: 04-508717

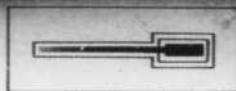
Ou bien communiquez avec le bureau des ventes Solar de Montréal ou de Calgary, pour tout renseignement sur les groupes turboalternateurs et sur le service après-vente Solar.



**SOLAR  
TURBINES  
CANADA LTD./LTEE**

Programmer la lumière  
Un art ou une science?

# INFRANOR



La lumière, un phénomène dont la nature exacte échappe toujours à l'homme.  
L'informatique, un phénomène qui ne cesse de multiplier les possibilités de calcul de l'homme.

INFRANOR les unit avec maîtrise.  
Maîtrise d'un rendement maximum par un minimum de matériel d'éclairage, un minimum d'entretien, un minimum de consommation d'énergie.

INFRANOR, la source première pour vos besoins en matière d'éclairage.  
Parce que chez INFRANOR, nous savons que la lumière et l'informatique suivent la voie de la science. Parce que chez INFRANOR nous savons que c'est l'homme qui trace, avec art, la voie de la science.

*INFRANOR, la lumière au-devant de la science.*

INFRANOR CANADA INC. 5650 ave. Trudeau, Saint-Hyacinthe, Québec J2S 1H4 Tél.: (514) 773-5503 Télex: 05-830536