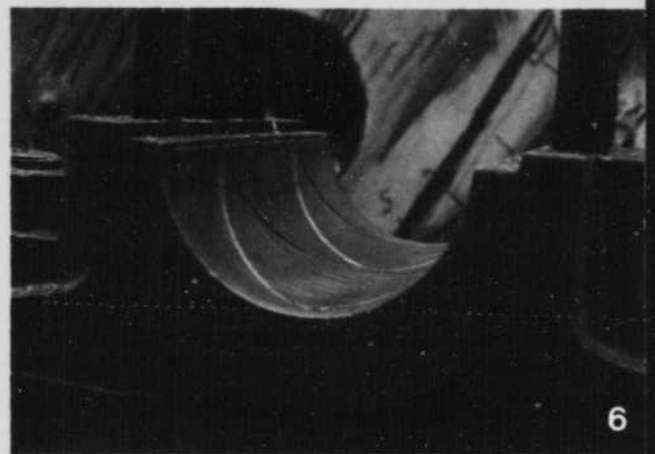
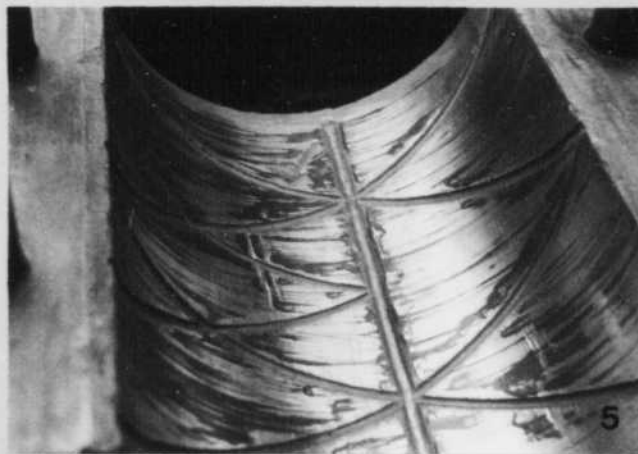
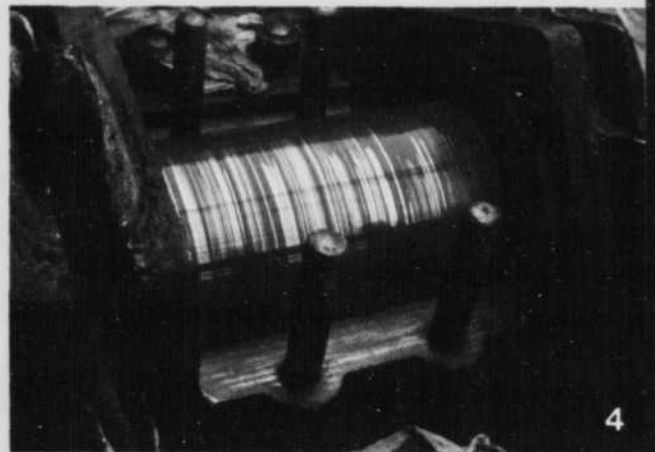
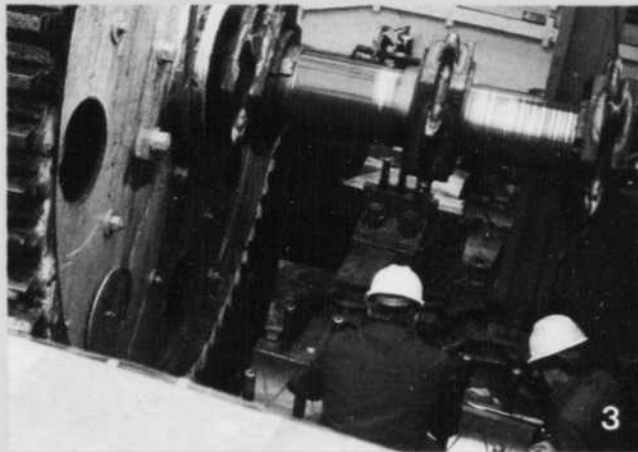
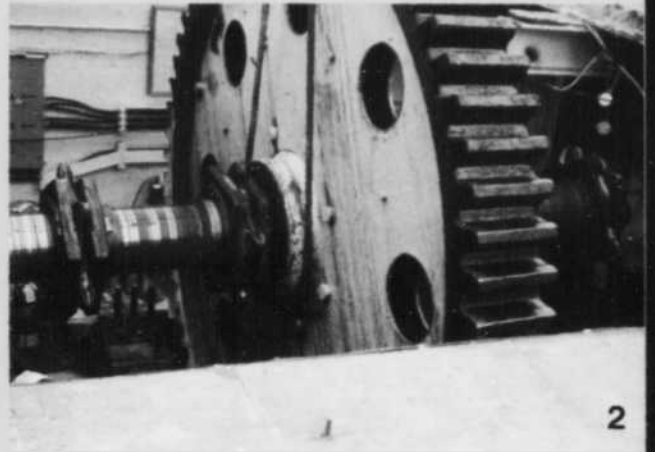
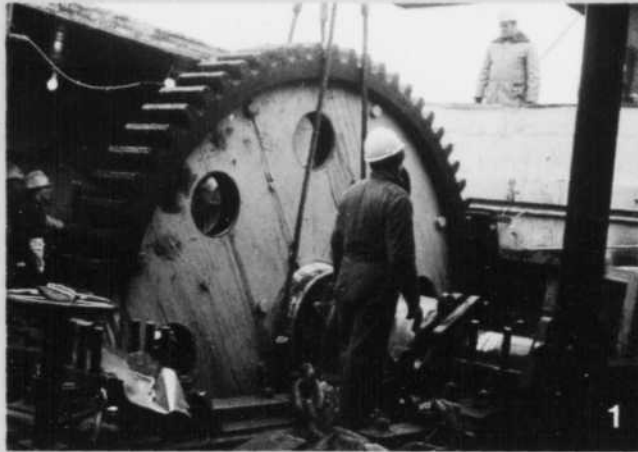


Ingenieur

Mars/avril 1984

N° 360

70^e année





L'évidence même

Le gaz naturel,
c'est le choix qui s'impose.

Le gaz naturel est
incontestablement la forme
d'énergie qui répond le mieux
à vos besoins. En plus d'être un
atout essentiel au développement
industriel, l'utilisation du gaz naturel
signifie économie, efficacité et
sécurité d'approvisionnement.

Le gaz naturel
une réponse énergétique

 **Gaz
Métropolitain**


GAZ INTER-CITÉ QUÉBEC INC.

Éditeur

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

Conseil d'administration

Bernard Lamarre, président
J. Bernard Lavigne, vice-président

Comité exécutif

Guy Drouin, président exécutif
Serge R. Tison, vice-président
Jean Verdy, vice-président
Christian Tessier, secrétaire
Claude Guernier, trésorier
Yolande Gingras, directeur général

Administrateurs

G. Réal Boucher, René Chouinard, Gilles
Delisle, Fernand DeSerres, Roland Doré, Gé-
rald W. Farnell, Lucien Huot, Kenneth C.
Johns, Roger P. Langlois, Jean L. Leduc,
Donat-A. Martinoli, Ovide J. Poitras, Guy Si-
card, Jean-Claude Therrien.

Directeur général

Yolande Gingras

Comité consultatif de rédaction

Claude Guernier, ing.
directeur
Denis Angers, ing.
Roger Beaudry, ing.
Michel Bilodeau, ing.
Octave Caron, ing.
Jules Delisle, ing.
Hélène Denis
Médéric Desrochers, ing.
Yvon M. Dubois, ing.
Georges Geoffroy, ing.
Maurice Lacasse, ing.
Paul-Édouard Robert, ing.

Rédactrice par intérim

Chantal Bouthat

Publicité

Robert Dumouchel
Publications R.A.D. enr.
1105, boul. Gouin est
Montréal (Québec) H2C 1B3
Tél. : 744-3546

Conception graphique

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

Composition

Typo-Excel inc. (514) 655-2663

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 Le calcul d'un palier lisse en régime hydrodynamique par micro-ordinateur

Henri Yelle, ing.

On pense souvent qu'on a exploité les possibilités d'un micro-ordinateur individuel lorsqu'on l'a nourri de jeux vidéo, qu'on y établi son budget familial ou stocké le contenu de son carnet d'adresses. C'est bien peu lui demander quand on sait qu'il peut servir à la programmation de calculs d'ingénierie, ce que l'auteur a réalisé avec un TRS-80 à écran couleur. Cet article donne l'origine des solutions du calcul d'un palier lisse en régime hydrodynamique et détaille les hypothèses et les équations du bilan thermique. Il expose également la structure du programme, son fonctionnement et donne un aperçu des résultats.

9 Le Programme canadien de gestion des déchets de combustible nucléaire

Mario Lupien, chim.

Cette revue du Programme canadien décrit la phase actuelle des recherches générales, qui a pour but de vérifier la pertinence de l'enfouissement des déchets de combustible nucléaire dans le bouclier Canadien. On y explique également de quelle façon l'Ontario Hydro envisage de résoudre son problème d'entreposage à moyen terme du combustible irradié.

16 Application des fonctions splinaires cubiques au lissage de données expérimentales

Denis Laurendeau

Les fonctions splinaires cubiques, lorsqu'elles sont soumises à des conditions de continuité et de minimum adéquates, se révèlent des fonctions de lissage très efficaces pour la représentation graphique de données expérimentales. De plus, elles éliminent les problèmes d'oscillation propres aux polynômes d'interpolation classiques. La simplicité des fonctions splinaires permet leur emploi avec des systèmes de micro-ordinateurs courants.

20 L'énergie mécanique et thermique de la mer

Philippe Marchand, ing.

L'océan représente un potentiel d'énergie renouvelable considérable, encore très peu exploité. Seules certaines formes d'énergie des mers sont actuellement exploitables : l'énergie marémotrice, l'énergie de la houle et l'énergie thermique. Des recherches en cours portent sur la façon d'utiliser la différence de pression qui existe entre l'eau douce et l'eau salée (pression osmotique), à l'aide d'une membrane semi-perméable. Si les énergies marines demandent certaines conditions d'exploitation (en particulier, il existe une contrainte de site pour les usines marémotrices), leur potentiel énorme est suffisant pour faire les choix économiques décisifs et réaliser les équipements techniques nécessaires.

25 Des événements et des livres

27 Abstracts

28 Répertoire des annonceurs

Page couverture

Roue d'engrenage (1,2,3), tourillons (2,3,4) et palier (5,6) d'un démultiplicateur de vitesse de grande capacité (5 kilotonnes). Une réparation de la roue d'engrenage a demandé un ajustement des paliers (photo : Marine Industrie Itée).

Le calcul d'un palier lisse en régime hydrodynamique par micro-ordinateur

Henri Yelle, ing.

On pense souvent qu'on a exploité les possibilités d'un micro-ordinateur individuel lorsqu'on l'a nourri de jeux vidéo, qu'on y a établi son budget familial ou stocké le contenu de son carnet d'adresses. C'est bien peu lui demander quand on sait qu'il peut servir à la programmation de calculs d'ingénierie, ce que l'auteur a réalisé avec un TRS-80 à écran couleur. Cet article donne l'origine des solutions du calcul d'un palier lisse en régime hydrodynamique et détaille les hypothèses et les équations du bilan thermique. Il expose également la structure du programme, son fonctionnement et donne un aperçu des résultats.

Introduction

De façon générale, on peut considérer qu'un micro-ordinateur se compose d'un microprocesseur, d'un langage d'exploitation, de mémoires (ROM et RAM), d'une unité d'entrée/sortie et de périphériques tels qu'un écran cathodique, une imprimante, une table traçante et une unité de disquettes ou de cassettes. Vu de cette façon, n'importe quel micro-ordinateur peut aussi bien servir à faire des jeux ou du classement que de la gestion financière ou des calculs scientifiques.

Dans l'application présente, le microprocesseur est un Motorola 6809. Le langage d'exploitation est le BASIC étendu (*extended BASIC*) de Tandy Corporation. Le micro-ordinateur utilisé dispose de 32K octets de

mémoire, dont 29 479 sont disponibles pour le programme. Les périphériques sont des plus simples : il s'agit d'un téléviseur couleur et d'une unité de cassettes. Le coût total de l'installation est inférieur à 1000 \$.

Le programme développé avec ce micro-ordinateur calcule un palier lisse en régime hydrodynamique. À partir d'une géométrie et de conditions de fonctionnement données, le programme évalue les variables les plus importantes dans un tel palier, soit l'épaisseur du film, HO, le frottement, F, le débit d'huile, Q, et la pression maximale, PMX (voir la liste des symboles). Ces calculs terminés, il effectue le bilan thermique du palier et corrige la première évaluation des variables. Le programme permet à l'utilisateur de changer les paramètres géométriques ou de fonctionnement afin de trouver la solution la plus satisfaisante. Les équations et les graphiques utilisés pour les calculs sont tirés des ouvrages que nous citons dans les références.

Nous discuterons, dans un premier temps, de la base théorique et de l'origine des solutions que le programme utilise ainsi que des hypothèses sur lesquelles reposent les calculs du bilan thermique. Puis nous décrivons la structure et le fonctionnement du programme. Dans la conclusion, nous soulignerons l'intérêt que présente l'utilisation de l'ordinateur et les applications du programme en question. Les unités de mesure utilisées dans cet article sont celles du Système impérial.

Base et origine des calculs théoriques

Dans le processus de design d'un palier lisse en régime hydrodynamique, on peut diviser les variables en deux catégories : les variables indépendantes, qui sont au choix du concepteur ou qui lui sont imposées, et les variables dépendantes, qui se calculent à partir des premières. Parmi les variables indépendantes (figures 1a et 1b), il y a d'abord les variables géométriques (diamètre, jeu, longueur axiale). Dans cette catégorie figu-

rent également les variables de fonctionnement, qui sont la vitesse, la charge et la température (viscosité), et les variables d'environnement telles que le type de palier, le moyen d'alimentation en huile (rainure et pression d'alimentation), la température ambiante et la circulation d'air autour du palier. Il faut remarquer que les variables d'environnement n'apparaissent pas dans les calculs théoriques, mais qu'ils interviennent indirectement par le biais du bilan thermique dans le palier.

Quant aux variables dépendantes, ce sont l'épaisseur minimale du film d'huile, les pertes par frottement visqueux, le débit d'huile et la pression maximale dans le film (figure 1b). Les variables indépendantes et dépendantes sont reliées par les équations différentielles en trois dimensions de Reynolds, pour la distribution de vitesse et de pression dans le film. Ces équations sont complexes, elles n'ont pas de solution analytique générale et sont longues à résoudre par méthode numérique. Le micro-ordinateur utilisé est mal adapté à ce genre de travail à cause de sa lenteur et de sa mémoire restreinte. Nous avons donc décidé d'utiliser des solutions déjà faites. Celles que nous avons retenues sont tirées des ouvrages cités aux nos 1 et 2 des références. Ces solutions étant présentées sous forme de graphiques, il est relativement facile de les exprimer à l'aide d'un polynôme et d'en instruire le micro-ordinateur en lui fournissant les constantes. Pour chaque courbe, le critère qui a présidé au choix du degré du polynôme a été de reproduire cette courbe avec une précision de $\pm 0,1$ p. cent sur toute sa partie utile. Ainsi, il a été nécessaire d'utiliser des polynômes de degré situé entre trois et sept.

Un paramètre important dans les calculs des variables dépendantes est la viscosité de l'huile. La relation de Walter⁽³⁾ est utilisée dans le programme pour fournir une approximation de la variation de la viscosité en fonction de la température. Comme à côté, le programme calcule aussi l'indice de viscosité de n'importe quelle huile. La

M. Henri Yelle est diplômé de l'École Polytechnique de Montréal, où il obtenait un B. Sc. A. en génie mécanique, en 1967, et une M. Sc. A., en 1973. En 1977, l'Université de Waterloo, Ontario, lui décernait un diplôme de Ph. D. en génie mécanique. Après un bref séjour chez Beloit Sorel, il était engagé comme chargé d'enseignement à l'École Polytechnique, en août 1967. Il occupe, depuis 1982, un poste de professeur titulaire dans la division de design de machines du Département de génie mécanique.

Liste des symboles

Symboles affichés à l'écran		Autres symboles
A = aire d'évacuation de la chaleur du palier (po ²)	PMX = pression maximale dans le film (lb/po ²)	C _H = chaleur spécifique de l'huile (Btu/lb/°F)
C = jeu radial (po)	Q = débit de fuite par les bouts du coussinet (gal US/min)	C _h = coefficient de transfert de chaleur (Btu/sec/po ² /°F)
DC = diamètre intérieur du coussinet (po)	SAE = grade d'huiles typiques (entre 5 et 70)	H _g = chaleur générée par frottement visqueux dans le film (Btu/sec)
DT = diamètre extérieur du tourillon (po)	TA = couple de frottement dans le palier (lb·po)	Q _p = surplus de débit de fuite causé par une alimentation forcée (gal US/min)
EP = excentricité du tourillon dans le coussinet (entre 0 et 1)	T = température ambiante (°F)	q = débit d'huile recirculé dans le palier (gal US/min)
F = coefficient de frottement	TC = tolérance du coussinet (po)	S = facteur expérimental du mécanisme de circulation de l'huile dans un palier auto-alimenté
HO = épaisseur minimale du film (po)	TT = tolérance du tourillon (po)	T _i = température de l'huile dans le palier, à l'entrée du film (°F)
HP = puissance perdue par frottement visqueux dans le coussinet (hp)	T1 = température de l'huile d'alimentation (°F)	T _p = température de la surface du palier (°F)
L/D = rapport de la longueur du coussinet sur le diamètre du tourillon (entre 0,2 et 3,0)	T2 = température moyenne de l'huile dans le film (°F)	γ = poids volumique de l'huile (lb/gal US)
LR = largeur de la rainure circumférentielle dans le coussinet (po)	W = charge radiale sur chaque palier de rapport L/D (lb)	T = élévation de la température de l'huile dans le palier au-dessus de T _i (°F)
LT = longueur totale du coussinet (po)	WT = charge radiale totale sur le palier (lb)	
NV = vitesse de rotation du tourillon (r/min)	Z = viscosité de l'huile à la température moyenne T2 (cP)	
PA = pression d'alimentation en huile (lb/po ²)		

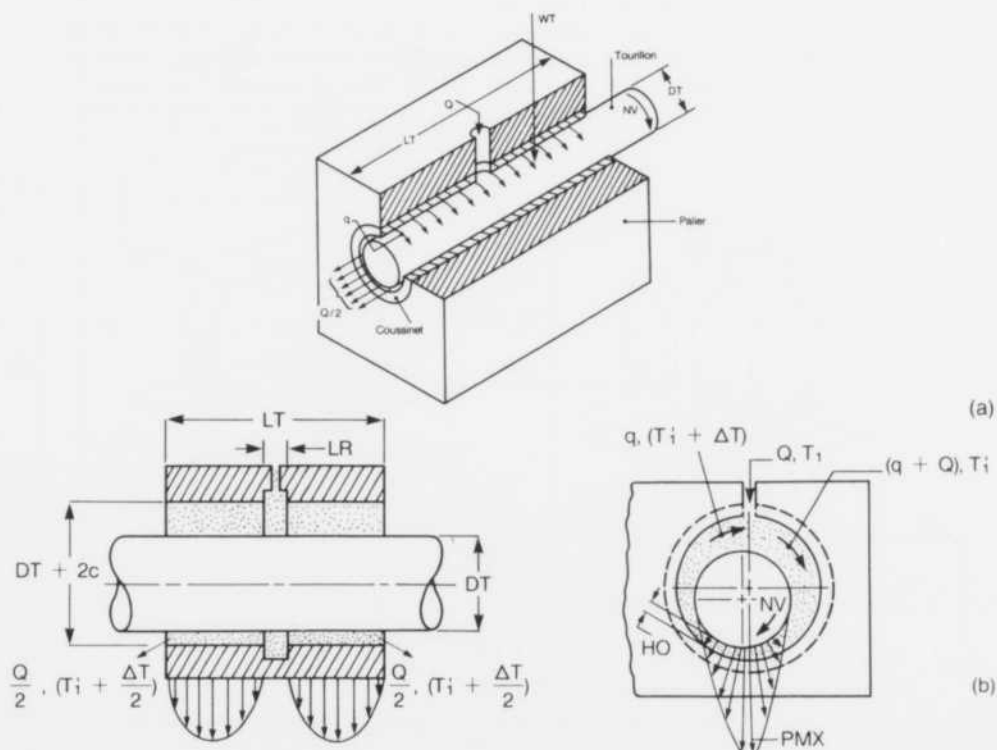


Figure 1 Nomenclature et symboles dans un palier lisse de 360°.

méthode de calcul retenue est une combinaison des approches suggérées dans les textes cités au n^{os} 4 et 5 des références.

Le bon fonctionnement d'un palier repose en grande partie sur la viscosité appropriée de l'huile dans le film. Cette viscosité est celle de l'huile choisie à la température moyenne T2. Le bilan thermique consiste donc à évaluer la température T2 dans le film. Toutefois, contrairement aux relations entre les variables dépendantes et indépendantes qui sont bien établies théoriquement, le bilan thermique dans un palier repose beaucoup plus sur une approche empirique. Pour cette raison, il importe particulièrement de bien établir les hypothèses sur lesquelles reposent tous les calculs qui seront exécutés par le programme.

Hypothèse et équations du bilan thermique

Pour faire le bilan thermique, le programme distingue deux types de paliers : le palier auto-alimenté (figure 2) et le palier continuellement alimenté en huile fraîche (figure 1).

Pour le premier type de palier, les calculs sont basés sur la méthode préconisée dans les textes cités aux n^{os} 1 et 6 des références. Dans cette approche,

on pose d'abord une relation entre la température moyenne de l'huile dans le film, T2, la température ambiante, TA, et la température de surface du palier, T_p, soit :

$$T2 = S(T_p - TA) + T_p \quad (1)$$

où S est un facteur expérimental fonction du mécanisme de circulation de l'huile dans le palier (barbotage du tourillon dans un bain, anneau, chaîne, disque ou capillaire). Trois de ces mécanismes sont représentés schématiquement à la figure 2. Les valeurs de S introduites dans le programme sont une moyenne de celles suggérées dans les textes mentionnés aux n^{os} 1 et 6 des références.

Pour le cas d'équilibre thermique d'un tel palier, puisque toute la chaleur générée, H_g, est évacuée par la surface, on peut écrire :

$$H_g = C_h(T_p - TA)A \quad (2)$$

où C_h est un coefficient de transfert de chaleur, et A l'aire de la surface du palier par laquelle la chaleur s'échappe. H_g se calcule à l'aide de la relation suivante :

$$H_g = \frac{F \cdot W \cdot DT \cdot NV}{178,3 \times 10^3} \quad (3)$$

Les variables F, W, DT et NV de la relation 3 sont définies dans la liste des symboles. Les valeurs C_h sont fonction des mêmes

paramètres que S et, en plus, de la vitesse de circulation de l'air autour du palier. Le facteur C_h doit aussi être défini expérimentalement, et les valeurs introduites dans le programme sont celles suggérées par Fuller⁽⁶⁾.

Quant à l'aire A, elle varie beaucoup selon le cas considéré. D'après Fuller⁽⁶⁾, A peut valoir de 10 à 25 fois le produit de DT × LT, avec une valeur moyenne autour de 16. C'est cette dernière valeur qui est introduite dans le programme, mais l'utilisateur peut spécifier une autre valeur s'il le désire.

En combinant les relations 1 et 2, on trouve :

$$T2 = \frac{(S + 1)H}{C_h A} + TA \quad (4)$$

Dans le cas du type de palier continuellement alimenté en huile fraîche (voir figure 1b), les hypothèses sont les suivantes :

- Le palier est formé d'un coussinet complet (360°) ;
- Le débit d'appoint en huile fraîche à une température T1 est au moins toujours égal au débit de fuite, Q, du palier ;
- Le débit d'appoint, Q, et le débit recirculé, q, dans le palier se mélangent uniformément pour atteindre une température T_i à l'entrée du film ;
- Le débit de fuite, Q, subit une élévation de température moyenne de ΔT/2⁽⁷⁾ ;
- Le débit recirculé, q, subit une élévation de température moyenne de ΔT⁽⁷⁾ ;
- La température moyenne, T2, de l'huile dans le film est donnée par la relation suivante⁽⁷⁾ :

$$T2 = T_i + \frac{\Delta T}{2} \quad (5)$$

En supposant que toute la chaleur générée par frottement visqueux dans le film est évacuée par le débit de fuite, Q, alors

$$T2 = \frac{H_g}{\gamma C_h Q} + T1 \quad (6)$$

où γ et C_h sont respectivement le poids volumique de l'huile et sa chaleur spécifique.

La relation 6 n'est valable que si le palier ne subit pas une alimentation forcée (PA = 0).

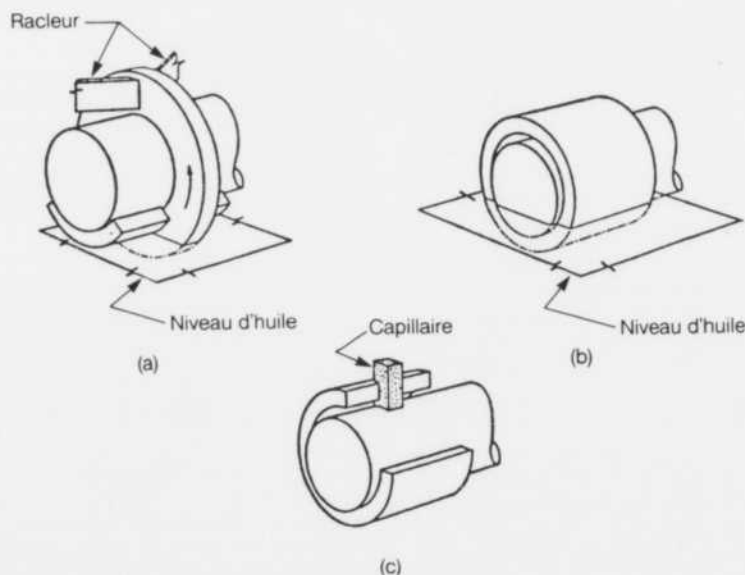


Figure 2 Types de paliers auto-alimentés.

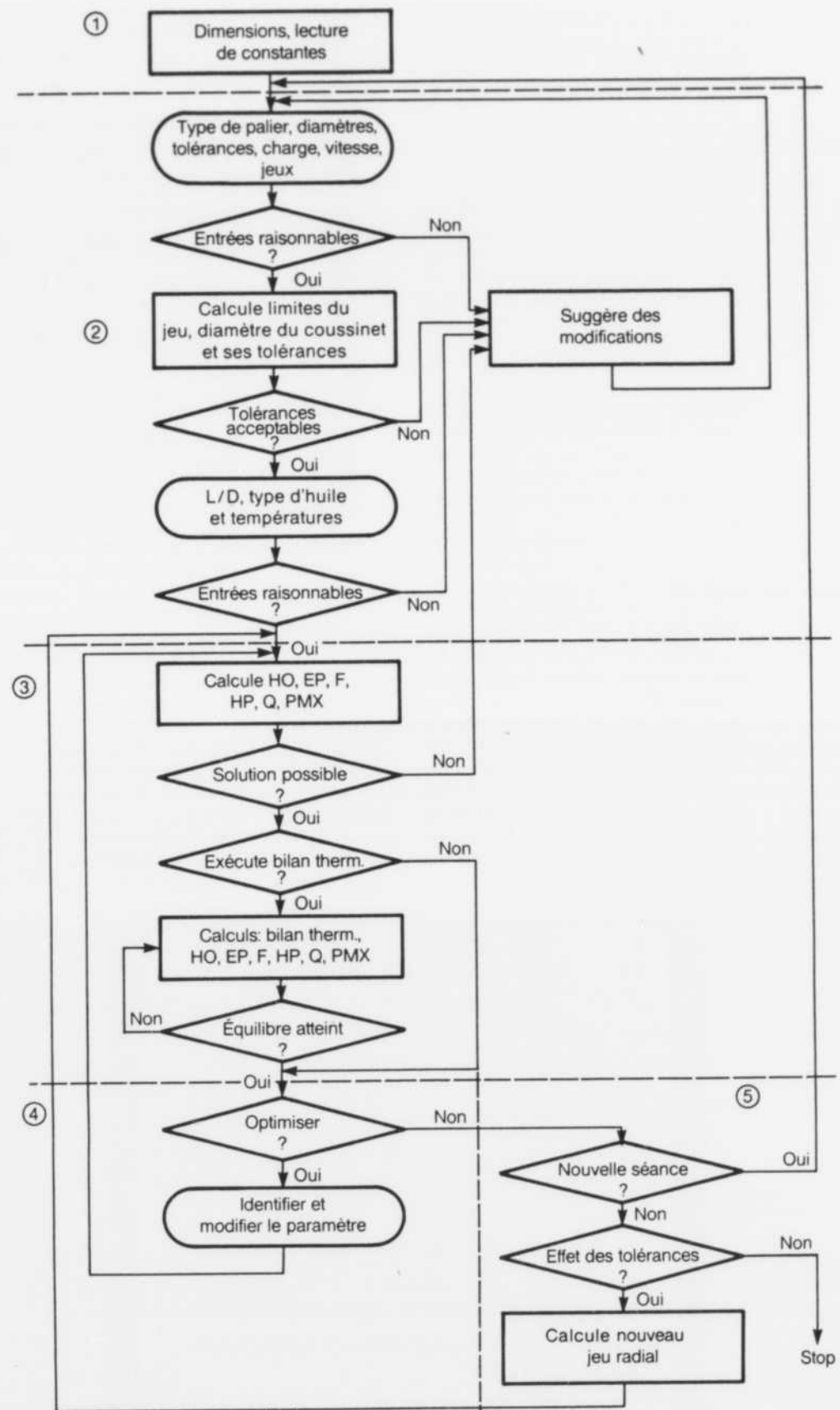


Figure 3 Structure logique du programme.

Dans le cas d'un palier suralimenté ($PA > 0$), cette relation devient :

$$T2 = \frac{H_g}{\gamma C_h(Q + Q_p)} + T1 \quad (7)$$

où Q_p est le surplus de débit de fuite lorsque $PA > 0$ (8).

Dans le programme, les valeurs de Q et de Q_p sont calculées pour deux cas particuliers : celui d'un palier alimenté par un trou seulement (figure 1a) et celui d'un palier alimenté par un trou dans une rainure circonférentielle de largeur LR (figure 1b). Les équations permettant de calculer Q_p sont différentes pour ces deux cas (8). Lorsque le coussinet porte une rainure circonférentielle, le palier est divisé en deux paliers plus petits : pour chacun, le rapport $L/D = (LT - LR)/(2 DT)$ (figure 1b). Le débit total de fuite, Q , est alors le double de celui d'un palier qui a cette valeur de L/D . Les valeurs de H_0 , de F et de PMX sont celles calculées pour un palier ayant cette valeur de L/D et supportant la moitié de la charge WT .

Le cas le plus général du bilan thermique est celui où l'on considère que la chaleur est évacuée et par la surface (comme dans un palier auto-alimenté) et par le débit de fuite. Alors, $T2$ s'exprime comme suit :

$$T2 = |H_g(S + 1) + \gamma C_h(Q + Q_p)(S + 1)T1 + AC_hTA| + |C_h(Q + Q_p)(S + 1) + AC_h| \quad (8)$$

Si le palier n'est pas suralimenté ($PA = 0$), alors $Q_p = 0$ dans l'équation 8.

La résolution des équations 3 à 8 exige un processus itératif,

puisque H_g est une fonction de la viscosité de l'huile, qui est elle-même une fonction de $T2$.

Structure du programme

La figure 3 illustre la structure générale du programme par un diagramme logique. On y distingue cinq grands blocs délimités par des lignes brisées.

Au bloc 1, les opérations sont amorcées par l'énoncé DIMENSIONS pour les variables indicées et la lecture des constantes des polynômes mentionnés précédemment. Ce bloc comprend également l'initialisation des constantes, pour usage interne au programme, et la génération du tableau qui servira à présenter les résultats. La figure 4 illustre la forme qu'a le tableau au début de la séance de travail.

Le bloc 2 sert à définir le problème. Dans cette section, l'ordinateur pose des questions auxquelles l'utilisateur répond. Selon l'information reçue, l'ordinateur fait des calculs ou pose une autre question qui permet de mieux cerner le cas. Au fur et à mesure de l'entrée des données, le programme vérifie la vraisemblance et l'exactitude de celles-ci. Il le fait, par exemple, pour les tolérances en fonction du jeu radial et pour la viscosité. Le dia-

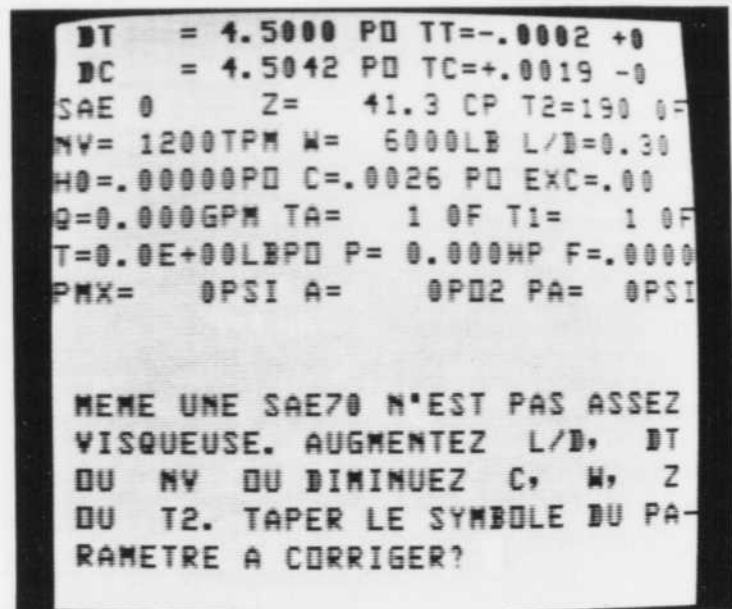


Figure 5 Exemple de message d'erreur.

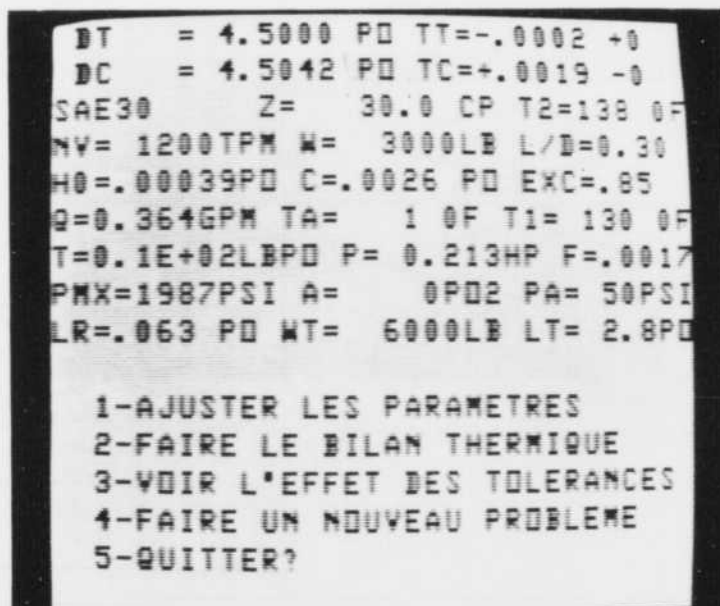


Figure 4 Mode d'affichage à l'écran.

mètre du tourillon est limité à 10 po, la charge à 10^5 lb et la vitesse à 10^5 TPM. En ce qui concerne le rapport L/D, il doit se situer entre 0,2 et 3,0.

Le bloc 3 constitue le coeur du programme. À ce stade, le problème est tout à fait défini. Le programme évalue alors l'épaisseur minimale du film, HO, le coefficient de frottement, F, la chaleur générée, H_g, le débit d'huile, Q, et la pression maximale dans le film, PMX. À cette étape s'effectue un test crucial : vérifier s'il existe une solution pour les données fournies. Si le test est négatif, l'ordinateur suggère les variables d'entrée qui sont à modifier et indique dans quel sens le faire. Si le test est positif, l'utilisateur peut demander d'exécuter le bilan thermique. Comme nous l'avons mentionné précédemment, la solution du bilan thermique nécessite un processus itératif. Chaque itération demande de recalculer HO, F, Q et PMX. Si la solution évolue vers une impossibilité, l'indication en est donnée, et les corrections appropriées doivent être effectuées.

Lorsqu'une solution est atteinte, l'utilisateur a tout le loisir de l'optimiser (bloc 4, figure 3). Ce bloc illustre toute la flexibilité du programme. À ce point, pour modifier une des variables d'entrée, l'utilisateur n'a qu'à taper au

clavier le symbole de la variable en question. L'ordinateur pose alors la question d'entrée relative à cette variable. Une fois la variable modifiée, le programme retourne au bloc 3 pour trouver une solution à l'aide de la nouvelle valeur.

Finalement, le bloc 5 sert à terminer la séance, à en commencer une autre avec un nouveau problème ou à étudier l'effet de certains paramètres, telles les tolérances.

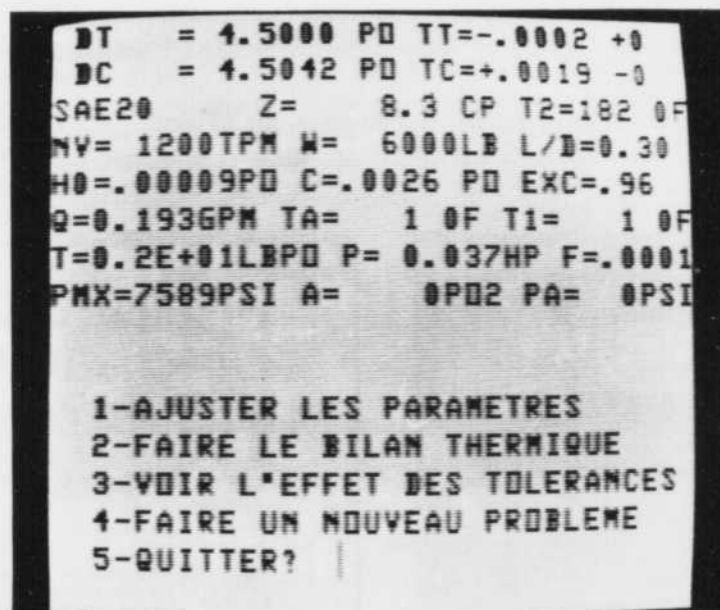


Figure 6 Première solution d'un problème typique.

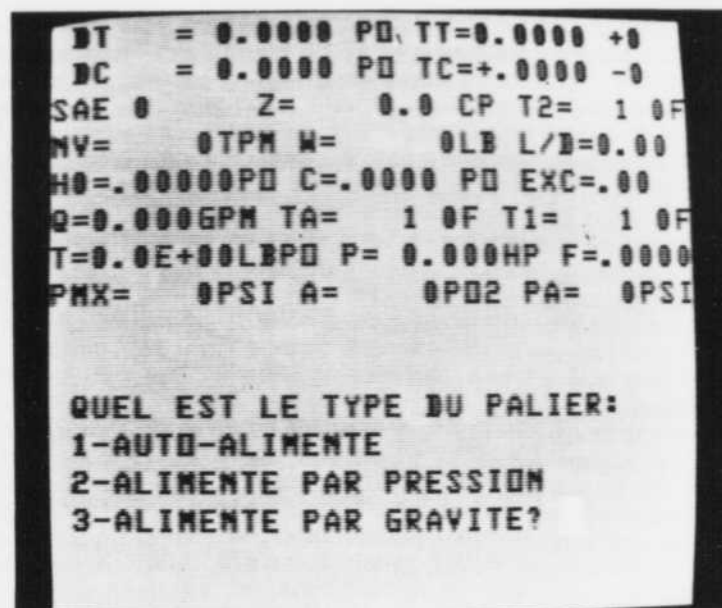


Figure 7 Solution améliorée.

Durée d'une séance

Pour donner une idée du temps nécessaire à une séance, mentionnons que le bloc 1 s'exécute environ en cinq secondes. Selon que l'utilisateur est plus ou moins familier avec le programme, le bloc 2 peut demander de deux à cinq minutes. Le bloc 3 exécute uniquement des calculs : il exige de dix à trente secondes, selon que le point de départ et la solution finale du bilan thermique sont plus ou moins rapprochés. Les blocs 4 et 5 ne durent que quelques secondes. Bref, en dix minutes, un utilisateur rompu au programme peut trouver une vingtaine de solutions différentes à un même problème. Le même travail, exécuté à la main, demanderait au moins deux à trois heures, et les risques d'erreurs seraient beaucoup plus élevés.

Fonctionnement du programme

La figure 4 illustre le cadre général dans lequel l'utilisateur doit travailler. Le haut de l'écran est occupé par un tableau où sont affichés les variables d'entrée et les résultats des calculs. Le bas de l'écran est réservé aux questions et aux réponses. Cette figure révèle l'état du tableau au début du bloc 2.

La figure 5 montre le tableau à la fin du bloc 2, ainsi qu'un message d'erreur concernant la viscosité. La figure 6 représente l'état du tableau au début du bloc 4, une fois l'erreur corrigée. Le menu au bas de l'écran illustre le choix qu'a l'utilisateur, à cette étape, d'optimiser sa solution, de faire le bilan thermique, d'étudier l'effet des tolérances, de commencer une nouvelle séance ou de quitter.

Nous avons mentionné plus haut que le bloc 4 offrait la possibilité de modifier les données. Il faudrait ajouter que le bloc 2 a la même caractéristique. On peut, en effet, y modifier toute variable d'entrée aussitôt qu'on lui a assigné une valeur autre que celle que le programme lui avait d'abord donné (figure 4). Par exemple, si la charge supportée par le palier est de 2 500 lb et que l'utilisateur tape 5 200, par mégarde, celui-ci peut corriger son erreur aussitôt qu'il l'a constatée en frappant la touche W du clavier. L'ordinateur pose alors la question relative à la charge, accepte la nouvelle valeur, l'affiche à l'écran et revient, dans l'exécution du programme, au point où il était rendu au moment où la correction fût demandée.

La figure 6 présente la première solution d'un problème typique. En examinant attentivement le contenu du tableau, on se demande si cette solution est adéquate. On constate, en effet, que la température moyenne, T2, du film est passablement élevée (182°F) et que le film minimal, HO, est mince (9×10^{-5} po) alors que la pression maximale, PMX,

dans le film est élevée (7 589 lb/po²). Après quelques essais, on se rend compte que le fait d'augmenter la longueur du palier (1,35 po à 2,76 po), d'ajouter une rainure circonférentielle, LR, de 0,063 po, d'alimenter le palier avec une pression, PA, égale à 50 lb/po² et d'utiliser une huile SAE plus visqueuse (SAE 30 plutôt que SAE 20) améliore considérablement la situation, comme le montre la figure 7 (HO = $3,9 \times 10^4$ po, T2 = 138°F et PMX = 1987 lb/po²). Tous ces changements ne sont peut-être pas acceptables, souhaitables ou possibles; il revient à l'utilisateur de décider des modifications qui le conduiront à une solution acceptable.

Conclusion

Les micro-ordinateurs individuels peuvent servir à autre chose qu'à des jeux, soit, entre autres à des calculs scientifiques. Le programme que nous avons décrit en est un exemple. Mais l'ordinateur, aussi puissant et souple qu'il puisse être, ne demeure qu'un outil pour l'ingénieur. Son avantage est de pouvoir calculer vite et sans erreur, épargnant ainsi au concepteur une tâche ardue et fastidieuse. C'est dans cet esprit que nous avons élaboré ce programme: il permet à son utilisateur d'explorer un grand nombre de possibilités et de choisir la meilleure solution (ou celle qui lui convient le mieux), en peu de temps et sans fatigue inutile.

Le programme a été conçu dans un but didactique: sa flexibilité, alliée à la puissance de calcul de l'ordinateur, permet à l'étudiant d'explorer et de visualiser l'effet et l'importance d'un certain nombre de variables. Dans l'industrie, le programme pourrait trouver une application comme outil de dégrossissage dans la recherche d'une solution satisfaisante.

l'ingénieur

Références

1. RIPPEL, Harry C. *Cast Bronze Bearing Design Manual*, Cast Bronze Bearing Institute, Inc., 2nd ed., 1979.
2. RAIMONDI, A.A., and J. BOYD. « A solution for the Finite Journal Bearing and its Application to Analysis and Design », Parts I, II, III, *Trans. ASLE*, Vol. 1, No. 1, 1958, p. 159-209, et tiré de J.E. Shigley, *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill, 4th ed.
3. ANSI/ASTM D341-77
4. STOURVAS, S. « Viscosity Index by Computer », *Hydrocarbon Processing*, August 1981, p. 91-92.
5. ANSI/ASTM D2278-79. *Standard Method for Calculating Viscosity Index from Kinematic Viscosity at 40°C and 100°C*.
6. FULLER, Dudley D. *Theory and Practice of Lubrication for Engineers*, John Wiley & Sons, Inc., 1966.
7. CAMERON, A. *Basic Lubrication Theory*, Ellis Horwood Ltd., England, 2nd ed., 1976.
8. RADZIMOVSKY, E.I. *Lubrication of Bearings*, The Ronald Press, 1959.

Lavalin

ÉTUDES, GÉRANCE DE PROJETS

INGÉNIERIE, APPROVISIONNEMENT, CONSTRUCTION

Siège social

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

- CONTRÔLE DES MATÉRIAUX
- ÉTUDES GÉOTECHNIQUES
- ANALYSES CHIMIQUES

Tél.: 336-5650



Les Laboratoires Industriels et Commerciaux Limitée
190 Benjamin-Hudson, St-Laurent
Québec, Canada H4N 1H8

fondée en 1928

Le Programme canadien de gestion des déchets de combustible nucléaire

Mario Lupien, chim.

Cette revue du Programme canadien décrit la phase actuelle des recherches génériques, qui a pour but de vérifier la pertinence de l'enfouissement des déchets de combustible nucléaire dans le bouclier Canadien. On y explique également de quelle façon l'Ontario Hydro envisage de résoudre son problème d'entreposage à moyen terme du combustible irradié.

Introduction

La production d'électricité à partir de l'énergie nucléaire engendre toute une gamme de déchets radioactifs qui doivent être stockés ou enfouis*. Depuis quelques années, la société accorde une attention toute particulière à l'enfouissement des déchets de haute activité, que ceux-ci se présentent sous forme de combustible nucléaire irradié ou de sous-produits du retraitement dudit combustible.

À l'heure actuelle, aucune installation d'enfouissement de ces déchets n'est en service dans les pays de l'OCDE⁽¹⁾, entre autres, parce que cela ne correspond pas à un besoin immédiat. Cependant, un important effort de recherche est consacré à la mise au point d'options acceptables en matière d'enfouissement. Cet effort est en grande partie orienté vers des études de faisabilité et de sécurité à long terme en ce qui concerne l'enfouissement dans des formations géologiques profondes et stables. Ces formations offrent la possibilité d'isoler les déchets de la biosphère et la garantie que les matières radioactives ne constitueront jamais un risque inaccept-

M. Mario Lupien a obtenu de l'Université du Québec à Trois-Rivières un B. Sc. (chimie) et une M. Sc. (environnement), en 1975 et 1978 respectivement. Il a enseigné au Cégep de Shawinigan et à l'Université du Manitoba (campus Saint-Boniface). En 1980, il retournait aux études à l'Université Laval et obtenait de cet établissement un Ph. D. en chimie. Depuis 1982, il est chercheur à l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ).

table ni pour l'environnement ni pour l'homme⁽¹⁾. Cette conclusion a été renforcée par un certain nombre d'études indépendantes (nous n'en citerons que quelques-unes), tant sur le plan national qu'international⁽²⁻⁴⁾.

Le Programme canadien de gestion des déchets de combustible nucléaire

Le Canada a mis en place un vaste programme de recherche, de développement et de démonstration (RDD) pour l'évacuation permanente des déchets de combustible nucléaire⁽⁵⁻⁷⁾.

Coordination du programme

En vertu d'un accord entre le gouvernement du Canada et celui de l'Ontario⁽⁸⁾, l'Ontario Hydro est chargée de la mise au point du stockage et du transport du combustible épuisé. L'EACL** est chargée de la coordination et de la direction du programme RDD pour l'immobilisation des déchets de combustible et leur enfouissement. Afin de remplir son mandat de façon efficace, l'EACL s'est entourée de spécialistes provenant de tous les coins du pays. En 1982, 765 professionnels et techniciens participaient au programme. Le financement est assuré par le gouvernement fédéral jusqu'en 1991. Le budget annuel moyen sera de l'ordre de 29 millions de dollars (\$ 1981). Ce montant n'inclut pas les dépenses effectuées par l'Ontario Hydro pour la recherche et le développement, soit deux millions de dollars en 1982 et un montant projeté de un million de dollars en 1983⁽⁷⁾.

Objectifs du programme

Le programme a deux buts. Le premier est de s'assurer que l'enfouissement des déchets de combustible à grande profondeur

(c.-à-d. 500-1 000 m) dans des formations géologiques stables les isolera de façon efficace; le second est de voir à ce que la technologie nécessaire à l'enfouissement de ces déchets ne comporte aucun danger.

L'objectif général du Programme canadien de gestion des déchets de combustible nucléaire est d'assurer qu'il n'y aura pas d'effets nocifs importants pour l'homme ni pour l'environnement, à quelque moment que ce soit. Le programme est axé sur l'enfouissement des déchets dans des formations stables de roche dure du bouclier Canadien. L'étude d'autres formations, comme les gisements de sels, s'est limitée à l'identification des sites qui pourraient convenir⁽¹⁾.

Étapes du programme

Le programme RDD, qui s'étendra sur une vingtaine d'années comporte trois phases :

1. la vérification du concept,
2. la sélection du site,
3. la construction et l'exploitation d'une installation d'enfouissement pour fins de démonstration.

La première phase, orientée vers la recherche, vise à vérifier le concept de base par une évaluation générique de sécurité et d'impact sur l'environnement. Un rapport résumant les connaissances acquises devrait être produit en 1988, qui porterait ainsi le programme à sa deuxième phase.

Pendant la phase de sélection du site, les questions sociales et politiques associées aux sites et techniquement convenables seront examinées. Les renseignements spécifiques sur l'installation proposée, y compris les détails sur les facteurs économiques, l'impact sur les agglomérations, les questions de santé et de sécurité ainsi que les effets écologiques seront discutés avec les communautés voisines de ces sites. Lorsqu'un site aura été acquis et sa convenance technique confirmée par des études géotechniques détaillées, on construira une installation de démonstration. Cette installation ressemblera, sous bien des

*Le terme « stockage » (*storage*) décrit une opération réversible (5-1 000 ans) et le terme « enfouissement » (*disposal*), une opération irréversible qui devra isoler les déchets radioactifs pendant des centaines de millénaires. N.D.A.

**Énergie atomique du Canada limitée.

aspects, à une mine classique dans la roche dure.

Pour que le programme réussisse, il importe que le public en soit informé, qu'il le comprenne et l'accepte. On prévoit donc la participation du public par le biais d'audiences⁽⁵⁾.

Concept des barrières multiples

Les études sur la sécurité des méthodes d'enfouissement dans les formations géologiques sont essentielles : en effet, les processus naturels, alliés à une lente évolution géologique, sont susceptibles d'entraîner la libération d'une certaine proportion des déchets. À l'exception d'une formation saline non perturbée, les pores et les fissures de la roche abritant le dépôt, ou ceux des formations avoisinantes, seraient saturés d'eaux souterraines. La dissolution et le transport des matières radioactives par les eaux souterraines constitueraient alors le mécanisme de libération de loin le plus probable⁽⁵⁾.

Le fait que les déchets se présentent sous forme solide et qu'ils soient emballés peut contribuer à limiter au maximum la vitesse de libération des radionu-

cléides, une fois que le conteneur est entré en contact avec les eaux souterraines. Si de telles eaux sont présentes dans la formation géologique réceptrice — ce qui ne fait plus de doute maintenant —, leur accès au conteneur peut également être limité grâce à l'utilisation d'un matériau tampon entre la roche réceptrice et le conteneur (figure 1). Ce matériau tampon peut aussi conditionner chimiquement l'eau qui atteint le conteneur, de manière à réduire la corrosion ou la lixiviation ; il peut également opposer une barrière physique et chimique au mouvement des radionucléides⁽¹⁾.

Recherche et développement au WNRE

Les études canadiennes sur l'enfouissement des déchets de combustible nucléaire dans des formations géologiques sont coordonnées par l'EACL, à partir du WNRE*.

Technologie d'immobilisation

Des travaux sont en cours pour la mise au point des technologies d'immobilisation du combustible irradié et de la fixation des déchets qui proviendraient du retraitement. Dans le cas du combustible, on a pour objectif de développer un conteneur à haute intégrité ayant une durée de vie utile de quelque 300 à 500 ans. Quant aux déchets résultant du retraitement du combustible CANDU épuisé, on souhaite les incorporer dans une matrice à faible solubilité⁽⁷⁾.

Recherche en sciences de la terre

Pendant la phase d'évaluation du concept, les recherches portent surtout, dans cette section du programme, sur l'étude des caractéristiques des formations rocheuses. On accorde également une attention particulière à l'étude des eaux souterraines, soit à leur composition, à leur vitesse de migration et finalement à leur âge.

*Whiteshell Nuclear Research Establishment.

Un laboratoire souterrain (Underground Research Laboratory, URL) est présentement en construction dans le batholite du lac du Bonnet. Cette masse granitique, d'environ 70 km sur 25 km, est située dans le nord-est du Manitoba. Les travaux d'excavation seront complétés en 1986. Le laboratoire comprendra plusieurs petites salles, situées à une profondeur de 240 m. Les données géotechniques, géochimiques et chimiques recueillies au cours des études en laboratoire et sur le terrain constitueront la base des données nécessaires à une évaluation subséquente de la validité de l'ensemble du concept d'enfouissement.

Impact environnemental

Il existe un élément dont l'importance est primordiale pour la phase d'évaluation du concept : il s'agit de la mise au point de méthodes d'analyse des répercussions que pourrait avoir sur l'environnement une installation d'enfouissement.

Cet exercice permettra de rassembler des renseignements et des données provenant de tous les domaines touchés par le Programme canadien de gestion des déchets de combustible nucléaire. On a mis au point une méthode systémique d'analyse d'incertitudes et de variabilité. Cette méthode tient compte des incertitudes du système entier et évalue une série de conséquences en résultant, tout en donnant une mesure de probabilité de chaque conséquence.

Le but ultime de cet exercice est de pouvoir estimer la dose que recevra éventuellement l'homme, partie intégrante de la biosphère, sur une période de temps géologique (10⁶ années).

Mode actuel de stockage du combustible irradié dans les centrales CANDU

Les grappes de combustible irradié sont présentement stockées dans une piscine attenante au bâtiment du réacteur. Ce mode d'entreposage devrait

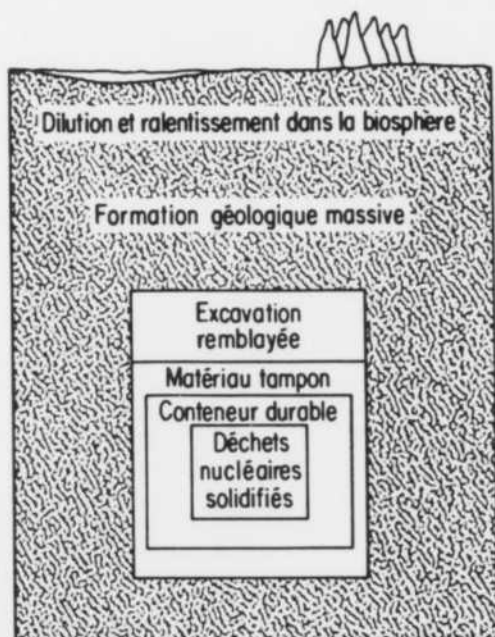


Figure 1 Les éléments qui protègent l'homme contre les déchets nucléaires. (Tirée du rapport AECL-6314(5)).

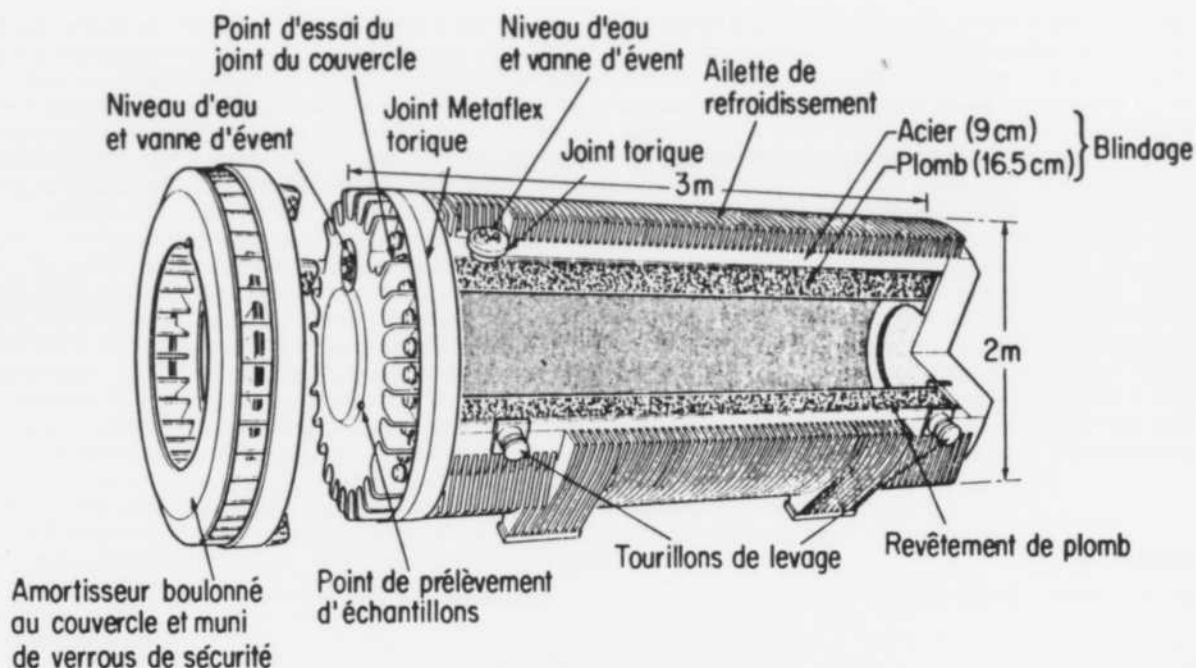


Figure 2 Château de transport de combustible nucléaire irradié (British Nuclear Fuels Limited). (Tirée du rapport AECL-6314F(5)).

être suffisant pour au moins une dizaine d'années⁽⁹⁾. Dans un deuxième temps, on pourrait construire sur le site même une piscine additionnelle d'entreposage, si cela s'avérait nécessaire. Cette solution a d'ailleurs été retenue par l'Ontario Hydro pour ses centrales de Bruce A, de Pickering A et de Pickering B, où on procédera à la mise en service des nouvelles installations entre janvier 1994 et septembre 1995, selon le calendrier actuel des travaux⁽¹⁰⁾.

On estime que d'ici l'an 2000 les réacteurs en opération au Canada auront produit quelque 50 Gg de combustible irradié. L'ensemble de ces grappes de combustible occuperait quatre piscines de dimensions olympiques⁽¹¹⁾.

Recherche et développement à l'Ontario Hydro

L'Ontario Hydro est chargé de la mise au point des méthodes de stockage et de transport du combustible irradié⁽⁸⁾, deux aspects importants du Programme canadien.

Transport du combustible irradié

Le combustible irradié sera transporté dans des conteneurs dont les deux fonctions essentielles sont d'assurer le blindage contre les rayons gamma émis par le combustible et de garantir un haut niveau de confinement du combustible irradié, en cas d'accident de la route.

Le conteneur, représenté à la figure 2, a été approuvé par la Commission de contrôle de l'énergie atomique pour le transport du combustible irradié au Canada; il a été utilisé à des fins expérimentales pour le transport entre le Canada et l'Europe⁽¹²⁾. Le conteneur pèse environ 50 t et peut transporter 3,5 t de combustible irradié. Ses parois, d'environ 25 cm d'épaisseur, sont constituées d'une enveloppe extérieure en acier de 9 cm et d'une enveloppe intérieure en plomb de 16,5 cm. Le blindage réduit le rayonnement gamma par un facteur de 10^7 , et le débit de dose à sa surface est inférieur à $10 \mu\text{Sv/h}^*$ (calcul pour du combustible CANDU

refroidi pendant 5 ans)⁽¹²⁾. À titre de référence pour le lecteur, mentionnons qu'un vol en avion commercial, effectué à 8 000 m d'altitude, expose les passagers à un débit de dose de l'ordre de $1,4 \mu\text{Sv/h}^{(13)}$.

Le but ultime de ces études est d'avoir, pour 1990, un système conceptuel de transport du combustible irradié. On procédera ensuite à la construction des conteneurs proposés en fonction des besoins spécifiques (destination, itinéraire et fréquence) et du mode de transport sélectionné⁽¹⁴⁾.

Stockage du combustible irradié

L'Ontario Hydro a complété, en 1979, une étude portant sur les méthodes de stockage possibles pour l'avenir⁽¹⁴⁾. Les hypothèses considérées furent les suivantes :

- le stockage à la centrale,
- le stockage dans une installation centralisée, avec ou sans immobilisation, en surface ou près de la surface,
- la mise en place d'installations de stockage et d'immobilisation dans un site à grande profondeur (500 m).

*Microsievert par heure. Le sievert est l'équivalent de dose dans le domaine de la radioprotection, égal à un joule par kilogramme. N.D.L.R.

Le stockage pratiqué sur place est actuellement la meilleure politique selon Barnes (1979), bien que les avantages qu'il présente par rapport aux autres possibilités soient marginaux.

À l'occasion de la quatorzième réunion d'information du Programme canadien de gestion des déchets de combustible nucléaire, tenue à Winnipeg en septembre 1982⁽¹⁰⁾, le Dr R.C. Oberth, responsable de la gestion du combustible irradié à l'Ontario Hydro, révélait les grandes lignes d'une étude portant sur le stockage du combustible irradié⁽¹⁵⁾. La crainte de voir des retards significatifs dans la réali-

sation des objectifs du Programme canadien aurait contraint l'Ontario Hydro à étudier d'autres solutions pour le stockage à long terme du combustible irradié.

On mise présentement beaucoup à l'Ontario Hydro sur un programme RDD qui vise à développer un conteneur intégré (*Integrated Irradiated Fuel Management System*) pour la gestion du combustible irradié⁽¹⁶⁾. Le conteneur servirait au transport et au stockage, et pourrait également être utilisé comme récipient pour l'enfouissement à long terme (figure 3). Un des avantages évidents d'un tel concept est de réduire la manutention du com-

combustible irradié. Si les études de faisabilité s'avéraient concluantes, on serait en mesure, à l'Ontario Hydro, d'attendre plusieurs décennies avant de se prononcer sur l'avenir des déchets de combustible nucléaire.

Retraitement du combustible irradié

Dans le contexte économique actuel, les considérations entourant le combustible nucléaire irradié sont de même nature que celles qui touchent les déchets sans valeur marchande. Par contre, on peut imaginer un avenir, pas très lointain selon certains, où il serait économiquement rentable d'extraire les éléments fissiles du combustible irradié. Le plutonium est une source d'énergie utilisable ultérieurement dans des cycles plus avancés du combustible.

Sur le plan technologique, le Programme canadien étudie également des méthodes d'immobilisation des déchets résultant du retraitement du combustible irradié. Cette entreprise ne devrait pas être interprétée comme une prise de position canadienne sur la question du retraitement du combustible irradié. « La position du Canada relative au programme de développement du cycle du combustible sera examinée après la terminaison de l'Évaluation internationale du cycle de combustible nucléaire qui est actuellement en cours⁽⁵⁾ ». Pour l'instant, l'hypothèse de travail est que nous devons être en mesure d'éliminer le combustible irradié ainsi que les déchets provenant du traitement du combustible⁽⁷⁾.

Conclusion

Lorsqu'on examine les délais dans lesquels le Canada se propose de mettre au point un mode d'enfouissement des déchets de combustible nucléaire dans le bouclier Canadien, il importe d'établir une distinction entre l'urgence qu'il y a à trouver une solution, d'une part, au problème du stockage à moyen terme et, d'autre part, à

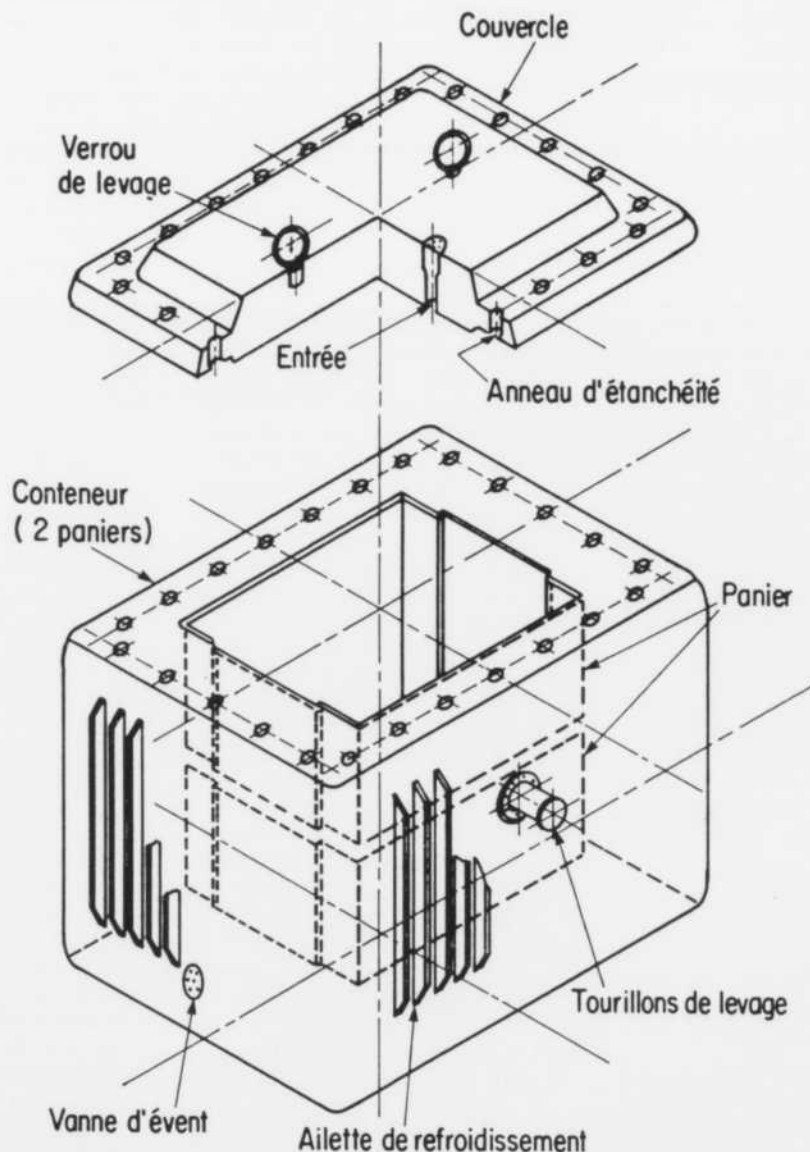


Figure 3 Dessin préliminaire du conteneur intégré. (Tirée du rapport TR-207(10).)

celui de l'entreposage à long terme (enfouissement).

En ce qui concerne le stockage à moyen terme — il est ici question de 50-1000 ans —, la solution repose dans la construction d'installations en surface. La responsabilité de cette partie du Programme canadien de gestion des déchets de combustible nucléaire revient à l'Ontario Hydro. Cette gestion à moyen terme du combustible irradié ne semble pas poser de problème particulier. Certaines des techniques en jeu sont déjà appliquées, alors que d'autres font l'objet de RDD.

En ce qui concerne l'enfouissement des déchets de haute activité, la situation est

assez différente. La voie conduisant à l'enfouissement dans le bouclier Canadien de déchets radioactifs sur une échelle industrielle est parsemée d'embûches, et même les plus optimistes ne s'aventurent pas à prédire une date pour sa réalisation. Dans le cadre du Programme canadien, le document qui servira à évaluer le concept sera déposé en 1988. Il aura pour but de démontrer que le principe de l'enfouissement à grande profondeur est acceptable des points de vue des organismes réglementaires, des pouvoirs publics et de la population. Ce rapport devrait servir à amorcer un débat, qui s'annonce d'ores et déjà très houleux. On a également envisagé la suite des

événements, mais il est fort probable que des délais ainsi que des modifications des orientations originales s'imposeront, à la lumière des discussions entre les divers intervenants.

Ce calendrier à long terme, bien qu'il ne fasse pas apparaître l'enfouissement des déchets de haute activité comme un problème technique urgent, doit néanmoins refléter le désir manifeste de la société de s'assurer que le développement de l'électronucléaire sera subordonné à la faisabilité et à l'acceptabilité des options relatives à l'évacuation de tous les déchets.

l'ingénieur

Références

1. Organisation de coopération et de développement économique (OCDE), Agence pour l'énergie nucléaire (AEN). *Évacuation des déchets radioactifs dans les formations géologiques : recherches effectuées dans les pays de l'OCDE*, Paris, 1982.
2. AIKIN, A.M., HARRISON, J.M., et F.K. HARE. *The Management of Canada's Nuclear Wastes*, Ottawa, ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Rapport EP-77-6, 1977.
3. UFFEN, R.J. *The disposal of Ontario's Used Nuclear Fuel: A Status Report on Alternative Proposals for the Storage, Reprocessing, and Ultimate Disposal of Used Fuel From CANDU Nuclear Reactors*, Kingston (Ontario), Université Queen's, 1978.
4. OCDE, AEN. *Objectives, Concepts and Strategies for the Management of Radioactive Waste Arising from Nuclear Power Programs*, Report by an NEA Group of Experts, Paris, 1977.
5. BOULTON, J. (réd.). *Gestion des déchets de combustible radioactifs : Programme canadien de stockage*, Énergie atomique du Canada limitée, Rapport AECL-6314F, 1978.
6. DIXON, R.S., et E.L.J. Rosinger (réd.). *Third Annual Report of the Canadian Nuclear Fuel Waste Management Program*, Énergie atomique du Canada limitée, Rapport AECL-6821, 1981.
7. ROSINGER, E.L.J., LYON, R.B., GILLESPIE, P., et J. TAMM (réd.). *Guide to the Canadian Nuclear Fuel Waste Management Program*, 2^e éd., Énergie atomique du Canada limitée, Rapport AECL-7790, 1983.
8. Déclaration commune du ministre de l'Énergie, des Mines et des Ressources du Canada et du ministre de l'Énergie de l'Ontario, le 5 juin 1978. Ottawa, Imprimerie et publications, Approvisionnement et Services Canada, 1978.
9. EAEL. *CANDU 600: Station Design*, Ottawa, AECL-Marketing Division, 1976.
10. *Débats de la quatorzième réunion d'information du Programme de gestion des déchets de combustible nucléaire* (assemblée générale 1982), Énergie atomique du Canada limitée, Rapport TR-207, 1982.
11. RUMMERY, T.E., et E.L.J. ROSINGER. « The Canadian Nuclear Fuel Waste Management Program », dans *Proceeding of the Canadian Nuclear Society/International Conference on Radioactive Waste Management*, Winnipeg, Canada, sept. 1982, p. 6-15.
12. PROWSE, D.R. *Transport du combustible nucléaire*, Énergie atomique du Canada limitée, Rapport AECL-6331F, 1979.
13. O'BRIEN, K. « The cosmic ray field at ground level », dans *The Natural Radiation Environment II*, conf. 720805-P1, 1975, p. 15-54.
14. BARNES, R.W., RAO, P.K.M., KARTRIGHT, R.W., et NAQVI, S.J. *Management of Irradiated Fuel Storage Siting Options*, Ontario Hydro, Rapport interne GP-78418, 1979.
15. DALZIEL, B.P. *Long-term Storage of Irradiated CANDU Fuel*, Ontario Hydro, Rapport interne n° 82064, 1982.
16. OBERTH, R.C. Communication présentée à l'occasion d'une réunion du Fuel Waste Immobilization Working Party, tenue au WNRE, le 24 juin 1983.

EN VOILA UN ROBUSTE!

Le "Bow Drill 3" de Bow Valley-Husky se doit d'être robuste car il est mis à dure épreuve au large des côtes de l'Atlantique, région connue pour ses conditions météorologiques des plus difficiles.

Sa conception a fait appel à des expériences internationales qui ont analysé une gamme de caissons de forage utilisés extensivement à travers le monde et plus particulièrement en Mer du Nord. Caisson semi-submersible d'une technologie très avancée, il est capable de forer jusqu'à 7 600 m (25 000 pieds) tout en se maintenant sur un plan d'eau pouvant atteindre 450 m (1 500 pieds) de profondeur.

Le "Bow Drill 3" a été construit au Nouveau-Brunswick par la réputée Saint-John Shipbuilding and Dry Dock Co. Ltd. Ses spécifications exigent des plaques d'acier répondant aux critères Det Norske Veritas pour la construction des navires. Algoma Steel est l'une des rares aciéries nord-américaines pouvant satisfaire à ces exigences ainsi qu'à d'autres rigoureux standards de fabrication des plaques d'acier.

Dans ce projet-ci, Algoma a fourni des milliers de tonnes de plaques d'acier normalisés et laminés-contrôlés, la normalisation ayant été effectuée dans nos nouvelles installations de traitement thermique.

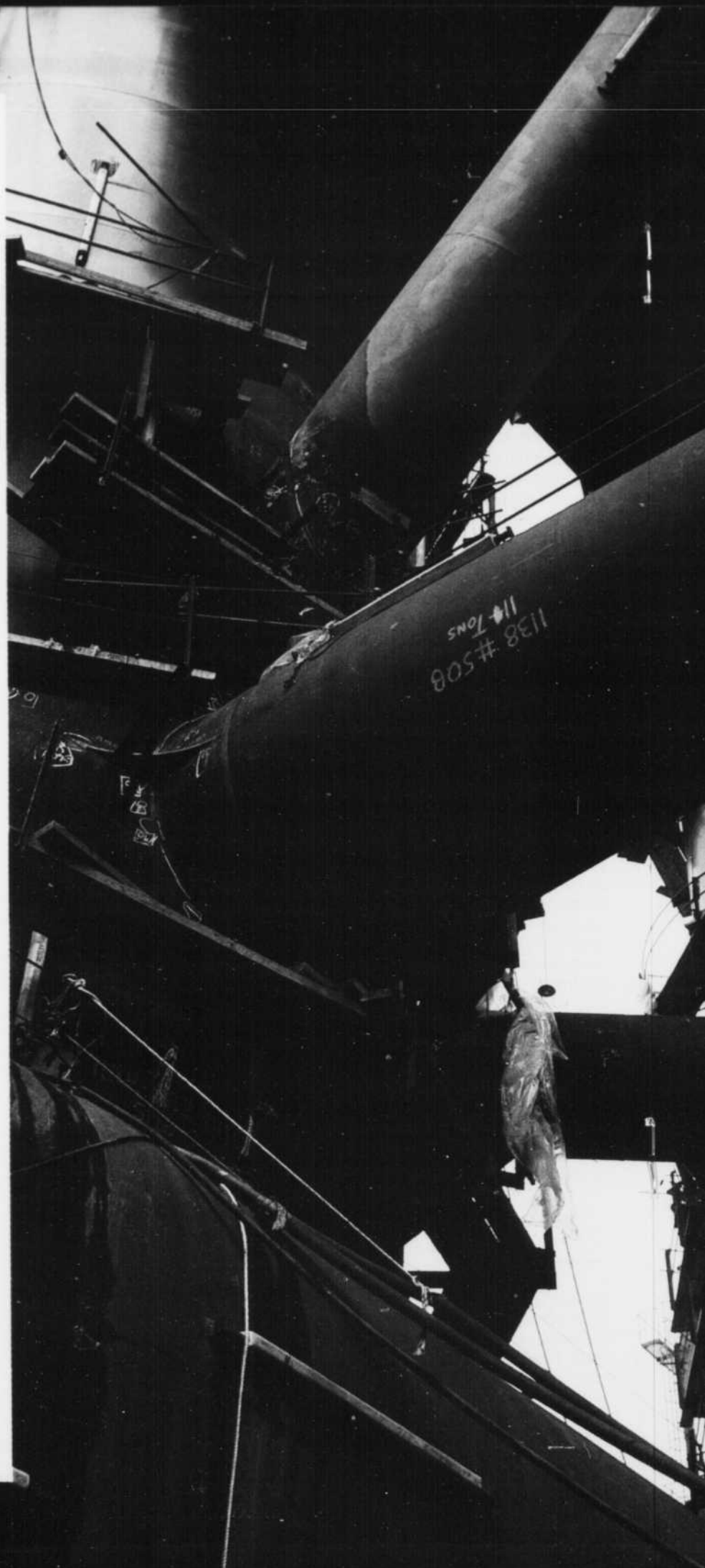
Notre vaste expérience dans le domaine des caissons de forage et autres structures maritimes nous permet de répondre sans difficulté aux standards les plus élevés. Grâce à la collaboration que nous avons apportée au chantier de construction navale, nos livraisons ont pu accommoder un plan d'exécution à courte échéance.

Le "Bow Drill 3" est un caisson de forage robuste de classe internationale. Chez Algoma, nous aimons relever le défi que lancent certains problèmes.

ALGOMA STEEL

Aciers Algoma Limitée
Sault Ste Marie, Ontario P6A 5P2

Pour plus de renseignements concernant les utilisations en haute-mer de plaques d'acier Algoma, téléphonez à nos ingénieurs responsables du Développement des marchés (416 865-0081).





YVON DAGENAIS & 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



QUÉFORMAT LTÉE

591 LE BRETON
LONGUEUIL, P.Q.
J4G 1R9
674-4901

FORAGES
ÉTUDES GÉOTECHNIQUES
CONTRÔLE DES MATÉRIAUX



Lalonde
Girouard
Letendre
& Associés Ltée

1400 rue Sauvé O., suite 214
Montréal, Québec
Canada H4N 1C5
Tél. (514) 337-1030
Télex 05-825571

**Ingénierie,
études techniques
et gérance de projets**



**GÉOPHYSIQUE G.P.R.
INTERNATIONAL INC.**

- Recherche d'eau souterraine
- Localisation des sources polluantes
- Évaluation des sites et des fondations
- Levés sismiques et électriques
- Contrôle des dynamitages

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

Application des fonctions splinaires cubiques au lissage de données expérimentales

Denis Laurendeau

Les fonctions splinaires cubiques, lorsqu'elles sont soumises à des conditions de continuité et de minimum adéquates, se révèlent des fonctions de lissage très efficaces pour la représentation graphique de données expérimentales. De plus, elles éliminent les problèmes d'oscillation propres aux polynômes d'interpolation classiques. La simplicité des fonctions splinaires permet leur emploi avec des systèmes de micro-ordinateurs courants.

Introduction

La plupart des résultats d'expériences scientifiques sont représentés à l'aide de graphiques ou de courbes. L'exemple le plus simple est l'illustration de la variation d'une quantité physique par rapport à une autre. Souvent, les deux variables sont des quantités mesurées expérimentalement et sont entachées d'erreur. Si l'erreur est systématique et que le processus mesuré est bien connu, un algorithme de correction peut éliminer complètement le biais des mesures. Si l'erreur est aléatoire, la correction peut se faire de deux façons : par lissage des données à l'aide de fonctions mathématiques ou par modélisation statistique du bruit. Pour le scientifique ou l'ingénieur non spécialisé en traitement du signal, mais soucieux de présenter clairement l'allure de ses résultats expérimentaux, par exemple dans des publications, le lissage des données est la méthode la plus pratique.

Les fonctions polynômiales classiques, comme les polynômes de Legendre ou de Hermite, sont très utilisées en lissage et en interpolation de données à

cause de leurs propriétés mathématiques simples. Ces fonctions ont malheureusement une forte tendance à osciller lorsqu'elles sont adaptées aux données, surtout si le nombre de points est important⁽¹⁾. Lorsqu'on cherche une approximation par moindres carrés et que les oscillations des polynômes sont tolérables, ce type de fonctions peut être satisfaisant. Cependant, pour des applications purement graphiques, les oscillations sont inacceptables. Une fonction de lissage-interpolation devrait normalement avoir l'allure d'un tracé à main levée au travers des données. Les fonctions splinaires que nous allons présenter allient la simplicité des fonctions polynômiales à la régularité des courbes tracées avec un pistolet. Dans les sections qui suivent, nous décrirons d'abord les fonctions splinaires d'interpolation, puis nous présenterons les splinaires de lissage.

Les fonctions splinaires d'interpolation

La théorie des fonctions splinaires, qui connaît des développements importants depuis le début des années 1960, s'inspire de la théorie des poutres élastiques⁽²⁾.

Supposons que la poutre élastique au repos de la figure 1a soit soumise au moment de flexion M à chacune de ses extrémités. L'effet de M déformera la poutre, et son axe central prendra l'allure de $S(x)$ (figure 1b). $S(x)$ épousera la forme qui minimisera l'énergie potentielle emmagasinée dans la poutre. Comme le moment fléchissant $M(x)$ le long de l'axe de la poutre est proportionnel à la dérivée seconde de $S(x)$ ⁽³⁾, on peut dire que la fonction $S(x)$ sera la courbe qui minimisera une intégrale de sa dérivée seconde. On sait, même intuitivement, que $S(x)$ sera une courbe régulière et continue. En effet, qui n'a pas déjà plié un bout de bois et constaté l'allure uniforme qu'il adoptait sous l'effort.

Voyons maintenant comment les splinaires exploitent les propriétés des poutres élastiques. Soit un ensemble de $n + 1$ points (x_j, y_j) , où $0 < j < n$, tels qu'à chaque abscisse x_j corresponde une ordonnée y_j ; alors la splinaire cubique $S(x)$ passant par ces points est une fonction définie par branches, chaque branche $S_j(x)$ étant un polynôme du troisième degré satisfaisant à des conditions de continuité aux extrémités x_{j-1} et x_j , et minimisant l'intégrale⁽²⁾.

$$I = \int_{x_0}^{x_n} [S''(x)]^2 dx$$

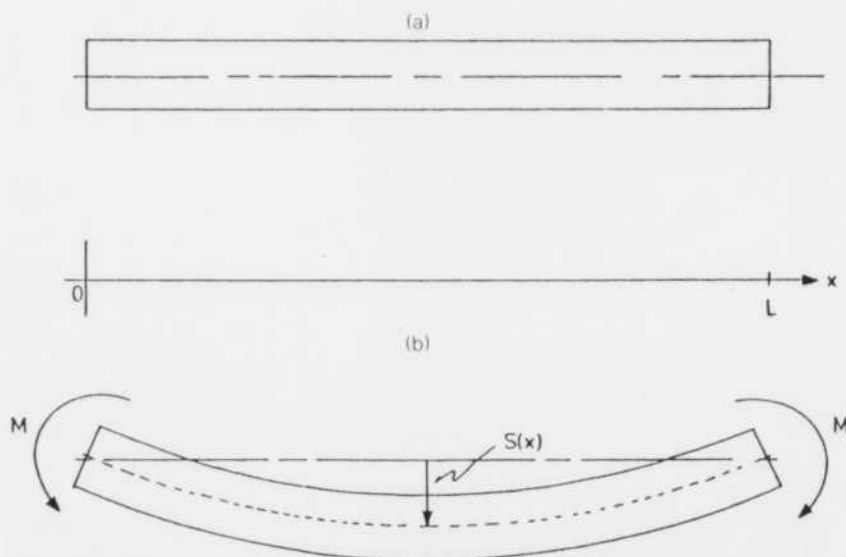


Figure 1 Poutre élastique : a) au repos ; b) soumise au moment M à chacune de ses extrémités.

M. Denis Laurendeau prépare un doctorat en génie électrique au Laboratoire de bionique et instrumentation de l'Université Laval, sous la direction du Dr Denis Poussart. Il détient une maîtrise, également en génie électrique, et un baccalauréat en génie physique du même établissement. Ses domaines d'intérêt sont la vision électronique, la robotique et l'application des micro-ordinateurs à l'instrumentation biomédicale.

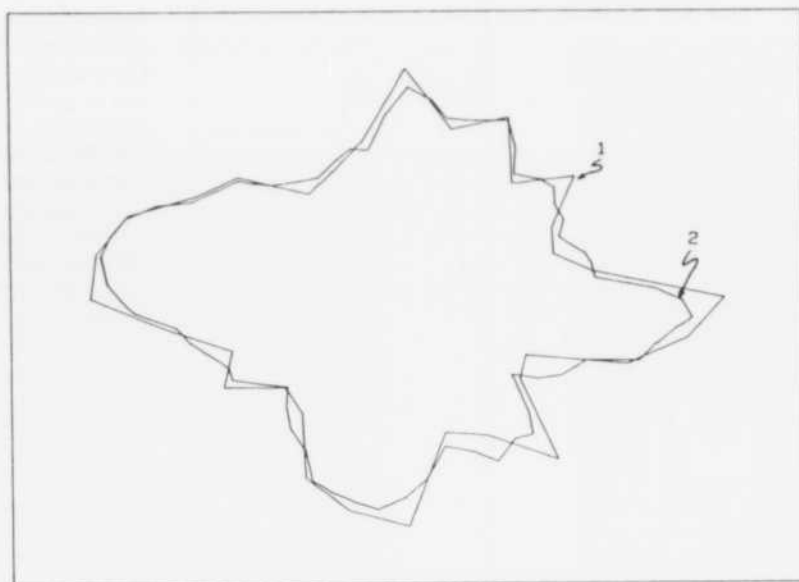


Figure 2 Splinaire périodique. 1: données brutes; 2: données lissées ($\lambda = 500, 1$ passe).

Chaque segment est donc assimilé à une poutre élastique soumise à ses extrémités à des moments inconnus M_{j-1} et M_j . Les poutres se rejoignent aux points x_j . La dérivée seconde de $S_j(x)$, proportionnelle à x , est une combinaison linéaire des moments inconnus appliqués à ses extrémités. Un segment s'identifie par son abscisse la plus grande, le segment 1 étant celui compris entre x_0 et x_1 , et le segment n , celui compris entre x_{n-1} et x_n . Il est important de noter que nous ne traitons ici que le cas des segments équinormaux, c'est-à-dire les segments à abscisses équidistantes de pas h , où h est égal à $s_j - x_{j-1}$. On obtient l'équation de la splinaire sur chaque segment en intégrant $S_j''(x)$ deux fois par rapport à x . On calcule les deux constantes d'intégration en imposant la continuité de la fonction à chaque point (x_j, y_j) (c.-à-d. $S_j(x_{j-1}) = y_{j-1}$ et $S_j(x_j) = y_j$) et les moments M_0 et M_n , en imposant la continuité de la première dérivée de $S(x)$ entre segments adjacents aux points de données. La condition de minimum et la condition de continuité nous assurent que les segments seront réguliers et sans discontinuité à leurs points de jonction. La splinaire obtenue est une courbe d'interpolation, car elle passe par les points de données.

L'équation de la splinaire est un résultat bien connu. Les

lecteurs intéressés aux détails mathématiques pourront retrouver les développements conduisant à cette équation dans l'article de Liou Ming-Lai cité dans les références⁽⁴⁾. Ce type de splinaire est d'ailleurs très employé dans la génération de lignes ou de surfaces en graphisme assisté par ordinateur et dans les systèmes de CAO et de FAO⁽⁵⁾. Si les abscisses sont certaines mais que les ordonnées ont entachées d'erreur, la splinaire d'interpolation n'aura cependant que peut d'intérêt, car elle reproduira les données bruitées sans corriger

l'allure générale de la courbe. Il faudrait pouvoir combiner la « douceur » intrinsèque de la splinaire d'interpolation avec le lissage des solutions par moindres carrés. Cela est possible si on modifie les conditions de bouts de la splinaire d'interpolation lors du calcul des constantes d'intégration.

Les fonctions splinaires cubiques de lissage

Les splinaires cubiques de lissage se distinguent des splinaires d'interpolation par la façon de calculer les constantes d'intégration. Au lieu de forcer la splinaire à passer par les points de données, on lui impose plutôt une condition de moindres carrés, comme dans le cas des approximations polynômiales, mais en ajoutant un facteur de contrôle du degré de lissage, que nous identifions par le symbole λ .

La dérivée seconde de $S(x)$ doit encore être minimale, comme dans les cas de la splinaire d'interpolation, mais $S(x)$ doit aussi satisfaire à une condition « d'erreur quadratique » entre la splinaire et les données expérimentales. Cette condition est évidemment reliée au paramètre λ . Le lecteur trouvera une description détaillée des calculs

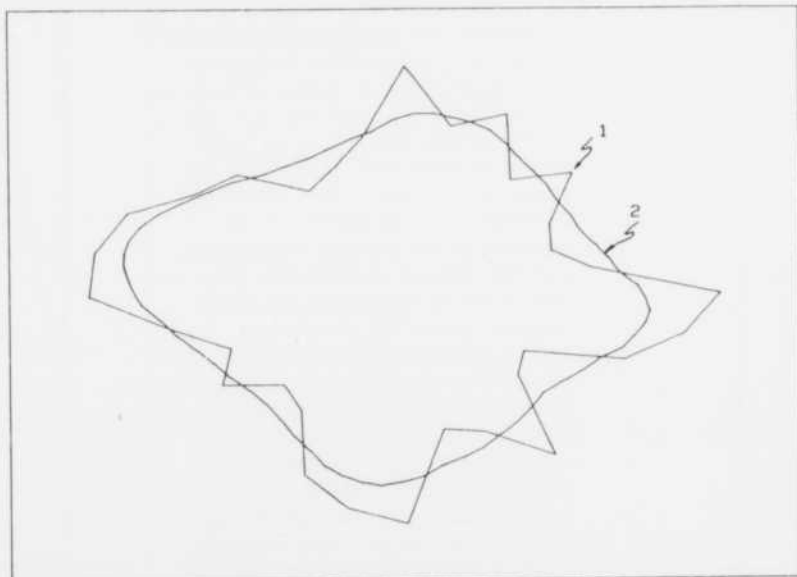


Figure 3 Splinaire périodique. 1: données brutes; 2: données lissées ($\lambda = 50, 1$ passe).

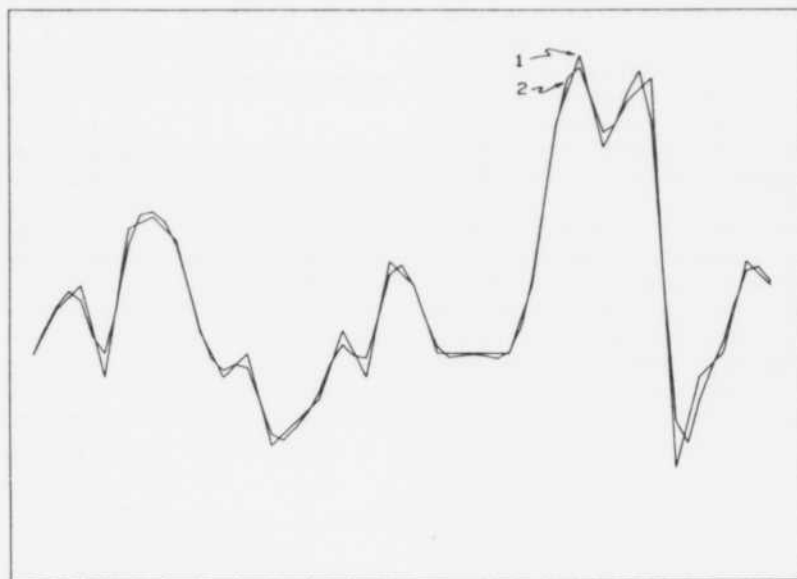


Figure 4. Splinaire non périodique. 1 : données brutes ; 2 : données lissées ($\lambda = 100$, 1 passe).

dans notre thèse de maîtrise citée dans les références⁽⁶⁾. Mentionnons simplement un résultat intéressant : la valeur de la splinaire de lissage $S(x)$ sur un segment $(x_{i-1} < x < x_i)$ dépend des moments des deux segments précédents, du segment actuel et du segment suivant, comparée à la splinaire d'interpolation, qui ne dépend que des moments des segments précédent et actuel.

Calcul des moments

On obtient le calcul des moments en solutionnant un système d'équations linéaires. Une représentation matricielle de ce système d'équations met en évidence des propriétés de symétrie intéressantes. Deux cas se présentent : celui des courbes fermées, où les points x_0 et x_n coïncident (on dit que la splinaire est périodique) et celui des courbes ouvertes (splinaire non périodique). Dans les deux cas, on trouve les moments en inversant la matrice des coefficients, qui ne dépend que des données, du pas de la splinaire h et du paramètre de lissage λ choisi. Les propriétés de symétrie font que les matrices sont faciles à inverser par un algorithme récursif. Encore ici, le lecteur trouvera le détail des calculs dans notre thèse de maîtrise⁽⁶⁾.

Exemples d'applications des splinaires de lissage

Les figures 2 et 3 montrent une application de la splinaire de lissage sur une courbe fermée bruitée de 32 points, lissée avec différentes valeurs du paramètre λ . Si on dispose d'un micro-ordinateur doté d'un système graphique, on peut ajuster la valeur de λ optimale. On pourrait évidemment calculer automatiquement cette valeur, mais nous n'avons pas réalisé le programme permettant de le faire. On remarque que la courbe lissée de la

figure 3 donne l'impression d'avoir été tracée à main-levée. On constate aussi, en comparant les figures 2 et 3, que plus la valeur de λ augmente, plus la courbe lissée se rapproche des données brutes.

La figure 4 montre une courbe ouverte très bruitée, lissée avec une splinaire non périodique de paramètre $\lambda = 100$. Si le degré de lissage n'est pas suffisant, il est possible d'exécuter plusieurs passes. On traite de nouveau le résultat d'un lissage en gardant la même valeur de λ à chaque passe pour éviter d'avoir à recalculer les moments de la splinaire, ce qui nous obligerait à inverser une nouvelle matrice. Un lissage multipasses pour une courbe ouverte est illustré à la figure 5. Contrairement aux polynômes classiques, le comportement de la splinaire ne dépend pas du nombre de points à lisser. Seules des valeurs très faibles du paramètre λ peuvent causer des problèmes. Bien entendu, plus il y a de points à traiter, plus le temps de calcul est important.

Les programmes d'inversion de matrices et de calcul de la splinaire de lissage ont été réalisés en langage PASCAL, à l'aide d'un micro-ordinateur Z-80, avec unité arithmétique rapide AMD 9511. L'utilisation des splinaires de lissage ne requiert donc pas les services d'un ordi-

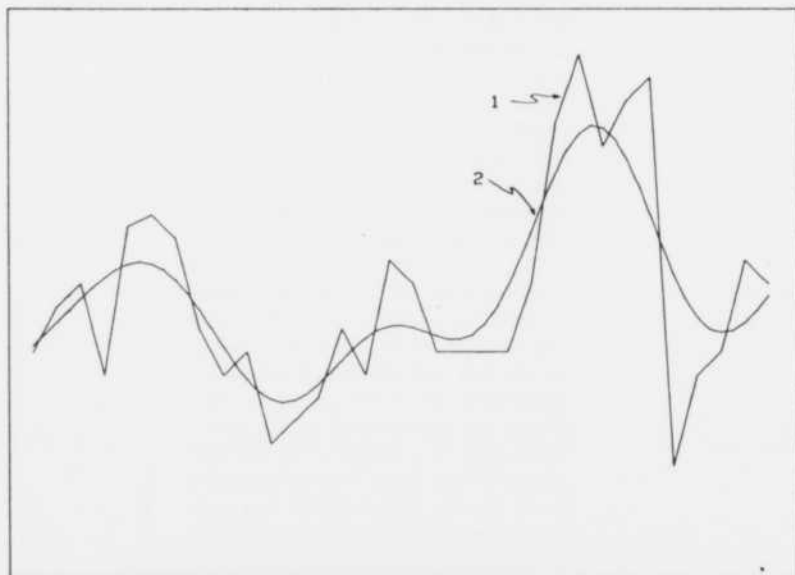


Figure 5 Splinaire non périodique. 1 : données brutes ; 2 : données lissées ($\lambda = 10$, 10 passes).

nateur puissant : un micro-ordinateur fait très bien l'affaire.

Conclusion

Les fonctions splinaires de lissage, à cause de leur comportement fiable, présentent des avantages certains sur les polynômes classiques lorsqu'il faut lisser des données entachées d'erreur. Ces fonctions permettent aussi d'ajuster le niveau de lissage désiré. Le calcul des coefficients de la splinaire peut être exécuté facilement avec des micro-ordinateurs conventionnels. L'espace mémoire requis pour effectuer ces calculs est cependant important lorsque le nombre de points à lisser n est grand : il faut, dans ce cas, stocker et inverser des matrices de grandes dimensions ($n \times n$).

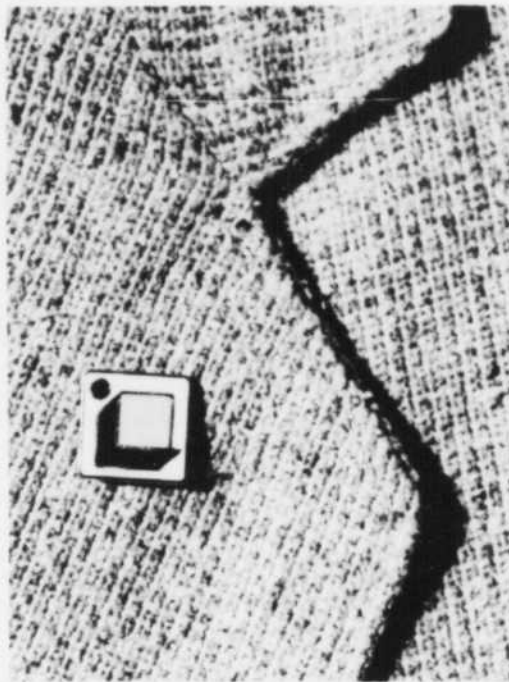
Le domaine d'application des fonctions splinaires de lissage a été étendu aux problèmes à deux dimensions (splinaires bicubiques) comme le traitement des levés topographiques ou des mesures fournies par des appareils d'inspection automatique de surfaces.

l'ingénieur

Références

1. GILOI, W. *Interactive Computer Graphics*, Prentice-Hall, 1978, 354 p.
2. AHLBERT, J. A. et al. *The Theory of Splines and their Applications*, New York, Academic Press, 1967, 284 p.
3. NASH, W. A. *Theory and Problems of Strength of Materials*, New York, McGraw-Hill, coll. Schaum, 1972, 396 p.
4. MING-LEI, Liou. « Spline Fit Made Easy », *IEEE Transactions on Computers*, vol. C-25, n° 5, (mai 1976), p. 522-527.
5. NEWMAN, W. M., and R. F. SPROULL. *Principles of Interactive Computer Graphics*, New York, McGraw-Hill, 1979, 541 p.
6. LAURENDEAU, D. *Acquisition automatique et traitement mathématique de formes anatomiques*, thèse de maîtrise déposée à l'Université Laval, Québec, déc. 1982.

Arborez-le avec fierté



Si le génie est votre profession, faites-vous un honneur de porter l'insigne de l'Ordre des ingénieurs du Québec, créé spécialement pour vous, ingénieurs, par un de vos confrères.

C'est en effet l'ingénieur Jacques Hains qui a conçu le logo de l'OIQ.

L'auteur explique en ces termes son oeuvre: «J'ai voulu donner à l'Ordre une nouvelle identité de forme simple et esthétique. Le carré représente l'Ordre. Les ingénieurs lui donnent sa dimension et en constituent la base. Le regroupement des deux forme le Québec. Le point sur le i, c'est le génie innovateur qui se dégage de l'ensemble.»

Reproduit sur émail blanc crème, le logo est brun foncé et les bordures sont de couleur or. On peut se le procurer en remplissant le coupon qui apparaît ci-dessous.

Je désire recevoir _____ insigne(s) représentant le logo de l'OIQ, au prix unitaire de 3\$.

Nom:

No de membre:

Adresse:

Ville: Code postal:

Ci-inclus un cheque de _____ \$ (frais d'expédition inclus) au nom de l'Ordre des ingénieurs du Québec.

Postez ce coupon à

Insigne
Ordre des ingénieurs du Québec
2020 rue University, 14e étage
Montréal (Québec) H3A 2A5

L'énergie mécanique et thermique de la mer

Philippe Marchand, ing.

L'océan représente un potentiel d'énergie renouvelable considérable, encore très peu exploité. Seules certaines formes d'énergie des mers sont actuellement exploitables : l'énergie marémotrice, l'énergie de la houle et l'énergie thermique. Des recherches en cours portent sur la façon d'utiliser la différence de pression qui existe entre l'eau douce et l'eau salée (pression osmotique), à l'aide d'une membrane semi-perméable. Si les énergies marines demandent certaines conditions d'exploitation (en particulier, il existe une contrainte de site pour les usines marémotrices), leur potentiel énorme est suffisant pour faire les choix économiques décisifs et réaliser les équipements techniques nécessaires.

Cet article a été publié dans le n° du 4^e trim. 1983 de Total Informations, bulletin interne de la société française Total. Il nous a été fourni par le Centre français de promotion des coopérations technologiques et industrielles, situé Place Bonaventure, à Montréal.

Introduction

L'océan présente un potentiel d'énergie renouvelable considérable, multiforme et encore très peu exploité. Ces quelques lignes se proposent de survoler ces étendues encore vierges et d'y repérer les grandes lignes

M. Philippe Marchand (36 ans) est physicien et ingénieur en génie océanique. Après avoir rempli les fonctions d'ingénieur portuaire au Gabon, il est entré, en 1975, au Centre national de l'exploitation des océans (CNEXO). Il y a effectué des études d'impact des centrales nucléaires sur le littoral français, puis il s'y est occupé de technologie marine.

Depuis 1978, il est responsable du programme « Énergie des mers » au CNEXO. De plus, il s'occupe du développement de technologies navales innovantes depuis 1982. Il est également expert auprès de la Communauté économique européenne (CEE) en ce qui concerne les questions d'énergie marine.

directrices pour les 20 ou 30 ans à venir. Le tableau ci-dessous situe les ordres de grandeur. L'état de nos connaissances et les perspectives de ces énergies nous limiteront à faire le point sur les seules formes d'énergie des mers actuellement exploitables : l'énergie marémotrice, l'énergie de la houle et l'énergie thermique des mers. En effet, l'exploitation de l'énergie des gradients de salinité pour attirante qu'elle apparaisse n'en est encore qu'au stade du laboratoire : l'idée est d'exploiter la différence de pression qui existe entre l'eau douce et l'eau de mer (pression osmotique) à l'aide d'une hypothétique membrane semi-perméable, hypothétique aujourd'hui mais peut-être pas demain. Quant à l'énergie des courants, son potentiel est faible et très dispersé et sa densité réduite ; les estimations actuelles en font une énergie techniquement envisageable dans certains cas et à un prix très élevé.

Énergie marémotrice

Le « moteur » de cette forme d'énergie est la marée, ce mouvement périodique qui affecte le niveau général des mers et des océans et dont la manifestation la plus fréquente est une oscillation d'amplitude très variable (0,3 à 15 mètres sur les côtes françaises) et de périodes d'environ une demi-journée ou une journée. Le phénomène de la marée a toujours intrigué les esprits curieux, mais il a fallu attendre Poincaré pour en donner une explication théorique complète à la suite de Newton et de

Laplace. Notons toutefois que la solution de ce problème ne peut être explicitée que dans quelques cas particuliers. Les deux facteurs intervenant dans la génération de la marée sont :

- l'attraction conjointe de la lune et du soleil (l'action de la lune étant 2 à 3 fois plus forte que celle du soleil), qui explique le caractère éminemment périodique de la marée : périodes semi-diurnes, diurnes, mensuelles, annuelles... ;
- la forme de chaque bassin océanique qui joue le rôle de filtre sélectif : c'est ainsi que certains océans ou mers résonnent sur la période semi-diurne (Atlantique), d'autres sur la période diurne (Pacifique, Méditerranée). L'amplitude du marnage (différence locale entre haute et basse mer) dépend aussi du degré de résonance du bassin, car les forces génératrices des marées sont incapables de soulever la mer sur plusieurs mètres.

Si le phénomène de la marée affecte l'océan mondial, on admet cependant qu'un site marémoteur ne devient exploitable que si le marnage atteint au moins 5 mètres et que si le site peut être aménagé sans bouleversement écologique. Il y a ainsi une vingtaine de sites marémoteurs dans le monde, ce qui correspondrait à un potentiel de 100 ou 150 milliards de kilowatts-heures par an d'énergie effectivement récupérable, soit un peu plus que la moitié de la consommation française d'électricité. Mais la France, avec le golfe normano-breton, dispose de l'un

Puissance de houles de 3 à 11s (cambrure 4%)

Période (s)	Longueur d'onde (m)	Hauteur (m)	Puissance (kW/m)
3	14	0,56	0,9
5	39	1,56	12
7	76	3,06	63
9	126	5,06	221
11	189	7,56	603

des meilleurs sites du monde qui pourrait produire 34 milliards de kilowatts-heures par an, donc 15% de ses besoins en électricité (Projet Caquot 1971).

Au plan technique, il existe plusieurs *schémas de fonctionnement* possibles, de complexité croissante. Le cycle à un seul bassin et simple effet au vidage, qui consiste à remplir le bassin à marée montante et à turbiner avec un certain retard sur la marée descendante, est le plus simple, mais sa production est discontinue. On peut l'améliorer en utilisant le double effet qui consiste à superposer 2 cycles à simple effet, au vidage et au remplissage du bassin. Nous pouvons encore le compliquer en faisant fonctionner les turbines en pompe dans un but de souplesse de production ou de profit économique. C'est ainsi que fonctionne l'usine de La Rance. On peut aussi imaginer des usines à 2 bassins entre lesquels on maintient une différence de niveau, ce type d'aménagement permettant d'obtenir une production minimum garantie.

L'usine de La Rance est la seule centrale marémotrice de grande taille en fonctionnement dans le monde : d'une puissance de 240 mégawatts (1 mégawatt = 1 million de watts), elle produit 500 millions de kilowatts-heures par an. Elle fonctionne depuis 15 ans dans des conditions techniques et économiques satisfaisantes. La surface du bassin est de 16 kilomètres carrés pour une longueur de digue de 750 mètres. Si l'on construisait aujourd'hui cette usine, on estime qu'elle coûterait 1,45 milliard de francs (1980), soit 6 000 francs par kilowatt ou encore 32 centimes le kilowatt-heure. Ce prix de revient est du même ordre que celui d'une centrale au charbon, mais nettement plus élevé que celui d'une basse chute normale. Cela provient du fait que le temps de fonctionnement de l'usine à un bassin est limité à 2 000 heures par an. L'usine de La Rance a donné naissance à une technologie nouvelle de centrales hydro-électriques de basse chute qui a connu et connaît encore un large essor en France et à l'étranger : plus d'une centaine de groupes

de bulbes de grande taille sont en service. La technologie des groupes bulbes a progressé (matériaux et matériels électromécaniques) et permet d'envisager aujourd'hui des groupes de puissance unitaire plus élevée. Par ailleurs, la maîtrise des travaux à la mer, du fait du développement des grands travaux portuaires, de l'*offshore* pétrolier, a elle aussi considérablement progressé, permettant d'envisager de nouvelles méthodes de construction de digues qui constituent le barrage en utilisant par exemple le concept de caisson préfabriqué flotté et coulé sur site.

En France, EDF* a repris récemment l'étude de l'utilisation de l'énergie des marées dans le golfe normano-breton, faisant suite aux nombreux projets étudiés par le grand ingénieur Caquot. Les avant-projets s'orientent vers un aménagement progressif composé de plusieurs bassins répartis sur les côtes de la Bretagne et du Cotentin. Une première esquisse à l'étude porte sur une usine à 2 bassins qui serait implantée au nord de Granville sur une portion de côte de 18 kilomètres. La puissance installée serait de 1 600 mégawatts avec une production de l'ordre de 5,5 milliards de kilowatts-heures. La complexité d'un tel aménagement est grande car les paramètres qui interviennent sont nombreux et variés : conditions techniques et économiques de réalisation et d'exploitation, incidences sur l'environnement, conséquences au plan socio-économique. Quel que soit l'aboutissement final de ces nouvelles études, le gisement marémoteur français, de par son importance et son caractère renouvelable, mérite un très sérieux effort d'évaluation.

Énergie de la houle

Exploiter l'énergie de la houle est un rêve ancien qui, pour la France, date d'au moins un siècle : que d'énergie mentale dépensée, que d'inventions souvent farfelues (1 000 brevets) ! Toujours est-il qu'elle est aujourd'hui

d'aujourd'hui étudiée avec beaucoup de sérieux et des moyens non négligeables. Il y a là un défi : comment récupérer cette énergie très variable qui oscille entre zéro par « calme plat » et une puissance considérable par temps de tempête : il n'est que de voir le nombre d'ouvrages côtiers qu'il faut chaque année reconstruire.

Qu'est-ce que la houle ? Lorsque le vent souffle sur une étendue marine, il se forme une couche turbulente dans l'air au-dessus de la surface. Ces différences de pression, dans le temps et dans l'espace, engendrent une rugosité superficielle qu'on appelle « la mer du vent », constituée d'un « chaos » de vagues de hauteurs et de périodes très différentes. Ces perturbations vont se propager, les vagues les plus longues allant plus vite, les plus courtes s'amortissant progressivement ; il va donc s'opérer une sélection des vagues les plus longues à mesure qu'on s'éloigne de la « mer du vent » : à 1 000 kilomètres, il ne reste plus qu'une houle régulière, c'est par exemple la grande houle du large qu'on observe le long des côtes des Landes, même en l'absence de vent. En résumé, on peut dire que la houle est la trace d'une tempête ayant soufflé sur une zone génératrice (la mer du vent) qui peut être très éloignée. La « puissance » d'une vague est proportionnelle à sa période et au carré de son amplitude. Le tableau de la p. 20 en montre la grande variabilité, pour 1 mètre de front de vague.

La puissance des vagues dissipées à la côte est en moyenne de l'ordre de 10 kilowatts par mètre. Pour la France, en Atlantique, elle serait de l'ordre de 15 à 20 kilowatts par mètre. Des pays comme l'Irlande, l'Écosse, la Norvège, avec souvent des puissances de 40 kilowatts par mètre sont particulièrement favorisés.

Il faut noter que le potentiel houlomoteur français semble difficile à exploiter du fait du marnage qui empêche la plupart des systèmes fixes installés à la côte de fonctionner dans de bonnes conditions et de la grande varia-

*Électricité de France. N.D.L.R.

bilité dans le temps de cette énergie en zone tempérée. Il serait par contre plus aisé de récupérer cette énergie dans certains territoires d'outre-mer où la houle est régulière. Pour fixer les idées, il faudrait installer sur la façade atlantique environ 300 kilomètres de dispositifs pour récupérer en moyenne l'équivalent de la puissance d'une tranche nucléaire (900 mégawatts).

Au plan technique, de très nombreux dispositifs (que nous baptiserons houlomotrices) ont été imaginés pour récupérer cette énergie de la houle. Pour donner une idée de la fertilité des inventeurs dans ce domaine de la récupération de l'énergie de la houle, nous noterons qu'à la suite d'un concours national d'idées, organisé en 1981 conjointement par le CNEXO et l'ANVAR*, environ 200 propositions ont été reçues, ce qui a d'ailleurs rendu le travail du jury bien difficile !

Un bref survol des recherches en cours dans le monde donne une idée des houlomotrices qui sont actuellement à l'étude. La Grande-Bretagne, la Norvège, le Japon ont fait ces dernières années un gros effort de recherche technique sur les différents dispositifs. Où en est-on aujourd'hui ? Sur la dizaine de systèmes étudiés par les Anglais, il n'en reste que 3 (un système de barrage creux à compression d'air par colonne d'eau oscillante ; les cylindres d'Evans qui suivent les orbitales de houle ; les sacs flexibles qui compriment de l'air au passage des vagues). Les dispositifs en vedette il y a 3 ans (canards de Salter ou radeaux articulés de Cockerell) ont été abandonnés après des essais coûteux en mer. Même morosité au Japon et en Norvège : capter l'énergie des vagues pose des problèmes technologiques difficiles.

Ceci se traduit par un coût de l'énergie produite qu'il semble peu probable, même dans un contexte climatique favorable, d'abaisser nettement en dessous de 1 franc par kilowatt-heure.

Nous pensons en France que 2 voies de recherche au moins méritent d'être étudiées :

- Le flotteur à immersion variable : il s'agit d'un flotteur cylindrique à axe vertical (sorte de camembert) amarré par des câbles tendus verticalement, utilisant les mouvements de pilonnement et de tangage pour récupérer l'énergie, l'ensemble du système de conversion (hydraulique et électrique) étant situé à l'intérieur du corps lui-même. La profondeur d'immersion est variable et fonction de l'état de la mer, ce qui permet d'échapper aux vagues de surface les plus destructives. On adapte par ailleurs la raideur des ancres automatiquement en fonction des spectres de houle mesurés, ce qui permet d'optimiser la puissance de sortie. Un tel dispositif pourrait fonctionner sous nos latitudes.
- Le système à déferlement est en revanche adapté aux sites isolés (pour lesquels l'énergie est chère) où la houle est régulière (songeons aux alizés). L'idée, simple, ayant d'ailleurs fait l'objet d'expérimentations anciennes en bassin, mais qu'il faut reprendre et réactualiser aujourd'hui, consiste à faire déferler la houle sur un plan incliné pour remplir un réservoir haut de 2 à 3 mètres qui se vide en actionnant une petite turbine. De tels « déversoirs à houle » peuvent être installés, par exemple, sur des récifs coralliens et sont suffisamment rustiques pour fonctionner en site isolé. Ils peuvent aussi servir à alimenter en eau des bassins d'aquaculture.

En résumé, nous voyons que l'énergie de la houle en est encore au stade de la recherche, que d'ores et déjà cette forme d'énergie pourrait recevoir des applications en sites isolés de type alizéen. L'objectif grandiose d'une production massive d'énergie à partir de la houle semble, par contre, encore lointain dans nos pays développés de la zone tempérée.

Énergie thermique des mers (ETM)

Dans la zone intertropicale, les écarts de température entre les eaux chaudes de surface et les eaux froides profondes (1 000 mètres) atteignent une vingtaine de degrés C. Conformément au second principe de la thermodynamique, il est donc possible de faire fonctionner une machine thermique entre la source chaude, la surface de l'océan, et la source froide en profondeur. C'est la définition d'une usine ETM.

Le physicien français Arsène d'Arsonval fut le premier en 1881, à proposer cette idée. Son élève et disciple Georges Claude expérimenta de 1925 à 1940, avec ses propres deniers et l'enthousiasme que donnent les grandes idées. Quoi qu'il en soit, un siècle après, aucune centrale industrielle n'est encore en fonctionnement, mais cela ne saurait durer bien longtemps.

Remarquons d'abord que cette forme d'énergie intéresse un tiers de l'océan mondial, là où la différence de température fond-surface est supérieure à 18°C. La couche superficielle chaude (25 à 30°C) fonctionne comme un immense capteur stockeur d'énergie solaire et la couche profonde, en dessous de 600 mètres, comme un gigantesque accumulateur de froid (4°C), constamment alimenté par l'eau polaire formée plusieurs siècles auparavant, principalement en Antarctique. Il y a là une source d'énergie renouvelable considérable.

De quoi s'agit-il au juste ? La machine thermique est très simple : on peut utiliser le cycle fermé (CF) ou le cycle ouvert (CO). Dans le cycle fermé, l'eau de mer chaude cède sa chaleur au travers d'un échangeur à un fluide très volatil comme l'ammoniac, qui se vaporise, se détend dans une turbine en fournissant un travail moteur et se condense au contact de la paroi froide du condenseur alimenté en eau de mer froide. Dans le cycle ouvert, c'est l'eau de mer qui est le fluide moteur : on l'évapore sous vide (3/100 d'atmosphère), puis on la condense en la mélangeant à l'eau froide. Dès lors les

*Agence nationale pour la valorisation de la recherche. N.D.L.R.

problèmes se succèdent : faible écart de température, donc grand débit d'eau (2 à 4 mètres cubes/seconde pour produire 1 mégawatt), gros échangeurs en CF mais petite turbine, petits échangeurs en CO, mais grosse turbine. Par ailleurs, les tubes d'échangeurs en CF auront tendance à se salir (microbiosalissures) puisque l'eau de mer est riche en micro-organismes. En CO, le principal problème est lié au dégazage : une fraction d'air dissous dans l'eau de mer aura tendance à se libérer dans le vide de la centrale, il faudra la pomper en permanence, au prix d'une dépense en énergie. On peut imaginer d'installer ces usines ETM en mer ou à terre, les problèmes posés étant de nature très différente.

À terre

L'usine est implantée au rivage, et l'eau froide est pompée au moyen d'une conduite posée sur le fond. Il faut donc avoir des fonds de 1 000 mètres (où l'eau est à 4°C) à quelques kilomètres seulement du rivage pour limiter le coût du tuyau. Une usine de 10 ou 15 mégawatts nécessitera un tuyau de 5 mètres de diamètre et de 3 kilomètres de long pour une île océanique typique. Comment réaliser un tel tuyau ? Comment le poser ? Comment le retenir pendant les 20 ou 30 ans que doit durer la centrale ? Ce sont là des problèmes actuellement à l'étude. Des solutions sont proposées qui font souvent appel à des

matériaux nouveaux (composites ou plastique) et à des techniques de pose relativement originales et « légères » en comparaison des techniques utilisées dans l'industrie du pétrole en mer où les conduites doivent être capables de subir des pressions de fonctionnement très élevées à la différence de la conduite d'une usine ETM qui se contente de véhiculer lentement (1 mètre à la seconde) un grand débit d'eau (30 mètres cubes par seconde dans notre exemple) sous une pression de quelques mètres d'eau. Un autre problème délicat pour cette conduite se pose au niveau de l'atterrissage qui doit résister à l'assaut des vagues de tempête.

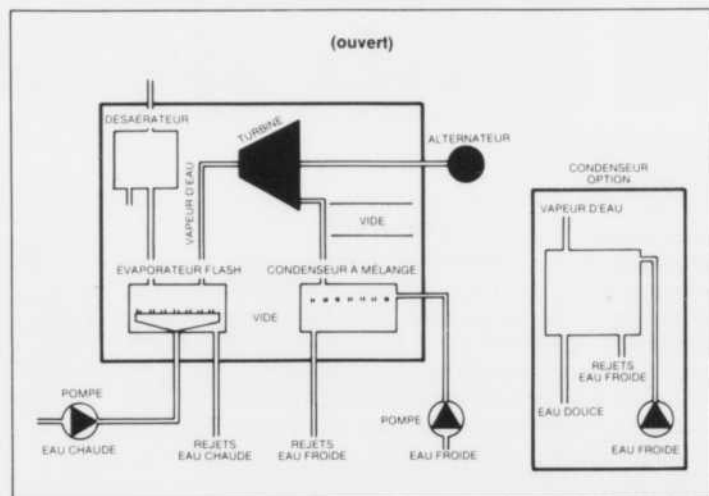
En mer

Une telle usine pose un problème au niveau du flotteur qui doit abriter l'usine, de l'ancrage par grande profondeur, du câble électrique (d'évacuation) et du tuyau d'eau froide qui, dans ce cas, est suspendu sous la barge. Le flotteur peut être un navire transformé si les conditions météo le permettent ou bien, une plate-forme semi-submersible dans les zones à cyclones, comme le golfe du Mexique. L'acquis technologique du pétrole marin aidera grandement à la solution de ces problèmes. On peut aussi envisager à plus long terme de ne pas ancrer le navire, de le laisser en haute mer et de transformer l'énergie produite en produit énergivore stockable (ammoniac, aluminium, hydro-

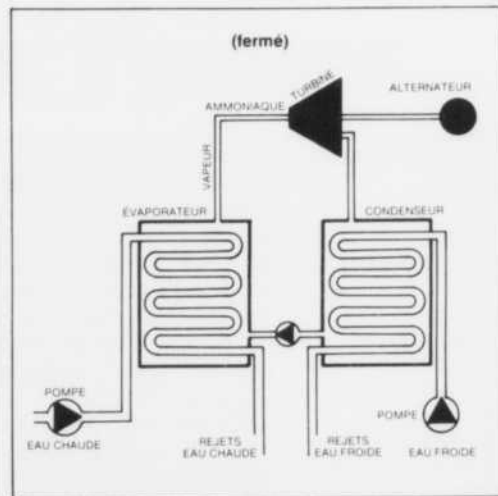
gène...); il deviendrait alors possible d'exploiter les meilleures régions du gisement ETM mondial.

Où en est-on aujourd'hui ? Les États-Unis, le Japon, et dans une moindre mesure la France, ont ouvert le dossier ces dernières années : les dépenses en recherche-développement ont été les suivantes : environ 800 millions de francs aux USA, 50 millions de francs au Japon, 8 millions de francs en France. Les programmes américains et japonais, orientés vers de grandes centrales (100 mégawatts) flottantes à CF ont permis de développer des échangeurs, d'expérimenter des tuyaux, de réaliser des expérimentations en grandeur : 50 kilowatts (1979) puis 1 mégawatt (1981) à Hawaï ; il s'agissait de centrales flottantes qui ressemblaient plus à des laboratoires d'essais ; 100 kilowatts pour les Japonais à Nauru (1981) et bientôt 2 mégawatts (1983) (centrale à terre).

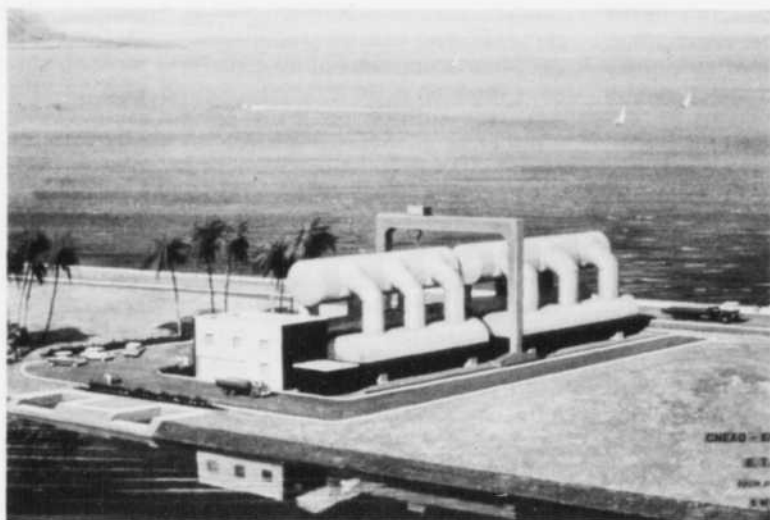
En France, une étude de faisabilité d'ensemble a été conduite de 1978 à 1980 sur des centrales de puissance modeste (1 à 15 mégawatts) mais qui constitueront certainement le premier marché de l'ETM dans les prochaines années. Après une pause de 2 ans, la décision vient d'être prise de continuer ces études qui pourraient conduire d'ici 1987 à la mise en fonctionnement d'une usine prototype à terre qui serait installée à Tahiti. Ce site a en effet été retenu comme étant le



Cycle ouvert — schéma de principe.



Cycle fermé — schéma de principe.



Maquette du prototype de la future centrale électrique utilisant l'énergie thermique des mers, qui doit être installée à Tahiti (vue d'artiste).

plus favorable pour une première expérimentation. L'étude de faisabilité conduite sous l'égide du CNEXO se résume comme suit :

- le groupe Empain-Schneider a étudié la faisabilité des centrales terrestres, à CF à l'ammoniac. Des solutions techniques ont été proposées au niveau d'une centrale de 12 à 15 mégawatts de puissance nette : tuyau en plastique armé franchissant le récif au moyen d'un tunnel, usine implantée sur le récif, échangeurs tubulaires en titane.
- Le groupe CGE-Alsthom-Atlantique a étudié plus particulièrement des centrales flottantes, à CO : flotteur — barge, tuyau en acier ou en béton allégé, turbine modulaire — intérêt de l'eau douce en CO (1 500 mètres cubes /jour pour produire 1 mégawatt).

Dans ces 2 études, la compétitivité de l'électricité ETM a été mise en évidence pour des puissances voisines de 10 mégawatts où le kilowatt-heure ressort à 60 centimes environ. Ce chiffre serait plutôt voisin de 1 franc aux environs de 3 mégawatts. Les études étrangères annoncent aussi cet effet d'échelle avec des chiffres voisins pour 10 mégawatts et divisés par 2 pour 100 mégawatts : 20 à 30 centimes le kilowatt-heure. Les perspectives

économiques de l'ETM sont donc bonnes. Une étude américaine fait état d'un marché important, d'environ 60 millions de kilowatts (900 milliards de francs) entre 1990 et 2010. Il convient de préparer l'avenir aujourd'hui, en réalisant des prototypes et des centrales de démonstration. Cela implique une constance dans les efforts de recherche et de développement. L'orientation du programme français, dans les années à venir, vers les puissances de 1 à 20 mégawatts, semble réaliste et correspondre au premier marché des îles de la ceinture intertropicale. Quand la viabilité technique et économique aura pu être prouvée, il sera alors possible de s'intéresser à des puissances beaucoup plus élevées pour d'autres marchés que celui de la fourniture d'électricité comme l'élaboration de produits énergivores (ammoniac, aluminium, hydrogène) en plein océan.

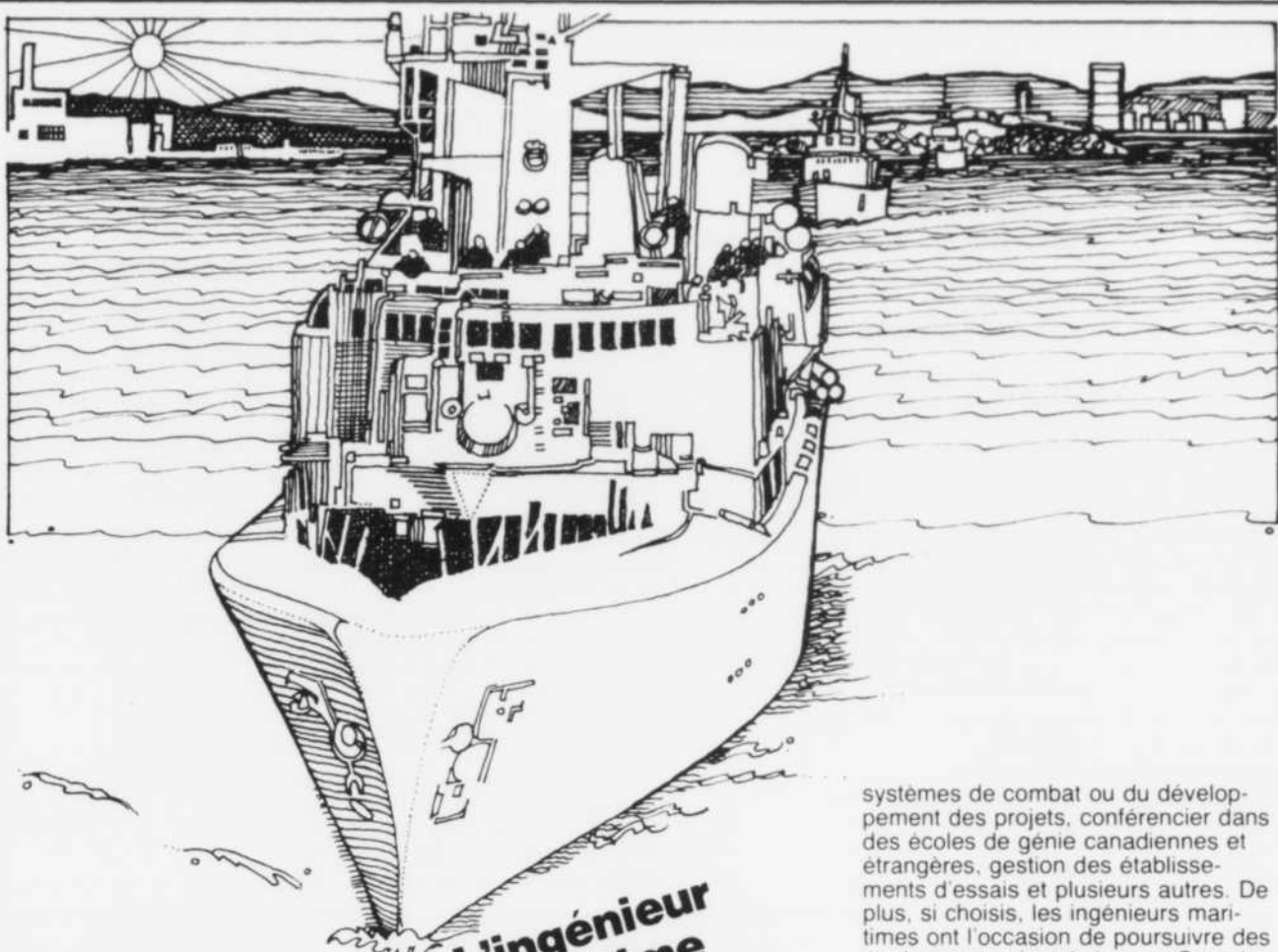
Un potentiel considérable

Les énergies marines renouvelables ont été jusqu'à présent peu étudiées et trop négligées : leur potentiel est pourtant considérable. Certes, il existe une certaine contrainte de site, en particulier, pour l'énergie marémotrice, mais cette contrainte existe pour toutes les énergies. L'énergie marémotrice

La centrale ci-contre est à cycle ouvert. Sa puissance est de 5 mégawatts. Elle se compose de deux modules :

- dans les 2 bidons supérieurs se trouve la turbine;
- dans les 4 bidons inférieurs sont placés les évaporateurs (2) et les condenseurs (2).

La conduite d'eau froide puise l'eau à 1000 m de profondeur et à 3 km des côtes.



Vous pouvez vous forger une carrière intéressante dans la marine canadienne. Les Forces canadiennes sont présentement à la recherche de diplômés en génie, en science et en technologie du génie.

Les ingénieurs maritimes travaillent au Canada et outre-mer, sur terre et sur mer. Ils relèvent les défis technologiques du présent et de l'avenir. Eventail d'emplois tels que: officier de génie à bord d'un navire officier des

L'ingénieur maritime des Forces canadiennes vogue sur les mers du monde.

systèmes de combat ou du développement des projets, conférencier dans des écoles de génie canadiennes et étrangères, gestion des établissements d'essais et plusieurs autres. De plus, si choisis, les ingénieurs maritimes ont l'occasion de poursuivre des études post universitaires au Canada ou à l'étranger.

Le génie maritime est une carrière intéressante et captivante qui relève les défis du génie moderne et vous offre l'occasion de voyager, tout en servant votre pays.

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**

**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 03-84

Des événements et des livres

Événements à venir

APCA-Québec 12^e Congrès annuel

Le 12^e Congrès annuel de l'Association pour la prévention de la contamination atmosphérique (APCA-Québec) aura lieu au Château Montebello, à Montebello, les 27, 28 et 29 mai 1984. *La lutte aux particules fines: derniers développements* sera le thème de ce congrès. Les aspects abordés seront: la réglementation, effets et mesure; le développement de techniques d'épuration spécifiques et l'étude de cas concrets.

Pour plus d'informations, on communiquera avec:

Monsieur Raynald Brulotte
Ingénieur
APCA-Québec
2360, chemin Sainte-Foy
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4H2
(418) 643-5559

Conseil canadien de la sécurité 16^e Congrès annuel

Le 16^e Congrès annuel de sécurité du Conseil canadien de la sécurité aura lieu aux hôtels Skyline et Delta, à Ottawa, en Ontario, les 24, 25, 26 et 27 juin 1984.

Dans la section de la sécurité publique, on traitera de la sécurité pour le consommateur dans la garantie des produits.

Dans la section de la sécurité au travail, on parlera de l'enseignement de la sécurité dans le système scolaire, des Commissions de la santé et de la sécurité au travail ainsi que du cancer en tant que maladie professionnelle.

Dans la section de la sécurité routière, on trouvera les thèmes suivants: Technique de la sécurité routière; Le conducteur âgé dans l'environnement de la circulation; Une

approche systématique au comportement du conducteur; L'industrie du camionnage et la sécurité des transports; Systèmes et réseaux des comités locaux de sécurité routière.

Une séance de recommandations sera de nouveau à l'ordre du jour. Pour de plus amples renseignements, on peut communiquer avec le:

Conseil canadien de la sécurité
1765, boul. Saint-Laurent
Ottawa (Ontario)
K1G 3V4
(613) 521-6881

Nouveautés

Béton de ciment

Denis Tremblay
Modulo éditeur, Montréal
274 p., 26,25 \$

Ce volume traite des différents aspects de la fabrication et de la mise en oeuvre du béton de ciment. On y fait d'abord l'histoire du développement des ciments et du béton, et une présentation des différentes facettes de ces industries. On y décrit ensuite le procédé de fabrication du ciment portland, puis les divers types de ciments et leurs utilisations. On y étudie également l'influence des autres constituants (eau, granulats fin et grossier) sur les propriétés du béton. On traite aussi des adjuvants à béton; un chapitre complet est consacré au béton à air entraîné. On accorde enfin une attention particulière au dosage des mélanges, c'est-à-dire au choix des proportions des constituants.

Dans une deuxième section, on examine les différentes étapes de la réalisation d'un béton. On y mentionne les précautions à prendre pour s'assurer de la qualité du produit fini. Ainsi, on décrit spécifiquement les problèmes rencontrés lors du bétonnage par temps chaud ou par temps froid. Après avoir passé en revue les différents défauts des ouvrages de béton, on voit les techniques d'entretien et de réparation. Un

chapitre entier porte sur les méthodes statistiques employées pour le contrôle de la qualité du béton.

Une dernière section est consacrée aux essais de laboratoire; elle se veut un résumé des principales méthodes d'essai. On y détaille l'appareillage employé, le mode opératoire et les calculs requis.

Denis Tremblay est ingénieur et professeur en technologie du génie civil au Cégep Ahuntsic.

Dictionnaire de physique

J.-P. Mathieu, A. Kastler
et P. Fleury
Masson/Eyrolles, Paris
576 p., 380 fig.

S'en tenant au seul domaine de la physique, ce dictionnaire, réalisé par trois auteurs éminents (dont un prix Nobel) propose, pour chaque mot du langage des physiciens, une définition sobre et claire.

Cela conduit à utiliser pour les définitions non seulement la langue usuelle des mots et des phrases mais aussi des représentations graphiques, des schémas et des dessins très lisibles, ainsi que des formules mathématiques des plus classiques.

L'ouvrage présente plus de 4000 mots. Les auteurs ne se sont pas limités à en donner la définition la plus concise, mais rappellent des propositions scientifiques qui se rattachent à son emploi; les définitions contiennent, pour certains termes qui possèdent une vaste extension, celles de termes corrélatifs, permettant ainsi d'enchaîner logiquement ou analytiquement plusieurs définitions, et d'employer à l'occasion le dictionnaire comme aide-mémoire.

L'ouvrage peut être aussi considéré comme un formulaire de la physique: il présente les équations fondamentales de l'électricité; les équations de Gauss et celles de Maxwell sont données sous la forme vectorielle classique; les opérateurs rotationnel, divergent et laplacien sont définis, par ailleurs, non seulement en coordonnées cartésiennes mais aussi en coordonnées polaires.

Les symboles et la nomenclature sont presque toujours conformes aux instructions de l'Union internationale de physique pure et appliquée. Les unités sont celles du Système international, avec des tableaux de correspondance. Le dictionnaire est complété par un petit lexique anglais-français, des tableaux de physique atomique corpusculaire, de cristallographie et de constantes fondamentales.

abstracts

A Micro-computer Program that Performs the Calculations for an Hydrodynamic Bearing

2

by Henri Yelle, Eng.

Home computers are too often considered to be good only for video games, family budget or as recipes books. This paper describes how a TRS-80 Color Computer is used to perform engineering calculations. It gives the references of the solutions used by the program, and it discusses the assumptions and the equations that evaluate the thermal equilibrium. Also are given the general structure of the program, its use and typical results.

Smoothing Experimental Data with Special Cubic Splines

16

by Denis Laurendeau

Cubic spline functions, when submitted to proper continuity and minimum conditions, are very useful in the field of graphic representation of experimental data. Spline functions do not exhibit undesirable undulations as the classical polynomials functions do when fitted to manual data points. Also, due to their simplicity, cubic splines are easy to implement on standard micro-computer installations.

Océan Mechanical and Thermal Power

20

by Philippe Marchand, Eng.

The Ocean constitutes an enormous potential of renewable energy which has hardly been used up until now. This huge reservoir is only being exploited under the form of Ocean tidal energy, wave energy, and thermal energy at the present time. Researches are also under way to utilize the pressure differential which exists between pure and salted water (osmotic pressure) by means of semi-permeable membranes. Although the various forms of marine energy require specific conditions to be put to use, their enormous potential is sufficient to warrant suitable investments.

Canadian Nuclear Fuel Waste Management Program

9

by Mario Lupien, Chem.

This publication briefly describes the Canadian research and development program on immobilization of nuclear fuel wastes and their safe disposal in the hard-rock formations of the Canadian Shield. It also reviews the progress that has been made in the development of technologies for the interim storage and transportation of irradiated fuel.



SIAL

Compagnie Internationale
de Géophysique Inc.

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

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

☎ : (514) 683-4215

• Télex : GTS HTD MTL
• 05-821643

La Raptière

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)

répertoire des annonceurs

Aciers algoma ltée	14
Carmel, Fyen, Jacques & Associés inc.	28
Dagenais (Yvon) & Associés inc.	15
Défense nationale Canada	25
Dufresne, Farley & Associés	28
Flyght Canada	couv. IV
Fortier, Franklin, Legault inc.	28
Gaz Inter-Cité, Gaz Métropolitain	couv. II
Géophysique G.P.R. international inc.	15
Jenkins Canada inc.	couv. III
Lalonde, Girouard, Ietendre & Associés ltée	15
La Rapière	27
Lavalin	8
Les laboratoires industriels et commerciaux ltée	8
Mon-ter-val inc.	28
Ordre des ingénieurs du Québec	19
Quéformat ltée	15
Sciences et Techniques de l'eau	28
SIAL, compagnie internationale de géophysique inc.	27

SCIENCES ET TECHNIQUES DE L'EAU

ISSN 0823-0269

Une revue phare... Une revue de qualité...

Douze dossiers thématiques couvrant un large spectre de sciences et techniques de l'eau seront publiés de 1984 à 1987: hydrologie urbaine, eaux souterraines, procédés d'épuration, qualité des eaux, océanologie, modèles mathématiques, écotoxicologie, précipitations acides, biologie et microbiologie aquatiques, etc. Revue trimestrielle diffusée dans plus de 45 pays.

Une collection unique... Des auteurs renommés...

Sciences et Techniques de l'eau est la revue la plus répertoriée et indexée au monde, par des organismes nationaux et internationaux, et la plus intégrée aux bases et aux banques de données. Ces organismes sont situés dans les pays suivants: Afrique du Sud, Allemagne (Rép. féd.), Angleterre, Argentine, Australie, Belgique, Canada, États-Unis, France, Pays-Bas, Pérou, Yougoslavie et U.R.S.S.

Abonnement de 1 an

Canada : 20 \$; É.-U. : 24 \$; étranger* : 27 \$

Régler par chèque bancaire** ou mandat poste international, en dollars canadiens, au nom de l'Association québécoise des techniques de l'eau, 6290, Périault (bureau 102), Montréal (Québec), Canada, H4K 1K5.

* La revue est expédiée par voie aérienne à l'extérieur de l'Amérique du Nord sans frais supplémentaires.

** N° de compte : 1369-21, Banque Nationale du Canada, 5990, bd Gouin ouest, Montréal (Québec), Canada, H4J 1E6.

dufresne farley et associés ingénieurs-conseils

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

200 ouest, rue Sauvé, Montréal, H3L 1Y9

Tél.: 384-0440



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

- Mécanique du bâtiment
- Électricité, chauffage
ventilation
- Structure

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

CARMEL, FYEN, JACQUES & ASSOCIÉS, INC. CONSULTANTS

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

Tél. : 274-5671

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



mon-ter-val inc.
société d'expertises

- Géotechnique
- Géologie
- Mécanique des Roches
- Contrôle des matériaux
- Hydrogéologie

3245 Grande-Allée, Boisbriand, Qué. J7H 1E4
442 ave Centrale, Val d'Or, Qué. J9P 1P5

Tél. (514) 430-9112
Tél. (819) 824-6894
Tél. 1-800-361-7718



Papillon sans bride de Jenkins

Des disques en bronze standard, des leviers bloquables avec option de butée réglable, voilà ce que vous offre Jenkins quand il s'agit de ses robinets à papillon sans bride et à oreilles.

Une qualité qui ne laisse jamais à désirer. Un mandat d'excellence, garanti et respecté au Canada par Jenkins depuis 1906. JENKINS CANADA INC. LACHINE, QC H8S 2L6


JENKINS

Le spécialiste en robinets



Papillon à oreilles de Jenkins





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.