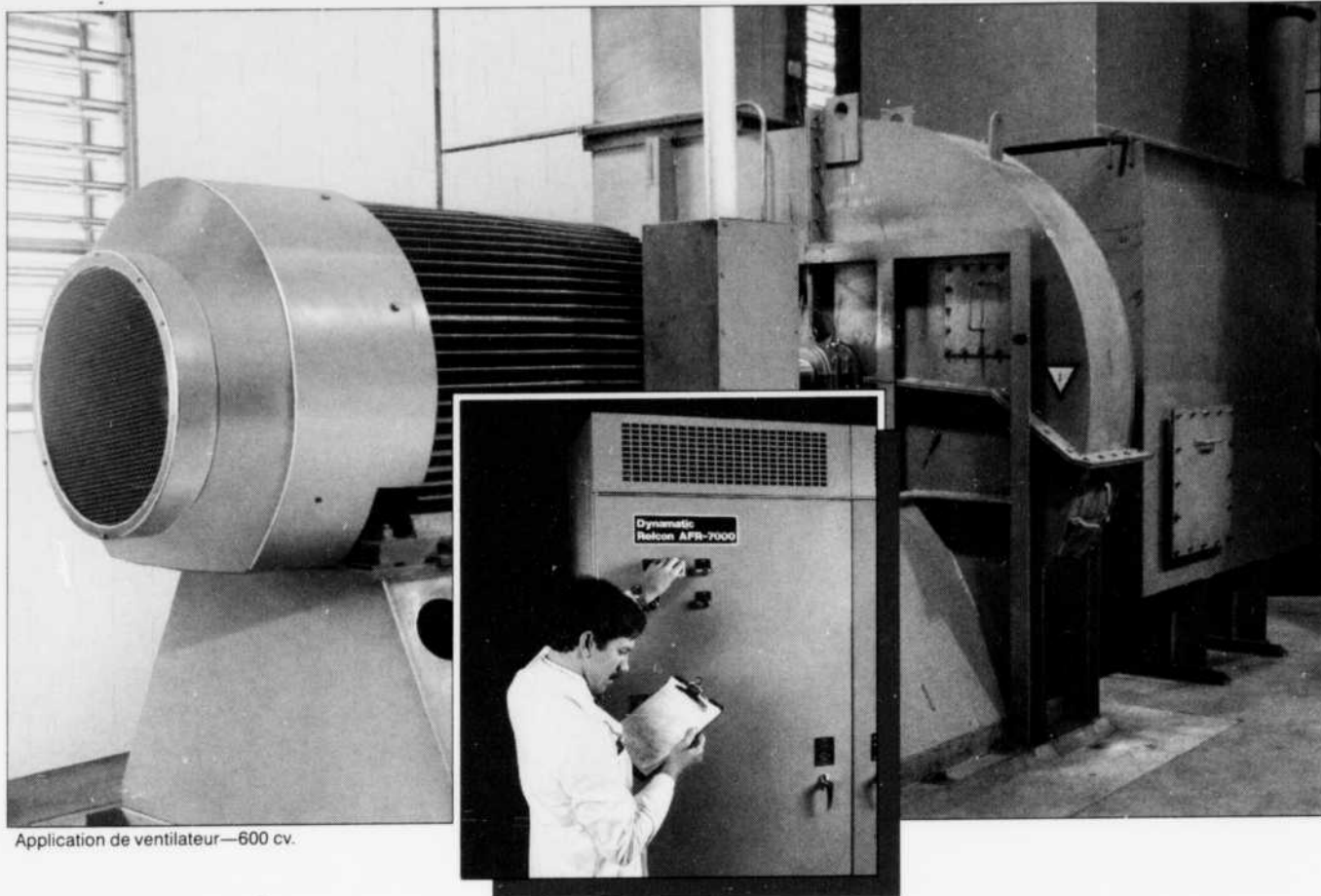


l'ingénieur

Juillet/août 1987

N° 380 73^e année





Application de ventilateur—600 cv.

RETROUVEZ VOS FACTURES D'ÉLECTRICITÉ D'IL Y A 3 OU 5 ANS AVEC NOS ENTRAÎNEMENTS À VITESSE VARIABLE RELCON.

On ne peut freiner la hausse des coûts d'électricité. Cependant, vous pouvez consommer moins d'énergie électrique en opérant à vitesse variable vos ventilateurs, pompes, compresseurs et autres équipements centrifuges.

QUATRE TYPES D'ENTRAÎNEMENTS

Que votre moteur électrique soit fractionnel ou d'une puissance de 5000 hp ou plus, l'un de nos quatre types d'entraînements à vitesse variable Relcon, vous donnera le contrôle efficace de vitesse que vous désirez. En plus, vous économiserez entre 20 et 35% en énergie électrique si vous comparez nos contrôleurs aux

systèmes de valves modulantes ou de volets variables.

Les économies d'énergie électrique réalisées sur une période de trois ans ou moins, suffisent habituellement pour financer l'achat d'un de nos entraînements Relcon.

Nous sommes en mesure de vous offrir des entraînements: à fréquence variable, à courant continu, à courant de Foucault ou à récupération d'énergie, dépendamment du type d'équipement qui se prête le mieux à votre application.

SERVICE COMPLET

Considérez ce qui suit: Nos entraînements Relcon sont fabriqués au Canada. Ils sont conçus en utilisant ce qu'il y a de plus récent comme technologie. Nous vous

offrons de plus: assistance à la conception de vos systèmes, une gamme complète d'entraînements à vitesse variable, l'accès aux pièces de rechange de quatre endroits à travers le Canada et finalement, un service après-vente incomparable.

Tous ces avantages font partie des systèmes d'entraînements à vitesse variable Relcon.

VÉRIFIEZ

En plus de la fiabilité de nos équipements, vous devez considérer l'économie d'énergie substantielle réalisée et la facilité d'installation. Demandez-nous de vous faire parvenir notre littérature sur nos entraînements Relcon pour voir ce que vous avez à y gagner.

CHEF DE FILE DE L'INDUSTRIE CANADIENNE

Relcon

Relcon Inc.

(Anciennement Les Equipements Rumble Limitée)
80 Walker Drive, Brampton, Ont. L6T 4H6
(416) 458-1100. Telex: 06-97646. Fax: (416) 458-1200

Quebec and Maritimes

2535 boul. Cavendish
Montréal (Québec) H4B 2Y5
(514) 487-6111 Telex: 055-66347
Fax: (514) 487-6537

Éditeur

Les publications l'ingénieur inc.
Case postale 6980, succursale A
Montréal (Québec) H3C 3L4
Tél. : (514) 340-4764

Conseil d'administration

Paul Major, président
Paul Hébert, vice-président

Comité exécutif

Guy Drouin, président exécutif
Jacques Lapointe, vice-président
Jean L. Corneille, vice-président
Serge R. Tison, secrétaire
Gilles G. Bélanger, trésorier
Yolande Gingras, directeur général

Administrateurs

Adolphe Blach
Claude Brulotte
Roland Chevalier
Gilles Delisle
Fernand DeSerres
Yvon Gariépy
Roger P. Langlois
Émeric G. Léonard
Roger Lessard
Ovide J. Poitras
Diane Rousseau
Serge Saulnier
Guy A. Sicotte
Jean-Claude Therrien

Directeur général

Yolande Gingras

Comité consultatif de rédaction

Gilles G. Bélanger, directeur
Joseph A. Bouchard
Dominique Chassé
Jules Delisle
Pierre Desrochers
Claude Gou
Jacques Lapointe
Raymond LerouxYves Lizotte
Paul-Édouard Robert
Georges Salloum

Rédacteur en chef

Joseph Kélada

Publicité

Robert Dumouchel
Publications R.A.D. enr.
605 rue Filiatrault
Suite 6
Saint-Laurent, (Québec) H4L 3V3
Tél. : (514) 744-6019

Composition

Les Ateliers Chiora inc.
(514) 383-4320

Imprimeur

Groupe d'imprimerie
INTER-MARK Inc.
(514) 526-3381

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., Che., Sci., Abstracts, Periodex et Radar signalent les articles publiés dans l'INGÉNIEUR — ISSN — 0020-1138 — Dépôt légal — Bibliothèque nationale du Canada — Bibliothèque nationale du Québec

Courrier de deuxième classe

Enregistrement n° 5788

Sommaire

2 Le concours rédactionnel

par Gilles G. Bélanger

4 L'automatisation du procédé de soudage

par Guy Dionne

10 L'épuration des eaux contaminées à l'aide de la tourbe

par Serge Lavergne

15 Un outil de formation et d'optimisation: Le simulateur Talar

par Yves C. Munger

20 La télédétection par satellite

par Gaston Doiron

24 Application des systèmes experts au gouvernement du Québec

par Richard Parent

Le concours rédactionnel

Depuis plusieurs années les facultés de génie francophones proposent des cours de rédaction à leurs étudiants. Le concours rédactionnel se veut une participation de la revue *L'ingénieur* à cet effort de perfectionnement. Que l'ingénieur œuvre dans l'entreprise, le génie-conseil, la recherche, l'enseignement ou la fonction publique, il doit communiquer fréquemment par écrit le fruit de ses analyses. Jadis, les documents produits n'étaient malheureusement pas à la hauteur et l'ingénieur était souvent décrié pour sa faiblesse en communications écrites.

Les articles qui nous ont été présentés nous démontrent l'évolution dans ce domaine et nous devons féliciter les professeurs des facultés de génie pour leurs efforts dans cette discipline qu'est la rédaction de rapports.

Cette année, les gagnants ont été sélectionnés par trois juges. Madame Dominique Chassé — professeure de rédaction à l'École Polytechnique de Montréal, M. Alain Brosseau — vice-président Recherche (I.R.E.Q.) Hydro-Québec et M. Jean-Louis Dontigny — Directeur de l'ingénierie, Groupe S.N.C. Malgré la diversité des articles jugés, ces juges ont rempli leur fonction de façon remarquable. Le comité de rédaction les félicite pour leur participation et les remercie de leur coopération.

Quant aux lauréats, vous constaterez à la lecture de leurs articles, qu'ils méritent bien leur prix et vous démontrent que la nouvelle génération d'ingénieurs est bien préparée à accomplir de grandes choses.

Merci à tous les participants, notre reconnaissance appréciée aux commanditaires qui ont permis de financer ce concours.

Gilles Bélanger
Directeur du comité de rédaction



Dans l'ordre habituel, MM. Gilles G. Bélanger, Guy Dionne et Alain Brosseau



MM. Gilles G. Bélanger, Serge Lavergne et Jean L. Corneille



MM. Gilles G. Bélanger, Yves C. Munger et Me Serge R. Tison

À propos du concours

Les gagnants du concours

Le premier prix a été attribué cette année à l'article «L'automatisation du procédé de soudage à l'arc électrique». Cet article a été écrit par **M. Guy Dionne**, étudiant en génie mécanique à l'Université de Sherbrooke. Il a fait ses études secondaires et collégiales au Séminaire de Sherbrooke. Il a déjà travaillé pour la Société Canadienne des métaux Reynold à Baie Comeau, pour Lowney (Chocolat) à Sherbrooke et pour Bombardier à Valcourt.

M. Dionne a gagné le deuxième prix au concours rédactionnel de la revue l'ingénieur en 1986. Il a participé activement au projet ALIZÉE pour la conception d'une auto avant-gardiste. Ce projet qui a duré deux ans a permis à l'Université Sherbrooke de se placer 2^e au concours international de Vancouver, en 1986.

M. Dionne obtiendra son diplôme d'ingénieur en décembre 1987.

Le deuxième prix est allé à l'article «L'épuration des eaux usées à l'aide de la tourbe». L'auteur de cet article est **M. Serge Lavergne**, étudiant en génie chimique à l'Université de Sherbrooke. Il a fait ses études collégiales au collège Rouyn-Noranda en sciences pures. Il a déjà travaillé pour le Ministère de l'environnement. Il vient de terminer sa deuxième année d'étude à l'université.

Pour le troisième prix, le jury a choisi l'article «Le simulateur Talar». Cet article est **M. Yves Munger**, étudiant en génie mécanique de l'Université Laval. Il a fait ses études secondaires au Séminaire de Québec et a terminé ses études collégiales au collège St-Lawrence à Ste-Foy.

M. Munger a participé à la compétition Québec-Ingénierie 1987 dans la catégorie Solution de problèmes industriels. Il a obtenu le prix de l'excellence de l'Ordre des Ingénieurs du Québec. Il a aussi décroché le premier prix dans la compétition canadienne d'ingénierie à Edmonton avec son article sur la simulation de procédés technologiques complexes qui lui a valu son prix au concours rédactionnel de «L'ingénieur».

Il poursuit ses travaux dans le cadre de ce projet de simulation, travaux qu'il a commencés en mai 1986

Autres articles

À part les trois articles primés, la revue a reçu plusieurs écrits qui démontrent la capacité de rédaction de nos futurs ingénieurs.

Ces articles sont:

- Une visite des turbines hydrauliques aux Ateliers d'ingénierie Dominion, par **Eric Desbiens** de l'École Polytechnique de Montréal;
- Les prothèses artérielles, de **Sami Doucet** et **Véronique Roy**, étudiants en génie mécanique à l'Université Laval;
- L'homme et son vélo, contre le vent et contre le temps, par **René Dionne** et **Thavorith You Kheang** de l'Université de Sherbrooke;
- L'industrie canadienne de l'électronique: le libre échange, bon échange? par **Martin Simard**, étudiant en génie électrique à l'Université Laval;
- Construire la tour de Babel malgré tout, par **Sophie Lagacé**, étudiante en génie civil à l'École Polytechnique;
- L'intelligence artificielle au service de l'ingénieur, par **Roch Bé-**

rubé de l'Université du Québec à Chicoutimi;

- La gestion efficace de la production, par **Erick Bellefleur** et **Eric Giguère** de l'Université de Sherbrooke;

- Les enjeux de l'industrie aérospatiale au Canada, par **Richard Lemieux**, étudiant en génie mécanique à l'École Polytechnique;

- La télédétection par satellite, par **Gaston Doiron**, étudiant en génie civil à l'Université de Moncton.

La rédaction de la revue se rejouit du succès de son concours rédactionnel et compte, à l'avenir, poursuivre cette tradition, tant que Dieu, ou plutôt ses abonnés lui prêteront vie.

Remise des prix

Les prix ont été remis aux gagnants le 16 juin dernier, lors d'une cérémonie qui se déroule dans les bureaux, ou plutôt dans les salons de la Société Bell, sur l'invitation de M. Gilles G. Bélanger, directeur du comité de rédaction de la revue. Parmi les invités, mentionnons Mme **Yolange Gingras**, directeur général de l'Association des Diplômés de Polytechnique, M. **Jean L. Corneille**, président du conseil d'administration de la Fondation de l'ingénierie canadienne, M. **Serge R. Tison**, avocat chez Desjardins, Ducharme, Desjardins et Bourque et membre du comité exécutif de la revue, M. **Alain Brosseau** vice-président de l'Institut de recherche d'Hydro-Québec ainsi que le rédacteur en chef de la revue et plusieurs membres du comité de rédaction de l'ingénieur.

À l'année prochaine donc et... bonnes vacances.

L'automatisation du procédé de soudage à l'arc électrique

Guy Dionne
Étudiant en génie mécanique
Faculté des sciences appliquées
Université de Sherbrooke

Introduction

Le procédé de soudage à l'arc électrique acquiert ses lettres de noblesse dès le début du vingtième siècle. Depuis lors, cette technique d'assemblage n'a cessé de s'intégrer dans la chaîne évolutive des matériaux et des techniques de fabrication.

Rappelons que la technologie du soudage demeure un élément essentiel à la réalisation de nombreux assemblages métalliques. En effet, depuis la création de ce procédé, le défi consiste à obtenir une soudure permettant d'assurer une continuité parfaite au point de vue des propriétés mécaniques, métallurgiques et physiques entre les pièces assemblées. Les années 80 ont vu naître un autre défi de taille: adapter le soudage à l'ère de l'automatisation.

Même en 1987, où plusieurs techniques d'assemblage sont robotisées, le soudage ne compte pas parmi les procédés qui ont pu être entièrement automatisés, puisque les robots ne peuvent imiter les capacités sensorielles de l'humain en ce domaine. Bien sûr, on retrouve des dispositifs de soudage autonomes œuvrant dans des conditions répétitives, tels ceux rencontrés dans l'industrie automobile (soudage par point dont la résistance mécanique du joint à souder est moins critique). Par contre, les pièces soudées requérant des spécifications mécaniques de haut niveau ont en grande majorité échappé à l'automatisation.

Pourtant, automatiser ces opérations pourrait devenir extrêmement rentable pour l'industrie et nombreux sont les centres de recherche, à travers le monde, qui tentent d'y arriver. Parmi ces centres de recherche, le Canada, par le biais du Centre national de recherche du Canada (C.N.R.C.) division Institut de génie des matériaux (I.G.M.), fait figure de leader. Les chercheurs de l'I.G.M. ont en effet conçu des capteurs qui peuvent intervenir sur les paramètres

de soudage en temps réel, selon les caractéristiques de la pièce à souder.

L'objet du présent texte consiste à résumer ces recherches. Après avoir défini plus précisément quel secteur de l'industrie est visé par l'automatisation du soudage à l'arc électrique, les principes de base du procédé seront brièvement énoncés. Seront ensuite étudiés trois axes de développement qu'a subi l'automatisation du soudage, à savoir la modélisation, la vision active et la vision passive, cette dernière retenant plus particulièrement notre attention, puisque les recherches actuelles lui connaissent là un succès sans précédent.

Secteur de l'industrie visé par l'automatisation

Notons tout d'abord que près de 95% des soudures effectuées par les entreprises le sont au moyen de techniques utilisant l'arc électrique. De façon à accroître la performance de l'industrie canadienne du soudage, l'I.G.M. poursuit depuis quelques années un programme de recherche dans ce domaine. Celui-ci consiste principalement à développer une automatisation poussée des procédés de soudage à l'arc électrique, afin d'améliorer la qualité des soudures ainsi que la productivité de ce mode d'assemblage.

Les plus récents développements de la recherche sur le soudage à l'I.G.M. se concentrent autour de l'industrie du soudage bout à bout de tuyaux à parois épaisses. Ce type de soudure représente le cas le plus typique des applications effectuées dans des entreprises où l'on retrouve un nombre important de conduits de toutes sortes. Bien que l'assemblage bout à bout semble à prime abord une opération peu complexe, il s'agit en fait d'une opération délicate qui ne peut être effectuée que par les meilleurs soudeurs. Par ailleurs, les conduits assemblés doivent subir un contrôle aux rayons X, car la majorité de cette tuyauterie est destinée au transport sous haute pression de substances nocives. On la retrouve entre autre dans les raffineries et les centrales nucléaires.

Description de l'assemblage bout à bout

La soudure de joints bout à bout peut se diviser en deux classes. Tout d'abord, considérons l'assemblage de tuyaux et de réservoirs de faible diamètre, soit d'un diamètre inférieur à 65 cm. La figure 1-A représente le type de joint et de chanfrein que l'on emploie avec ces conduits. La première opération, de loin la plus délicate, consiste en une passe de fond (pleine pénétration), due à l'impossibilité d'entrer à l'intérieur du conduit. La complexité de l'opération provient du fait qu'il faut promener en équilibre une goutte d'acier liquide entre les deux racines du chanfrein.

Le soudeur doit s'assurer que l'acier liquide transmet sa chaleur à la pièce en faisant fondre la bordure des racines sans que la goutte d'acier ne s'écroule en pénétrant suffisamment la pièce pour se solidifier. Avant la technologie I.G.M., cette opération très critique n'a jamais pu être automatisée. Les opérations subséquentes consistent à effectuer des passes de remplissage sur le côté extérieur du conduit à assembler.

La deuxième classe de l'assemblage bout à bout comprend les plaques et les tuyaux de plus de 65 cm de diamètre. Les opérations, identifiées à la figure 1-B, sont effectuées sur un joint possédant un chanfrein en double «V». Conventionnellement, la première passe de fond s'effectue par l'intérieur; on applique ensuite une ou plusieurs passes de remplissage. Pour cette application, la première passe de fond devient moins critique, puisqu'on revient par l'extérieur, effectuer un meulage jusqu'à la racine de façon à éliminer les défauts. Finalement, on exécute une série de passes de remplissage par l'extérieur. Bien que déjà automatisée, cette technique peut être améliorée par la technologie I.G.M., puisque la qualité de la soudure à la racine n'exige plus aucun meulage, ce qui permet une économie de temps significative.

Principes de base du procédé de soudage

Dans la soudure de pièces métalliques, la liaison atomique réalisée au niveau du joint nécessite l'intervention d'une source

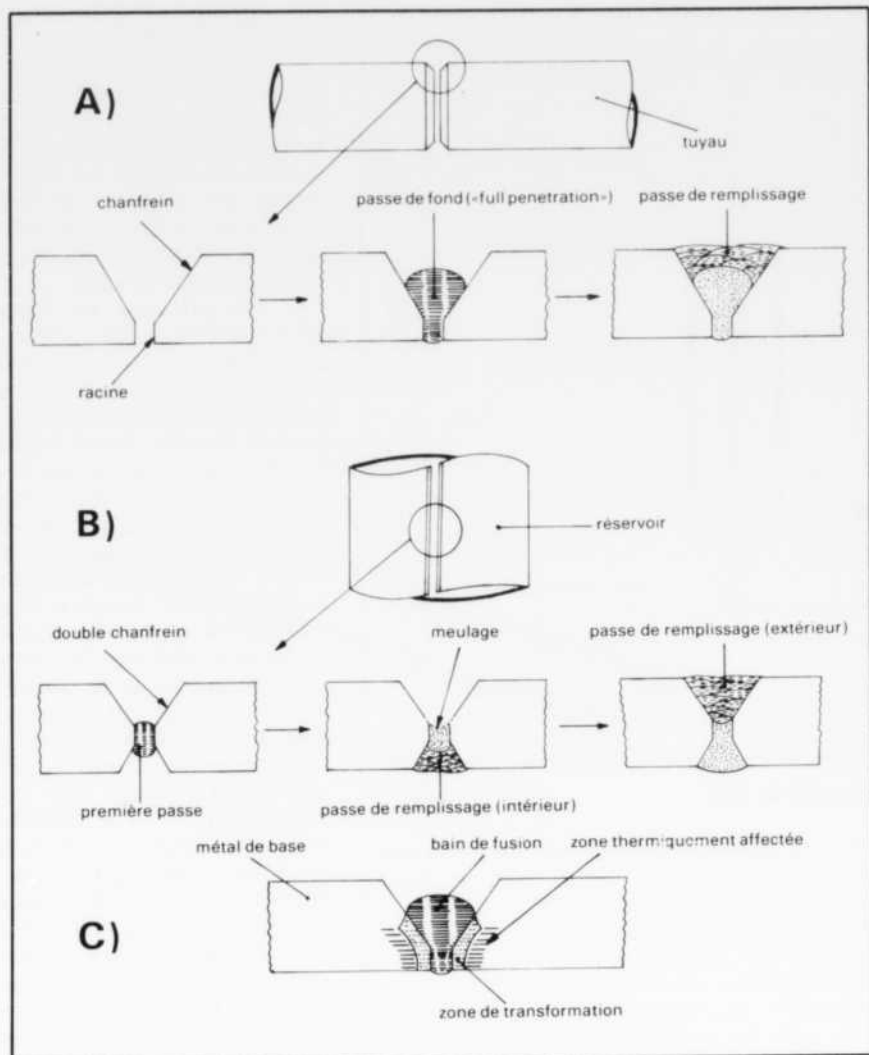


Figure 1 Soudures d'assemblage bout à bout

d'énergie extérieure qui crée une élévation locale de la température des pièces. La technique de soudage que l'on utilise, schématisée à la figure 2, est le soudage avec fil plein sous gaz de protection (procédé M.I.G.). L'arc électrique, la source d'énergie, se maintient entre deux électrodes, soit le fil d'apport, qui avance continuellement au fur et à mesure qu'il se consume, et le métal de base.

De façon à protéger le métal en fusion contre l'oxydation de l'air ambiant, le procédé M.I.G. utilise un gaz de protection, diffusé autour de l'arc pour former un écran protecteur. Le gaz de protection le plus souvent utilisé est un gaz inerte, de préférence l'argon ou le CO_2 . Notons enfin que le métal d'apport, une électrode d'un diamètre d'environ 1 mm, contient des éléments d'alliage et des dés-oxydants.

Cinq paramètres importants

En se référant à la figure 1-C, on peut constater que la forme et la grosseur du bain de fusion ont une influence déterminante sur la qualité des pièces assemblées. En fait, si on réussit à contrôler le bain de fusion, on pourra contrôler la qualité de la pièce à souder. Pour pouvoir maîtriser adéquatement le bain de fusion, le système automatisé doit intervenir sur cinq paramètres primordiaux. Lesdits paramètres, appliqués au procédé M.I.G., sont les suivants:

- 1) Le suivi du joint: emplacement de la torche au bon endroit;
- 2) Largeur de l'oscillation: déplacement latéral de la torche qui détermine la largeur du cordon de soudure;
- 3) Vitesse d'avance du fil: l'intensité du courant (en continu) de soudage dépend de la distance entre les deux électrodes. L'aug-

mentation de l'intensité de courant correspond à une augmentation de la profondeur et de la largeur de pénétration du métal;

- 4) Vitesse d'avance de la torche à souder: détermine la quantité de métal déposé en un instant donné;
- 5) Tension délivrée par la source: règle la longueur de l'arc électrique. L'augmentation de la tension tend à aplatir le cordon de soudure.

Ces cinq paramètres sont identifiés aux figures 2 et 3.

Modélisation

L'avènement de l'ordinateur aura permis de faire des pas de géant dans l'automatisation des procédés de soudage. L'une des techniques d'automatisation envisagée est la modélisation qui consiste à définir et à calculer tous les paramètres influents lors du soudage. Le modèle doit prévoir toutes les éventualités pouvant survenir pendant le soudage, pour en déterminer les réactions subséquentes. L'ordinateur peut disposer alors d'une banque de données qui lui permettra de réagir, d'une façon déterminée, dans des conditions précises. Par exemple, si on modélise l'écoulement de chaleur dans le bain de fusion du métal (figure 4), un certain degré de température correspond à une valeur précise d'apport de masse, de courant et d'une vitesse d'avance.

Une telle situation peut devenir très complexe à modéliser et les conditions d'opération doivent être constantes. En effet, la banque de données dont dispose l'ordinateur demeure fonction d'un modèle élaboré dans des conditions précises. L'incapacité de tout modéliser a poussé certains centres de recherche à expérimenter l'usage de capteurs de vision.

C'est pourquoi l'I.G.M. oriente ses recherches sur le développement d'une stratégie de contrôle qui peut rendre le procédé de soudage plus tolérant. On parle donc d'un système caractérisé par un capteur vidéo incorporé au procédé de soudage. En analysant l'image transmise par le capteur vidéo, on pourra en déduire une stratégie de contre-réaction. Ce système peut s'affranchir d'une banque de données contenant des valeurs absolues, la stratégie de contre-réaction étant fonction de l'image obtenue.

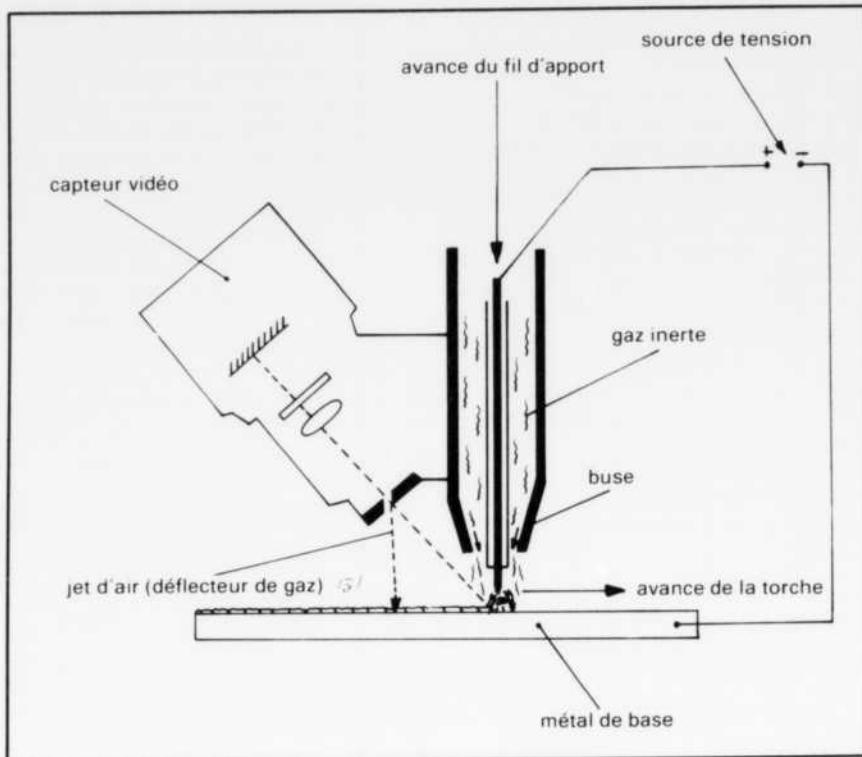


Figure 2 Vision passive avec le procédé M.J.G.

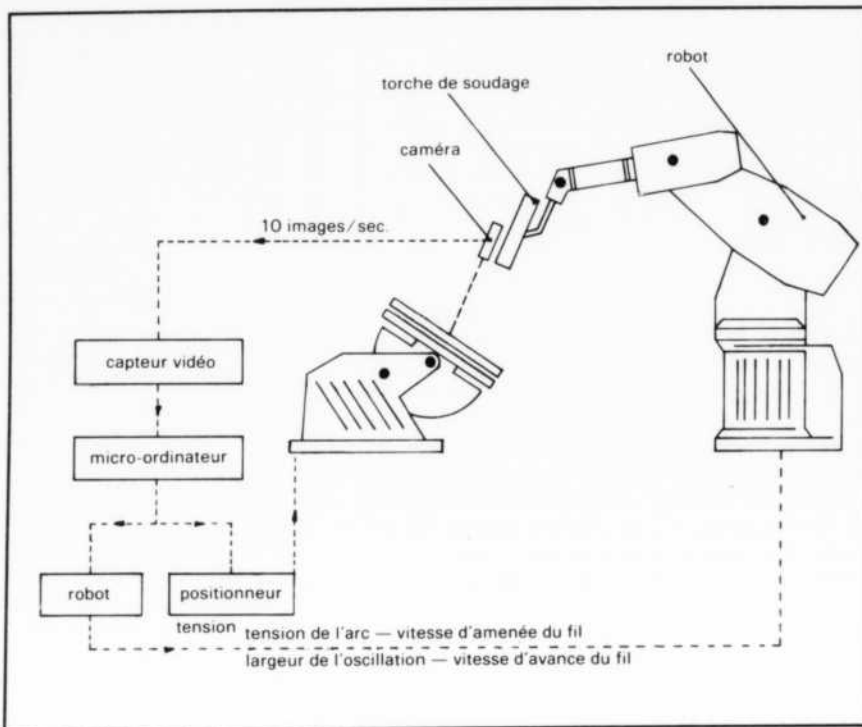


Figure 3 Composante d'un procédé de soudage automatisé

Signalons à ce propos qu'il devient nécessaire, avec ce système, d'interpréter l'image d'une façon juste et réaliste, ce qui représente actuellement le défi auquel les cher-

cheurs de la plupart des centres de recherche font face. Le premier système de vision à obtenir un succès commercial est le système à vision active.

Vision active

Dans un processus de sondage, le paramètre le plus important à considérer demeure sans contredit le suivi du joint. En effet, il faut se situer au bon endroit avant de pouvoir contrôler les autres paramètres. La vision active se concentre donc en majorité sur cette caractéristique.

Le principe de base de la vision active repose sur la télémétrie. Cette technique consiste à projeter une lumière structurée, avec un laser par exemple, sur le joint à souder, juste avant que la torche n'entre en action (figure 5). La diffusion de la lumière structurée sur le joint peut alors être captée par une caméra vidéo, placée à angle. La figure 6 schématise un système laser-caméra. L'information générée par la caméra sert ensuite à déplacer la torche selon les exigences de la procédure de soudage, tout en tenant compte des singularités inhérentes aux tolérances du joint. En somme, on utilise un principe bien connu: le triangulation. Si la torche est bien centrée, l'intersection du faisceau avec le joint produit une image symétrique qui est transmise à l'ordinateur pour fins d'analyse.

Outre le fait que le suivi du joint peut s'exécuter avec une extrême précision, cette opération reste indépendante du procédé de soudage. La caméra regarde en avant de la soudure; on peut même simuler la procédure de soudage en déplaçant la torche, sans souder, le long du joint. En mode opératoire, le bain de fusion, l'arc électrique et les autres sources de lumières deviennent donc des para-

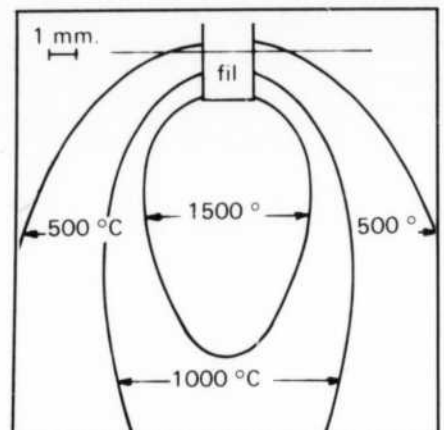


Figure 4 Modélisation de l'écoulement de chaleur du bain de fusion

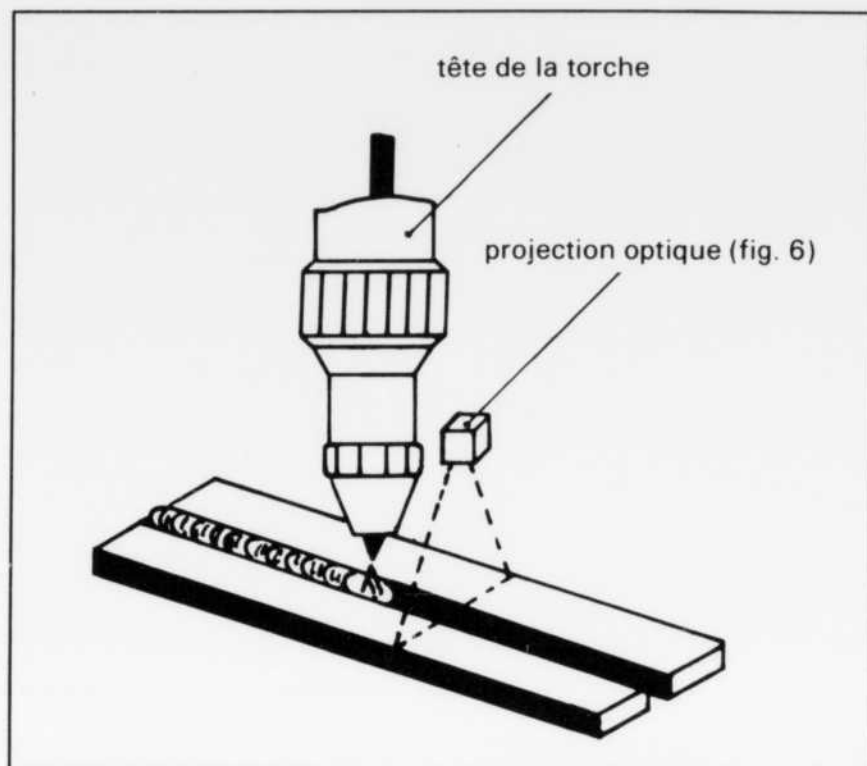


Figure 5 Système automatisé avec la vision active

sites que l'on doit éliminer par filtrage.

La principale lacune du système décrit ci-dessus provient de son manque d'adaptabilité. Le système de vision regarde juste avant le dépôt de métal en fusion. À partir d'un ensemble de données, l'ordinateur peut déduire ce qu'il doit faire, puis exécuter la manœuvre sans regarder. La vision active s'adapte difficilement aux procédés de soudage dont le bain de fusion demeure contrôlé par des forces mécaniques, comme la gravité et les tensions de surface. Ces forces étant trop rapides, le procédé ne peut pas contrôler en temps réel (simultanément, sur le champ) les mouvements du bain de fusion.

Pour ces motifs, les recherches sont orientées de façon à développer un dispositif automatique plus polyvalent. Le système de vision idéal doit pouvoir maîtriser parfaitement tous les paramètres de soudage en temps réel, et ce, dans les pires conditions d'opération.

Vision passive

Le système de vision passive constitue, quant à lui, l'élément

essentiel du projet de recherche de l'I.G.M. sur l'automatisation du soudage à l'arc électrique. Cette nouvelle technologie, qui a déjà procuré d'excellents résultats lors de tests de production effectués par un prototype industriel, sera étudiée de façon plus détaillée. Néanmoins, la vision passive demeure un projet de recherche dont plusieurs composants font actuellement l'objet d'une demande de brevet. Par conséquent, il est impossible d'étudier le système dans ses moindres détails. Les lignes qui suivent feront plutôt état des principaux constituants du procédé afin d'en avoir une vue d'ensemble.

La vision passive demeure le procédé qui se compare le mieux à la vision humaine. Comme notre œil, qui se caractérise par une vision passive, la caméra capte une lumière dite naturelle (dans les spectres de l'infra-rouge, très près des spectres visibles) provenant de l'endroit précis où le soudage s'effectue. L'objectif de la vision passive est d'analyser la géométrie du bain de fusion à l'aide d'un ordinateur. Bref, la caméra équivaut à l'œil du soudeur tandis que l'ordinateur, après avoir analysé et interprété l'image,

doit réagir de la même façon que le cerveau de ce dernier.

Composantes optiques du système

Abordons maintenant la partie optique du dispositif de vision passive, et revenons à la figure 2. Le système optique se compose essentiellement d'un capteur vidéo, c'est-à-dire une caméra de petite taille, de la grosseur d'un poing. L'inconvénient majeur au niveau de la caméra réside dans le fait que celle-ci travaille dans un environnement de soudage composé de fumée, de métal liquide à 1100 °C, et de plasma d'arc à environ 8000 °C. Bien que la chaleur décroisse rapidement à partir du point de soudage, la caméra doit être protégée par un système de refroidissement qui devra maintenir le capteur vidéo à une température inférieure à 30 °C. En ce qui concerne la présence des gaz à l'entrée du système de vision, on devra défléchir la fumée à l'aide d'un jet d'air. De plus, cette caméra se compose de fenêtres d'entrée, modifiées par des verres spéciaux, fruit de l'expertise acquise au fil des années.

L'image traitée par l'ordinateur sera uniquement celle du bain de fusion. Les lumières parasites, comme la lumière de l'arc électrique, devront être filtrées par la caméra et l'ordinateur pour que ce dernier puisse reconstituer seulement le bain de fusion. L'image générée par l'ordinateur sur une matrice de 512 x 512 pixels peut alors faire l'objet d'analyses subséquentes. La photo 1 représente l'image retransmise par l'ordinateur, schématisée à la figure 1-C18; on peut y observer le fil d'apport (tige noire) sur la partie supérieure du bain de fusion. À partir du moment où l'ordinateur a analysé cette image, 50% du travail d'automatisation est exécuté.

Ordinateur: interprétation et contrôle du bain de fusion

L'autre moitié du processus d'automatisation consiste en une stratégie de contrôle exécutée par l'ordinateur. Cette étape devient aussi très délicate car elle doit être conforme aux réactions du soudeur quand celui-ci regarde directement la forme du bain de fusion, et qu'il contrôle simultanément la goutte de soudure qu'il dépose.

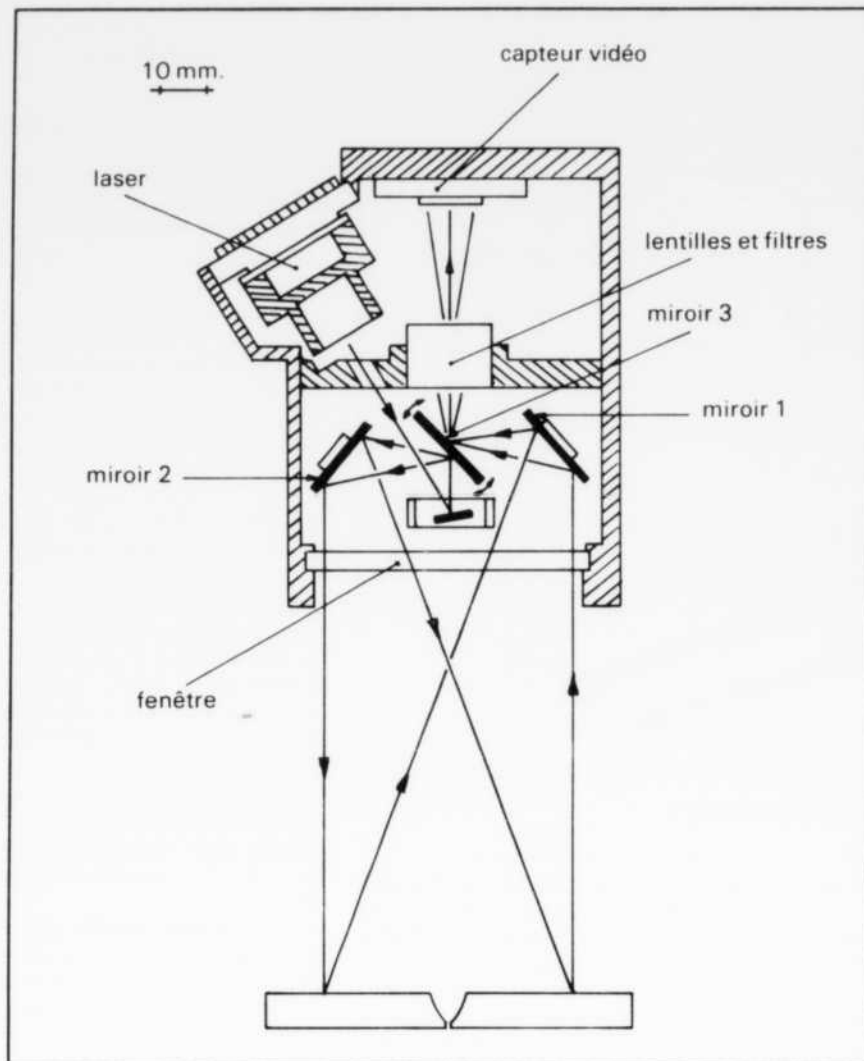


Figure 6 Projection optique du système à vision active

Il faut donc bien connaître la façon de penser du soudeur, de corriger son mouvement et de comprendre le comment et le pourquoi d'un tel geste. En fait, le processus d'opération de l'ordinateur peut se décomposer en deux étapes. La première étape comporte l'interprétation de l'image transmise par la caméra. En analysant les contours et la forme du bain de fusion, de même que l'intensité aux différents points d'une image comme celle de la photo 1, l'ordinateur pourra identifier les problèmes.

Ceci ressemble, en partie, à ce qui se passe dans le cas d'une échographie effectuée sur une femme enceinte où, à partir des mensurations du bébé, on peut tirer certaines informations sur la santé de l'enfant.

Dans un deuxième temps, l'ordinateur doit interpréter le signal

d'erreur provenant de l'image pour faire varier, tout en se référant à une stratégie de contre-réaction, les cinq paramètres essentiels décrits précédemment. Il faut noter que l'ordinateur n'utilise plus une banque de données mais bien une stratégie de contre-réaction. Cette stratégie se développe à l'aide d'algorithmes qui peuvent agir en temps réel sur les cinq paramètres. Par exemple, si on détecte un défaut comme un surplus de métal d'apport et un décentrage de la torche par rapport au joint, l'ordinateur réagit sur deux ou trois paramètres dans des rapports particuliers pour modifier la quantité de métal d'apport et dans une direction donnée pour recentrer la torche. Avec les algorithmes appropriés, le procédé d'automatisation du soudage devient donc adaptatif. Le dispositif automatisé peut tra-

vailer avec une extrême précision puisque, sur un intervalle d'une seconde, les paramètres peuvent être modifiés de dix à quinze fois.

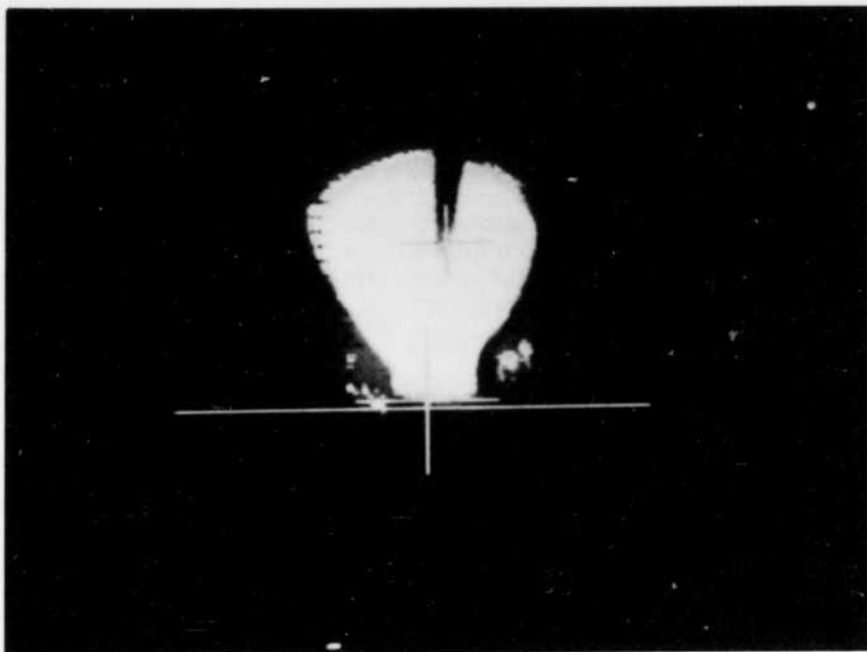
Avantages et contraintes du procédé

Le principal avantage du système de vision passive par rapport aux systèmes automatiques de soudage reste sans contredit sa capacité d'adaptation. La majorité des systèmes ne contrôlent que l'emplacement de la torche de façon à réussir un suivi de joint adéquat. Le système de vision passive développé récemment par l'I.G.M. peut, en plus d'exécuter parfaitement le suivi du joint, régir l'apport d'énergie et de masse en contrôlant en temps réel les conditions du bain de fusion. Puisque l'on peut contrôler la thermodynamique du procédé, la qualité du joint à souder en est d'autant assurée.

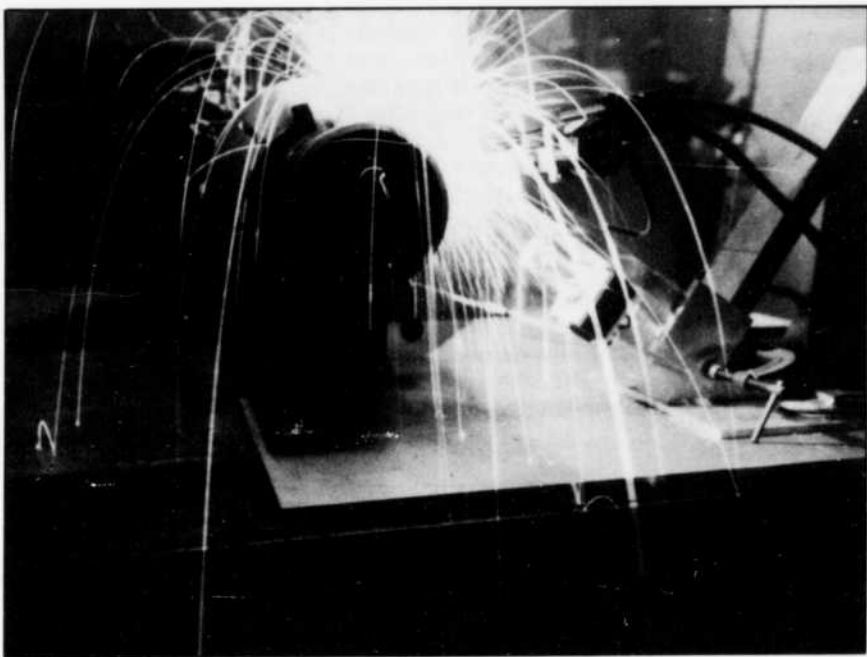
Somme toute, le système à vision passive constitue, actuellement, le seul dispositif automatique pouvant effectuer la soudure bout à bout. Une des raisons de la réussite de ce procédé peut être attribuée au contrôle adéquat qu'il effectue pendant la passe de fond du joint en «V» avec écart. Dans la soudure bout à bout, les phénomènes mécaniques tels que la gravité et les tensions de surface sont trop rapides pour être détectés à temps par une mesure de l'écoulement thermique de la pièce. Ces phénomènes sont, par ailleurs, difficilement prévisibles à partir de la mesure de la géométrie du joint, si précise soit-elle. Seule la vision passive peut agir en temps réel de façon à faire varier très rapidement les paramètres et à modifier les conditions d'opération de façon à s'adapter aux forces mécaniques mentionnées ci-dessus.

À l'heure actuelle, on applique le système de vision passive aux tuyaux qui roulent sur eux-mêmes tandis que la torche reste pratiquement immobile. C'est le cas le plus typique des applications d'assemblage de tuyauterie en usine. D'ailleurs, ce système comporte une stratégie de contre-réaction basée sur le principe qui veut que la force de gravité agisse toujours de la même façon sur le métal en fusion.

On travaille actuellement sur une façon de contrôler l'effet de la



Analyse d'une image transmise par la caméra



Assemblage de tuyauterie en usine

gravité sur le bain de fusion lorsqu'on soude sous le tuyau. De plus, on étudie la possibilité d'adapter ce procédé au soudage orbital des pipelines dont les coûts actuels sont élevés.

Investissement requis pour l'application du système

Lors du développement d'un tel prototype, il ne faut pas perdre de vue l'aspect économique de

l'application du procédé dans l'industrie. La recherche sur le prototype industriel, caractérisée par la vision passive, s'effectue afin qu'elle puisse être utile pour l'industrie canadienne. Notons que la plupart des pièces constituant l'automate de soudage sont disponibles à un prix abordable. Par exemple, le logiciel développé pourra fonctionner sur un ordinateur personnel. Essentiellement, l'achat de

tous les composants de ce système pourrait varier entre 100000\$ et 150000\$. Ces montants demeurent approximatifs, étant donné que le projet reste pour l'instant à l'étape du prototype industriel.

Conclusion

Les robots pénètrent très lentement le marché du soudage à l'arc. Un des objectifs de la recherche actuelle consiste donc à améliorer leurs faibles capacités sensorielles. En effet, bien que les robots-soudeurs possèdent une plus grande dextérité et une plus grande efficacité que les humains, ils sont aveugles et sans raisonnement par rapport à l'homme. Rappelons que le soudage bout à bout requiert du soudeur la capacité de s'adapter aux fluctuations mécaniques et thermiques de la soudure qu'il effectue. Il faut donc que le système automatisé soit constitué de capteurs qui pourront lui permettre de réagir en temps réel pour ainsi exécuter une soudure exempte de défauts.

Cet article a présenté succinctement quelques procédés d'automatisation du soudage en mettant toutefois l'accent sur le système à vision passive, conçu récemment par les chercheurs de l'I.G.M. Bien sûr, la vision passive n'est qu'une technologie parmi tant d'autres, mises au point par les centres de recherche du monde entier. Cependant, c'est la seule qui puisse réussir la soudure complexe de l'assemblage bout à bout de conduits.

La vision passive permet ainsi de réagir en temps réel sur toute la thermodynamique de la soudure. Pour ce faire, il a fallu résoudre l'épineux problème du traitement approprié des informations transmises par la caméra. Le procédé semble maintenant bien rodé, puis qu'un prototype industriel a confirmé les espérances des chercheurs en ce qui concerne la vision passive: une soudure bout à bout qui s'effectue normalement à la main en une demi-heure se réalise en quatre minutes à l'aide du prototype, la qualité de la soudure n'étant aucunement affectée.

suite à la page 14

L'Épuration des eaux contaminées à l'aide de la tourbe

Serge Lavergne
étudiant en génie chimique
Université de Sherbrooke

Cet article vise à démontrer la viabilité d'un procédé d'assainissement d'eaux usées contenant des métaux lourds et utilisant la tourbe comme agent sorbant.

Dans un premier temps, nous présentons des généralités jugées essentielles à propos de la tourbe: formation, composition, réserves mondiales et québécoises et classification. Suivra l'étude du traitement des eaux usées, cette partie constituant l'essentiel de cet article. Nous présentons ensuite un exemple de calcul, dans le but de pouvoir évaluer la quantité et les coûts de tourbe que pourrait représenter l'exploitation d'une usine de filtration en continu. Pour cela, nous utilisons des données fictives de débit, de concentration, de pH, de température et de temps de contact. Finalement, quelques possibilités d'élimination et de revalorisation des déchets d'exploitation contaminés seront envisagées.

Dans le but de ne pas surcharger inutilement cet article, l'argumentation sera basée presque exclusivement sur la démonstration et l'explication de résultats obtenus pour le mercure, ce métal étant suffisamment représentatif du reste de la famille des métaux lourds.

Grâce à sa composition et à sa structure poreuse, la tourbe s'avère un excellent échangeur ionique, principalement à cause de la présence d'acides humiques parmi ses principaux constituants. Cette caractéristique explique son attrait pour les métaux lourds qui sont généralement des actions.

Une application concrète de cette approche serait une industrie rejetant en grande majorité des métaux lourds en solution aqueuse acide ($3 \leq \text{pH} \leq 8$), telle qu'une aluminerie ou une aciérie. La tourbe brute (non traitée) possède une affinité certaine pour la plupart des métaux (Hg, Cd, Zn, Cu, Fe, Ni, Cr^{6+} et Cr^{3+} , Ag, Pb, Sb), pour les cyanures, les phosphates, les détergents, les colorants ainsi que pour les pétroles. L'épuration des eaux usées à l'aide de ce composé permet donc d'amener la qualité de l'eau d'un effluent

au niveau des normes de rejet énoncées par les différents gouvernements.

Compte tenu du faible rendement et du prix exorbitant des techniques actuelles d'élimination des métaux lourds, l'utilisation du procédé proposé ici pourrait trouver sa place sur le marché actuel. Il comblerait ainsi un manque dans les opérations effectuées dans une usine d'épuration moderne.

Introduction

De nos jours, tout ingénieur soucieux de la qualité de la vie et du bien-être de la communauté doit pouvoir prédire les effets néfastes de ses réalisations. Dans cette optique, le concepteur d'une usine polluante doit pouvoir suggérer des moyens d'assainir les résidus générés par sa création.

Le présent article vise justement à fournir une solution de rechange intéressante à un problème urgent: celui des métaux lourds en solution dans les eaux usées. Nous savons tous que ces derniers s'avèrent très difficiles à éliminer et qu'ils s'accumulent dans la chaîne alimentaire. De plus, les techniques actuelles d'élimination — boues activées, lits bactériens, etc. — sont fortement influencées par une concentration significative de ces métaux. La technique proposée ici veut contribuer à résoudre ce problème et ainsi franchir une étape importante dans le traitement des eaux usées.

Généralités

La formation de la tourbe

Lors de la dernière grande glaciation, il y a de cela une dizaine de milliers d'années, la fonte des glaciers a laissé des grandes étendues d'eau qui sont devenues des sites favorables à la formation de tourbières. En effet, lors de la décomposition anaérobie des végétaux qui constituent la tourbe, l'oxygène et le carbone, étaient retenus par l'eau. Cette décomposition a provoqué l'augmentation du carbone et la réduction des composés gazeux. La tourbe est donc considérée, en termes géologiques, comme du jeune charbon et elle ne contient pas de matières végétales vivantes. Il faut noter que, depuis

cette dernière grande glaciation, plusieurs couches de tourbe se sont accumulées dans les tourbières et que la coloration de celle-ci devient blonde, brune ou noire à mesure que la décomposition progresse.

La composition de la tourbe

On ne connaît pas la composition exacte de la tourbe. Cependant, les analyses chimiques (3) démontrent qu'elle est formée d'un noyau hydroaromatique auquel seraient rattachés par une liaison-H des peptides et des hydrates de carbone. Pour simplifier, on peut dire qu'elle est constituée de cellulose, d'hémicelluloses, de résines, de cires, de sucres, de peptides et de lignine, qui sont tous des composés des plantes. Elle contient aussi des substances humiques (composés du sol), des sels inorganiques et des métaux. Parmi tout ceci, les composés qui nous intéressent particulièrement sont les acides humiques (figure 1). Ces derniers captent facilement les métaux lourds par échange ionique. Le tableau 1 (3) résume l'essentiel des composants de la tourbe en indiquant leurs pourcentages approximatifs respectifs.

Composantes	Pourcentage en poids
Azote	1,23
Carbone	26,39
Cendre	3,86
Hydrogène	2,77
Oxygène	15,63
Soufre	0,12
Humidité	50,00

Tableau 1 Composition de la tourbe

Réserves mondiales

D'après certains auteurs (10), on estime les réserves mondiales de tourbe à environ 324 milliards de tonnes métriques. La part du Canada selon ces rapports est chiffrée à environ 30,2% des réserves mondiales, soit 98 milliards de tonnes métriques. La majeure partie des réserves mondiales sont en Union Soviétique.

Au Québec, les régions de la Baie James et de l'Ungava contiennent des gisements de tourbe importants, mais ceux-ci n'ont pas encore été répertoriés. On estime la réserve du Québec à environ 3 millions de tonnes métriques, alors que l'on retrouve des tourbières

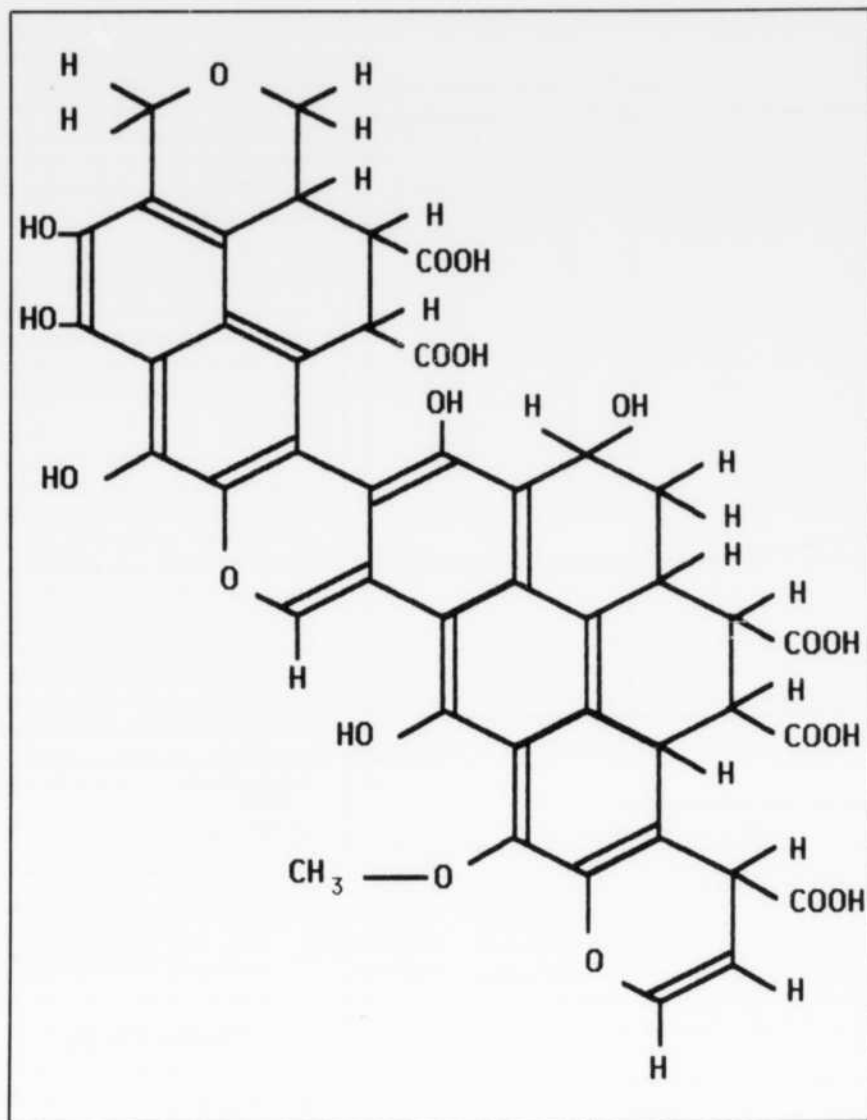


Figure 1 Représentation schématique des acides humiques selon fuchs

dans les régions de la Manicouagan, du Saguenay, de la Mauricie, sur la rive sud du St-Laurent (la ceinture de tourbières) ainsi dans la région de Matapédia en Gaspésie.

La classification de la tourbe

Comme nous l'avons indiqué, la tourbe se forme lors de la décomposition anaérobie des plantes et des substances humiques. Dans une tourbière, le degré de décomposition de la tourbe augmente avec la profondeur et donc avec la durée d'exploitation. Pour le projet que nous décrivons ici, tous les calculs ont été effectués avec de la tourbe de surface, communément appelée mousse de sphagne (peat moss). Cette dernière possède

d'ailleurs des propriétés chimiques bien connues.

Une donnée importante utilisée dans nos calculs est la granulométrie de la tourbe. À l'aide d'un tamis Tyler conventionnel, on peut déterminer une échelle de la taille des grains de tourbe à utiliser. Le tableau 2 résume les principaux diamètres de trous de tamis requis pour l'étude de la tourbe.

No (mesh)	Diamètre des trous (po.)
4	.185
8	.093
14	.046
28	.0232
48	.0116
60	.0097

Tableau 2 Échelle Tyler pour les tamis

Élimination des métaux lourds

La tourbe naturelle

Tel que mentionné plus haut, les acides humiques s'avèrent des constituants importants de la tourbe. Grâce à leurs fonctions carboxyliques (R-COOH), ces acides réalisent des échanges ioniques avec des cations. L'analyse complète de la réaction d'interception ne sera pas développée ici; nous pouvons, cependant, dire que l'essentiel de cette réaction se résume à ceci:



où Mé représente l'ion métallique. La fonction -OH de l'acide capte le métal et libère un proton H⁺. On constate que, plus la tourbe considérée est riche en acides humiques, plus il y a de sites d'échange et plus les ions métalliques sont retenus.

Toutefois, la réussite de cette méthode dépend de quatre facteurs déterminants:

- 1- le temps de contact tourbe-eau contaminée
- 2- le rapport tourbe/solution
- 3- le pH de la solution
- 4- la granulométrie de la tourbe utilisée

L'étude détaillée de ces facteurs dans le cas du mercure nous révèle une foule d'indications intéressantes:

1- On remarque que plus le temps de contact entre la tourbe et la solution est long, plus la concentration en métal dans l'effluent diminue. Cependant, un plateau est atteint après environ 40 minutes de contact, en moyenne (figure 2). À ce moment, la capacité d'échange n'est plus assez importante.

2- Les données du tableau 3 (1) nous indiquent que la quantité de tourbe requise pour décontaminer un litre d'eau usée augmente si la concentration en ions métalliques dans cette eau augmente aussi. On note une fois de plus la présence d'un plateau au voisinage de 80 grammes de tourbe par litre de solution.

3- Une augmentation du pH de la solution favorise la capacité d'échange ionique des acides humiques. (figure 3) (1). Cependant, une eau usée trop basique affecte la structure de la tourbe et celle-ci

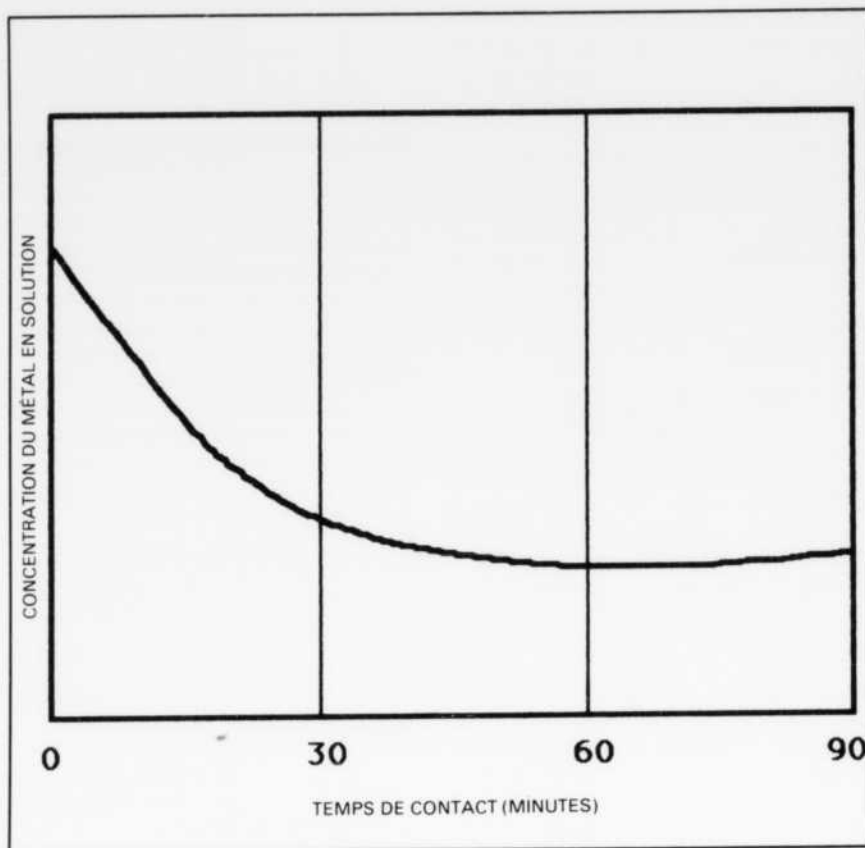


Figure 2 Concentration du métal résiduel en fonction du temps

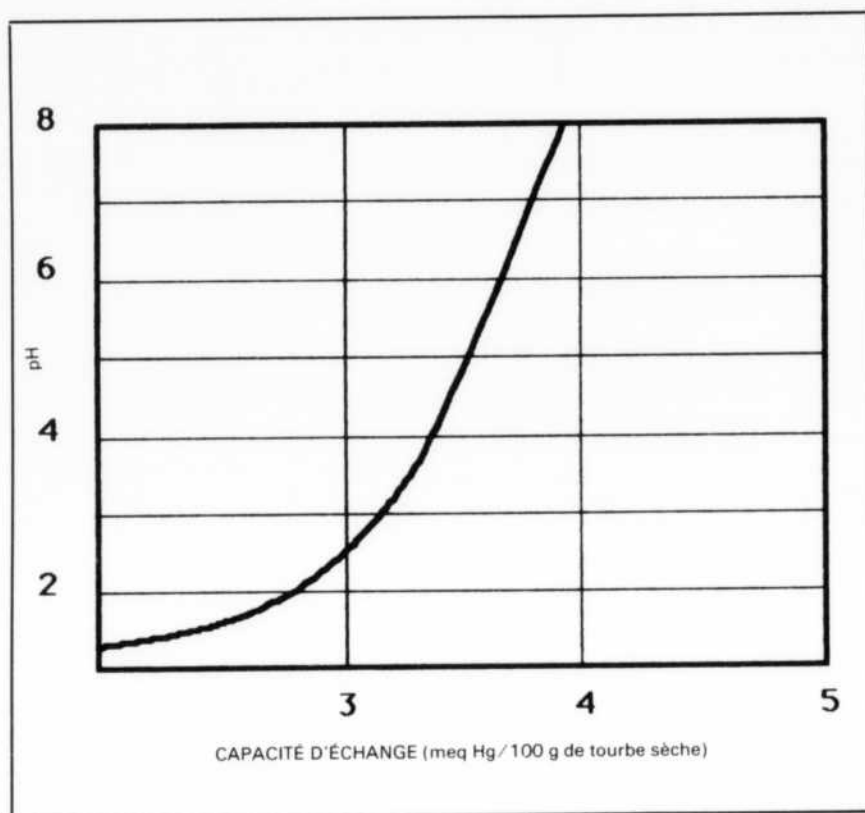


Figure 3 Capacité d'échange en fonction du pH

devient très difficile à manipuler. La tourbe ayant elle-même un pH acide de 4,5, on ne doit pas excéder un pH de 8,5. En milieu acide, un pH inférieur à 3 inverse la réaction d'équilibre et l'efficacité de la technique diminue significativement.

4- Pour ce dernier facteur, on s'aperçoit que plus les grains de tourbe sont petits, plus la capacité d'échange augmente (tableau 4) (1). Ce phénomène s'explique par une augmentation de la surface de contact.

La capacité d'échange ionique de la tourbe brute n'est pas négligeable. Il s'avère relativement simple de l'utiliser en continu, dans une usine de traitement, pour capter les métaux lourds, polluants très toxiques. En étalant la tourbe sur un lit, il est possible de traiter les effluents contaminés efficacement tout en utilisant une quantité raisonnable de tourbe.

granulométrie	4-8	8-16	16-30	30-50
capacité d'échange meq/100 g	13	14	14	15

Tableau 4 Capacité d'échange ionique en fonction de la granulométrie

Tourbe traitée

Il est possible d'améliorer les performances de la tourbe par une activation de celle-ci avec de l'ozone ou de l'ammoniac. Cette section traite de cet aspect.

Ozonisation

Cette opération consiste à oxyder certaines fonctions des constituants de la tourbe pour en tirer des acides carboxyliques. Ceux-ci favorisent l'échange ionique et ainsi, un plus grand nombre de cations sont captés par la tourbe.

Les résultats des recherches effectuées à ce propos (1) démontrent que le traitement de la tourbe par l'ozone est de faible durée pour une tourbe dont le taux d'humidité est supérieur à 30%. Cependant, il y a un certain nombre d'inconvénients dans l'utilisation de cette opération: à titre d'exemple, le pH de l'effluent à traiter influence de façon considérable l'efficacité du procédé et de plus, l'ozone s'avère fort coûteux.

pH de la solution	4,5
Concentration initiale en mercure	910 ppm
Granulométrie	8-16
Humidité de la tourbe	40%
Temps de contact	30 minutes

Concentration de la tourbe g/litre	Concentration en mercure ppm	Capacité d'échange meq/100g
10	790	20
20	700	17
30	630	15
40	570	14
50	520	13
60	460	12
70	436	11
80	403	10
90	370	10

Tableau 3 Concentration à l'équilibre en fonction du rapport tourbe — solution

Ammoniacation

On peut amener une solution au problème d'acidité en activant la tourbe avec de l'ammoniac. Encore une fois, ce procédé favorise la formation des acides carboxyliques. Par le phénomène d'absorption, la tourbe traitée capte encore mieux les ions métalliques. Ce procédé peut fonctionner en continu avec quelques bassins de traitement pour un coût relativement peu élevé. Le tableau 5 (1) montre les résultats obtenus avec une tourbe ammoniacuée, humide à 55,5% pour une concentration initiale de 640 ppm. Notons qu'il s'agit ici des résultats obtenus pour le cuivre.

Temps de contact (minutes)	Concentrations finales (ppm)
5	370
10	325
15	320
30	330
60	330

Tableau 5 Concentration résiduelle du cuivre en fonction du temps
Rapport tourbe/solution, 20 g/litre

Ce procédé d'activation, l'ammoniacation, est relativement simple et d'utilisation aisée. Il pourrait facilement être intégré au traitement des effluents contenant des métaux lourds en solution. Outre l'ozone et l'ammoniac, d'autres flocculateurs sont aussi disponibles sur le marché et s'avèrent quelque

fois aussi efficaces. Avec la tourbe, les plus intéressants sont FeCl₃, NaS, FeSO₄ ou une combinaison ceux-ci.

Analyse de coûts

Cette section vise à donner un aperçu de la quantité de tourbe nécessaire au traitement en continu d'un effluent fictif ainsi qu'aux coûts que cela peut représenter.

Le prix en vrac de la tourbe brute vendue en sacs de 50 kg est d'environ 10 dollars le sac. Cependant, lorsque la quantité requise en vaut la peine, il est possible d'obtenir une bonne tourbe pour moins de 30 dollars la tonne. Le débit d'eaux usées que nous utilisons requiert une quantité de tourbe suffisante pour que nous calculions le prix à la tonne.

La donnée essentielle dans cette analyse de coûts est la quantité de tourbe requise pour décontaminer un certain volume d'eaux usées. 1,5 lb de tourbe est suffisant pour traiter 250 gallons d'eau

contaminée, si la concentration en métal ne dépasse pas 10 ppm ou 100 ppm d'un colorant quelconques. Ce résultat a été obtenu à l'aide d'un pilote traitant 20 000 gallons d'eaux usées par jour (Projet Couplan, du nom de ses inventeurs). Le tableau 6 résume l'essentiel des données nécessaires à l'estimation des coûts qu'entraîne l'utilisation de la tourbe dans le traitement des eaux usées. Noter que le débit a été arbitrairement fixé à 10 800 m³ par jour, soit 2,85 millions de gallons ou 3,5 fois la capacité d'une piscine olympique ayant un fond moyen de 9 pieds. Ces résultats sont obtenus par traitement en continu.

- 1) *Quantité d'eaux usées*
10800 mètre cube/jour =
 $2,85 \times 10^6$ gallons par jour.
- 2) *Quantité de tourbe*
 $1,5 \text{ lb} \times 2,85 \times 10^6 \text{ gallons}$
 $\div 250 \text{ gallons} = 17.100 \text{ lbs}$ ce qui équivaut à 7,773 tonnes métriques de tourbe.
- 3) *Montant d'exploitation*
 $7,773 \text{ tonnes} \times 30\$ = 233\$$
par jour

Avec cette concentration initiale (10 ppm), nous récupérons 108 kg de métal par jour, soit près de 40 tonnes métriques par année.

Élimination des déchets

Le problème de l'élimination des déchets s'avère, depuis toujours, la contrainte majeure de tous les systèmes dépolluants. Le cas des métaux lourds est sans aucun doute l'un des plus difficiles car il n'existe aucune technique rentable de revalorisation. De plus, ces polluants sont quasi indestructibles naturellement et ils s'accablent dans la chaîne alimentaire. La solution ici proposée a l'avantage de concentrer ces métaux; elle «désinfecte» par le fait même

Concentration initiale de mercure	10 ppm
Prix de la tourbe	30\$ la tonne
Débit d'eaux usées	10800 m ³ /jour
pH	6,0
Granulométrie	4-8
Humidité de la tourbe	0,40
Température	22,5 C
Temps de contact	45 minutes
Rapport tourbe-solution	1,5 lb/250 gallons

Tableau 6 Données relatives à l'analyse de coûts

les boues organiques. Ceci permet l'élimination efficace de ces dernières par des moyens naturels, tels l'épandage dans un champ.

Quant à la tourbe contaminée, on peut envisager plusieurs méthodes pour s'en débarrasser. L'une des plus efficaces est probablement la pyrolyse sous vide. La pyrolyse constitue une opération valorisante par laquelle on transforme la tourbe ainsi que les composés organiques en produits plus simples, principalement des gaz non condensables, du goudron et du coke. Ce dernier est d'ailleurs utilisé dans la métallurgie pour la fabrication d'aciers spéciaux. La pyrolyse est un genre de combustion s'effectuant dans des conditions très spéciales, c'est-à-dire avec une présence réduite en oxygène. Dans notre cas, l'idéal serait d'effectuer la pyrolyse avec le meilleur vide possible dans le but de contrôler les vapeurs toxiques de métal.

Les entreprises métallurgiques possèdent généralement une dépense énergétique assez importante et une partie de l'énergie perdue pourrait être utilisée pour alimenter un four pyrolytique. Cette forme d'élimination trouve son attrait dans plusieurs domaines. Premièrement, les gaz formés (CH₄, CO₂, H₂...) peuvent être brûlés pour aider à fournir la chaleur nécessaire à la réaction. Ensuite, la tourbe contient seulement 4% de cendres par unité de masse, ce qui amoindrit un problème important, celui de la manipulation des déchets. De plus, nous savons que la tourbe capte en métaux environ 4% de sa masse.

Les cendres obtenues comportent donc une part importante en métaux qu'on peut mieux revaloriser. Cet aspect s'avère des plus intéressants, car la manipulation des cendres contaminées est très dangereuse.

Conclusion

Cette étude ne prétend pas avoir épuisé le sujet. Loin de là! Chacune des sections pourrait faire l'objet d'un document plus détaillé. Cependant, elle résume assez bien l'essentiel du traitement des eaux usées par la tourbe.

L'avantage fondamental de ce type de traitement est qu'il favorise une revalorisation plus aisée des résidus. Cette voie constitue d'ailleurs la seule solution rentable, du point de vue humain, qu'il nous reste. L'arrêt du gaspillage des matières premières et une conscientisation accrue de toutes les couches de la société vis-à-vis des grands problèmes environnementaux sont autant de buts à atteindre pour l'ingénieur d'aujourd'hui et celui de demain.

Références

1. BEERLI, Marc. *Activation et utilisation de la tourbe dans le traitement des eaux contaminées par les métaux lourds*, Sherbrooke, s. éd., 1973, 2 tomes, 443 p.
2. CAVALIER, J.C., et Esteban CHORNET. «Conversion of peat with carbon monoxide and water», *Fuel*, Angleterre, vol. 56, no 1, (janvier, 1977), p. 57-64.
3. CENTRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE DU QUÉBEC, *La tourbe, techniques modernes d'exploitation et utilisations à travers le monde*, Ste-Foy, s. éd., 1980, 86 p.

4. CHORNET, Esteban, et Christian ROY. «Le potentiel énergétique des réserves de tourbes du Québec», *L'Ingénieur*, Montréal, vol 64, n° 326, (juillet-août, 1978), p. 12-19.
5. COUPAL, Bernard, et Jean-Marc LALAN-CETTE. «The treatment of waste waters with peat moss», *Water Research*, Pergamon Press, Grande-Bretagne, Vol 10, 1976, p. 1071-1076.
6. GIROUX, Lynda. «L'or vent: un potentiel à mettre en valeur.» *Liaison Bulletin d'information*, Sherbrooke, vol 21, 23 octobre 1986, p. 7.
7. LE GROUPE DE GÉNIE CHIMIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE. *Rapport d'activités concernant l'octroi stratégique de développement*, Sherbrooke, s. éd., 1973, 33 p.
8. ROY, Maurice. «Les magiciens de la tourbe», *L'Actualité*, Montréal, vol 6, n° 6, (juin, 1981), p. 93-100.
9. THÉRIEN, N., J.M. BOUCHER, ET M. BEERLI. «Carbonisation de la tourbe pour l'élimination d'ions métalliques en solution aqueuse», *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, Ottawa, vol 55, n° 2, (avril, 1977), p. 192-196.
10. TIBBETTS, T.E., et J.A. FRASER. «The utilization of Canadian Peat As An Alternative Energy Source», *CIM Bulletin*, Ottawa, vol 71, n° 797, (septembre, 1978), p. 107-111.
11. WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. *Exploitation des stations d'épuration des eaux usées*, s. 1., AQTE, 1976, Manuel de pratique n° 11, 526 p.

l'ingénieur

Remerciements

Nous remercions tout particulièrement MM. Normand Thérien, Marc Beerli et Denis Gravelle, professeurs au Département, pour leurs conseils pratiques et leur grande disponibilité, ainsi que Isabelle Thibeault et Barbara Bouffard qui ont aidé à la réalisation technique de ce travail.

suite de la page 9

Il va sans dire que le défi reste de taille pour les chercheurs, car pour de multiples applications d'assemblage on est encore à la recherche d'un soudage automatisé approprié. Cependant, les recherches actuelles portent déjà fruit, puisque bientôt les industries pourront profiter des nouvelles techniques de la vision passive mises au point par des chercheurs canadiens.

Remerciements

Je remercie M. François Nadeau, de l'Institut de Génie des Matériaux, qui a mis

à ma disposition certaines données techniques utiles à la composition de ce texte.

l'ingénieur

Références

- ASM Committee on Gas Metal Arc Welding. *Gas Metal Arc Welding Publication*.
- BLODGETT, O.W. «Joint Design and preparation», *The Lincoln Electric Company*.
- CIELO, P., DUFOUR, M., NADEAU, F. «A real time vision system for robotic arc welding». *Abstract*, C.N.R.C., 1986
- Institut de Génie des matériaux, «Le soudage», C.N.R.C., 1986
- KALPAKJIAN, Serop. «Manufacturing processes for engineering materials». Edition Addison-Wesley, 1985

répertoire des annonceurs

Beaulier inc.	23
Bouthillette Parizeau et assoc.	23
Cooply	32
Digital Equipment of Canada	C-3 C-4
Dufresne, Farley, Samson...	23
Hydro-Québec	32
Lalonde, Girouard, Letendre	23
La Rapière	31
Lavalin inc.	23
Les Lab. Industriels et comm.	31
Mastix SA (Probec)	32
Mon-ter-val	31
Quéformat Ltée	31
Relcon Inc.	C-2
Richard Sauvé	31
SIAL	23

Un outil de formation et d'optimisation

Le simulateur Talar

Yves C. Munger
Étudiant en Génie Mécanique
Université Laval

Introduction

Il n'existe pas, ou presque pas, de procédé technologique complexe qui nous soit vraiment totalement connu, ou dont tous les phénomènes qui y participent aient été proprement modélisés. Par procédé technologique complexe, nous entendons ici tout procédé de fabrication ou de transformation impliquant plusieurs étapes et plusieurs phénomènes physiques, chimiques ou mécaniques. En fait, la plupart de ces procédés ont été développés par des méthodes empiriques. La raison en est simple: ils sont considérés comme des «boîtes noires», jusqu'à un certain point mystérieuses. De plus, le nombre de paramètres et variables dont on doit tenir compte a empêché jusqu'à ce jour tout essai de modélisation.

Le groupe de travail en simulation et optimisation du Département de génie mécanique de l'Université Laval a décidé d'attaquer de front le problème et de l'aborder avec une perspective nouvelle. On commence par modéliser mathématiquement le procédé ou le système, et on applique ces modèles mathématiques à la simulation et à l'optimisation.

Le cas que nous traitons ici est celui du simulateur «TALAR», un simulateur de machine à papier. Nous présentons, plus particulièrement, la partie du simulateur global qui simule le module humide de la machine à papier. Cette section englobe la caisse d'arrivée et la table de formation ou «fourdriner» (figure 1). On gardera à l'esprit que ce module n'est que l'un des trois qui représentent le procédé de fabrication (ou la machine à papier complète).

Nous poserons d'abord les bases de ce qu'est, pour nous, le concept de la modélisation, de la simulation et de l'optimisation, pour ensuite nous concentrer sur le simulateur comme tel et détailler ses parties statiques et dynamiques. Nous traiterons ensuite des intérêts pour l'industrie d'un tel simulateur, tout d'abord du point

de vue didactique et ensuite des aspects d'optimisation et de commande du procédé.

Les bases de la simulation

Pour modéliser un procédé technologique complexe, il faut d'abord connaître ce procédé dans ses moindres détails et, du côté mécanique, bien connaître les machines ou systèmes qui effectuent les transformations sur la matière première. Une fois les différents systèmes bien identifiés, on procède à la modélisation à l'aide des équations de base comme, par exemple, les équations de conservation de la masse et de l'énergie, ou des équations de la mécanique des fluides. Notons que la plupart, pour ne pas dire tous les systèmes réels, génèrent des systèmes d'équations non linéaires devant lesquels les méthodes traditionnelles de résolution demeurent insuffisantes. Comme l'un des buts de cette simulation et de cette optimisation du procédé est de pouvoir faire éventuellement une commande du procédé en temps réel, les méthodes numériques demeurent hors de question à cause de leur très long temps de calcul.

Pour obtenir un modèle simple, efficace et surtout programmable, on devait donc trouver une

manière de rendre ces équations linéaires. Nous utilisons ici la théorie des commandes optimales développée simultanément par deux théoriciens: le Russe *Pontryagin* et l'Américain *Bellmann* (1). Après avoir programmé ce modèle et avoir effectué la simulation, on se tourne vers l'optimisation du procédé, donc de ses systèmes, et bien sûr du travail des ouvriers, pour enfin pouvoir effectuer la commande de la machine «on-line», ou «en temps réel».

Or le simulateur que nous présentons ici incorpore tous ces éléments indispensables au travail de simulation et d'optimisation. Il inclut un examen statique, la simulation comme telle ou simulateur dynamique, et les méthodes de programmation et de modélisation, laissent la porte largement ouverte aux développements futurs et à l'optimisation. Il est, de plus, assez général pour être appliqué sur plusieurs machines différentes, ce qui le rend polyvalent.

Le simulateur Talar

a) L'examen statique

La base de toute simulation réaliste repose, à notre avis, sur une connaissance approfondie du procédé à simuler, et donc des différents composants des systèmes

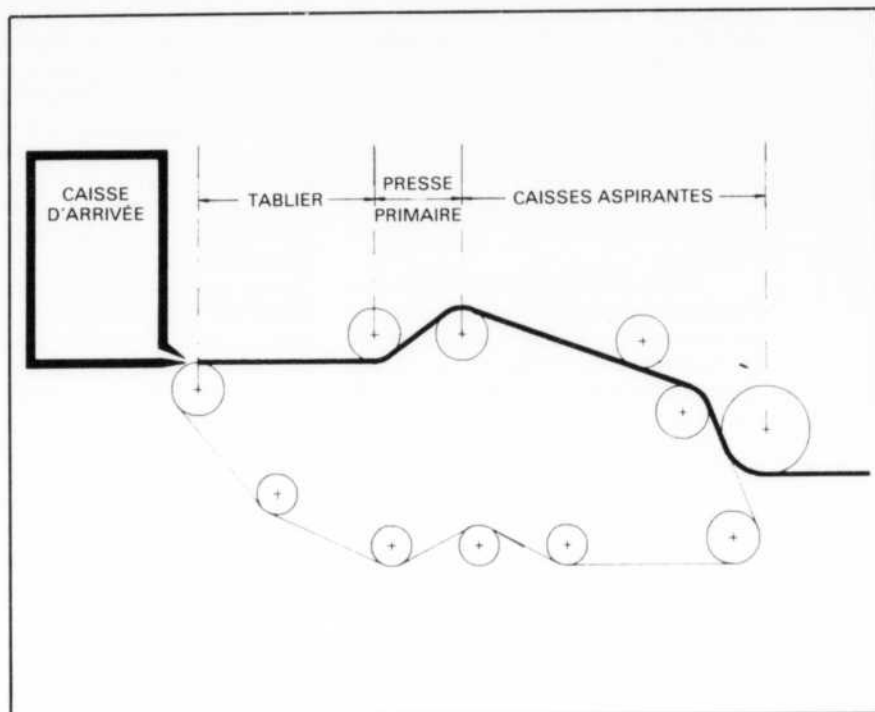


Figure 1 Module humide d'une machine à papier

qui forment ce procédé. L'examen statique est justement incorporé au simulateur *TALAR* afin de bien examiner les systèmes qui composent la machine à papier. On examine donc les éléments de la machine un à un, en détaillant tous les composants, les boucles de commande et les boucles de contrôle (figure 2).

L'examen statique a pour but principal de déterminer les différents paramètres et variables qui seront utilisés dans le modèle mathématique et la simulation. Ainsi, on différencie trois types de variables. Le premier concerne les variables de commande, qui doivent être gouvernables (ou, comme le dit leur nom, commandables) et observables (ou mesurables). Dans le cas de la caisse d'arrivée, par exemple, le débit de pâte arrivant à la caisse ou le débit d'air nécessaire pour garder la pression dans la caisse sont considérés comme des «variables de commande». Le deuxième type de variables comprend «les variables d'état» et représente justement, et à titre d'exemple, les états de la pâte dans la caisse d'arrivée. Ces variables d'état doivent être observables si l'on veut vérifier la validité du modèle mathématique, mais elles sont calculées lors de la simulation. La pression ou la température dans la caisse, par exemple, sont étiquetées ici variables d'état. Enfin, la dernière catégorie regroupe les variables de sortie. Ces variables doivent évidemment être mesurables; ce sont elles qui seront données au modèle pour prévoir les états et générer les commandes appropriées. La vitesse et la consistance à la sortie de la caisse sont des exemples de «variables de sortie».

Un autre but de l'examen statique est l'établissement des bases de données du simulateur, dans lesquelles sont décrits tous les composants de tous les systèmes de la machine. Ces banques de données sont interactives, c'est-à-dire que, pour chaque composant, toutes les caractéristiques sont modifiables afin de pouvoir appliquer le simulateur sur n'importe quelle machine à papier. Les bases de données incluent des renseignements à caractère statique et dynamique qui seront utilisés par les modèles mathématiques.

L'examen statique de la machine nous prépare à la partie la

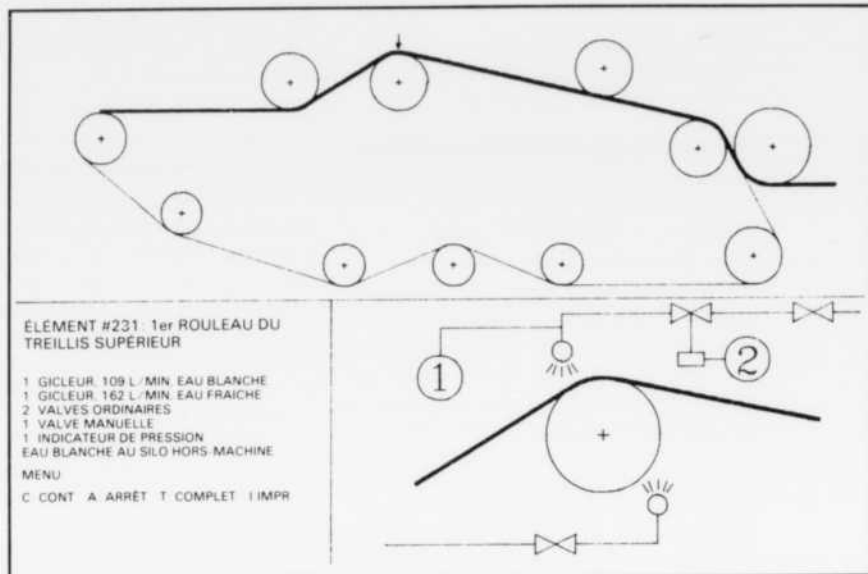


Figure 2 Exemple de l'examen statique

plus importante du simulateur, le simulateur dynamique. Ainsi, lorsque toutes les variables ont été déterminées, et que leurs interactions sont connues, on peut passer à la modélisation dynamique et à la simulation proprement dite.

b) La simulation

Un ensemble d'équations décrivant en termes mathématiques le comportement d'un système, quel qu'il soit, est appelé un *modèle mathématique*. Il existe plusieurs formes de modèles, puisqu'un système donné peut être visualisé sous différents aspects, mais surtout parce que ce que l'on entend faire du modèle a une influence déterminante sur la forme que l'on désire obtenir.

Dans notre cas, il est important, pour ne pas restreindre l'applicabilité du simulateur, de construire un modèle assez général mais surtout de garder à l'esprit que ce modèle devra être applicable, ce qui revient à dire qu'il devra être programmable, donc linéaire. Jusqu'à récemment, une des méthodes des plus populaires pour la modélisation a été celle utilisant les fonctions de transfert; cette méthode est connue sous le nom de méthode PID. Elle consiste à considérer le système comme une boîte noire, avec une entrée et une sortie. On applique un signal connu à l'entrée, et d'après l'allure de la sortie, on détermine les constantes de temps et les gains du système pour que le modèle suive de plus

près possible la réalité. Mais la méthode de la boîte noire laisse grandement à désirer si l'on veut comprendre, le mieux possible, un système. En effet, quoi de plus frustrant pour un esprit scientifique que de se retrouver devant une boîte mystère?

Heureusement, il existe maintenant des méthodes qui permettent d'ouvrir cette boîte et de détailler le comportement d'un système. Une de ces méthodes, que nous appellerons ici la *théorie des commandes*, permet en plus de ne pas avoir à considérer des systèmes à une seule entrée et une seule sortie. C'est cette méthode qui a été appliquée ici.

Nous commençons tout d'abord par réduire le procédé en systèmes plus simples. Nous considérons pour cela le fait qu'à différents points du procédé, les phénomènes physiques prépondérants ne sont pas les mêmes, et que des modèles mathématiques différents devront être appliqués. Ainsi, dans le cas de la section humide d'une machine à papier, on peut séparer le procédé en quatre régions distinctes (figure 1), soit: la caisse d'arrivée, le tablier ou table de formation, la section à double toile ou presse primaire et la section des caisses aspirantes.

Nous développons donc, pour chacune de ces quatre sections, un modèle mathématique différent et, entre ces modèles, nous devons développer des modèles secondaires qui assureront la transition

entre les modèles mathématiques principaux. Par exemple, entre la caisse d'arrivée et la table de formation, un modèle prenant en considération la théorie des jets libres de la mécanique des fluides sera mis de l'avant (figure 3). Pour fixer les idées, nous considérerons ici le modèle mathématique développé pour la caisse d'arrivée.

À partir des systèmes relativement complexes et spécialisés que l'on retrouve dans l'industrie, nous généralisons le système tout en gardant l'essence du système original. Cet exercice a pour but de rendre notre modèle, et donc notre simulateur, applicable à une variété de caisses différentes retrouvées dans l'industrie (figure 4). Ayant accompli cette étape, nous passons à la modélisation comme telle, avec l'application des équations de base habituelles (conservation de masse et d'énergie, équations appliquées à des systèmes réels mènent toujours à des systèmes d'équations non linéaires.

Nous procédons alors à la linéarisation de ce système d'équations. Comme dans tout effort pour rendre des équations linéaires, nous devons, à ce stade de la modélisation, procéder à quelques approximations. L'écueil ici est dans le fait que des approximations trop grossières ou non justifiées rendraient tout simplement le modèle irréaliste. Il n'est pas toujours aisé, comme on serait porté à le croire, d'éviter ce danger; souvent, ce sont justement ces approximations indésirables qui simplifieraient le plus le système d'équations. Dans le cas de la caisse d'arrivée, nous considérons tout simplement que le système évolue autour d'un certain état d'équilibre, et que les variations autour de ce point sont petites.

Cette approximation, dans le cas du procédé de fabrication du papier, est parfaitement justifiée, car une trop grande variation autour de l'équilibre entraînerait à coup sûr une casse à un point quelconque de la machine, ou une mauvaise qualité du produit fini. Ayant admis comme justifiable cette approximation, nous pouvons développer nos équations en séries de Taylor et laisser tomber les termes de degré supérieur à un, puisqu'ils deviennent négligeables. Nous obtenons ainsi un système d'équations linéaires facilement

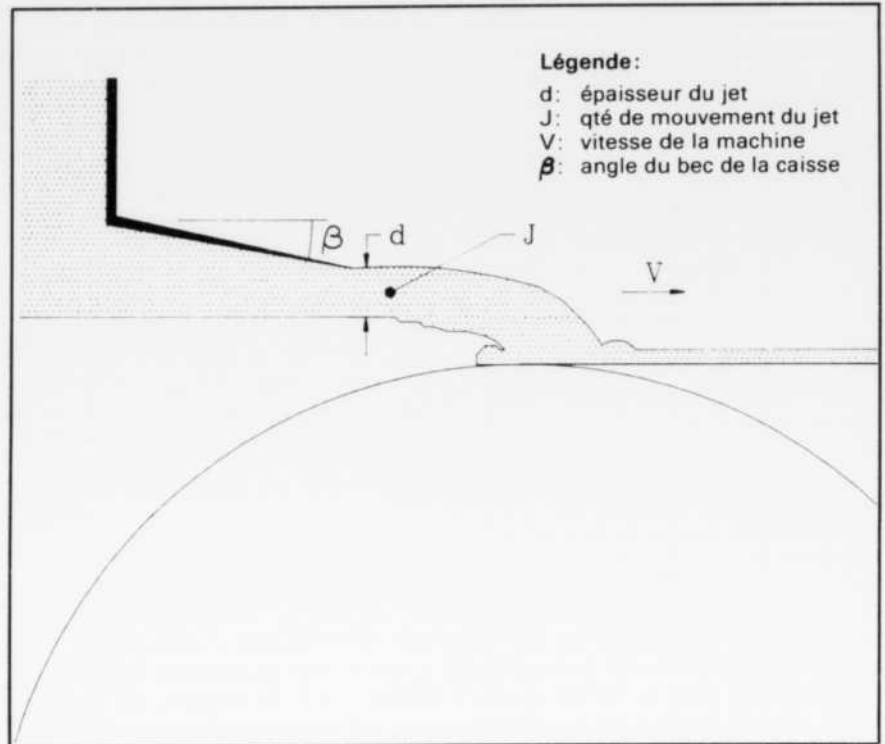


Figure 3 Modèle de transition: caisse - tablier

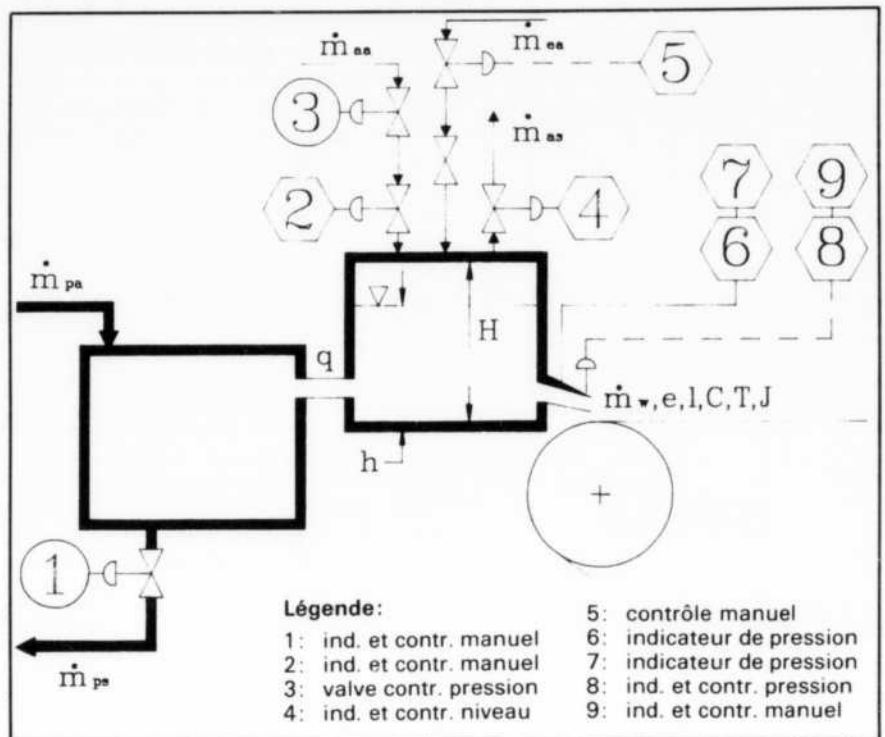


Figure 4 Modèle général caisse d'arrivée

programmables et identifiables, et nous avons résolu le mystère de la fameuse boîte noire! La figure 5 représente justement l'intérieur d'une telle boîte.

Intérêts pour l'industrie

Nous avons décrit l'aspect théorique de notre travail. Passons maintenant aux applications et aux

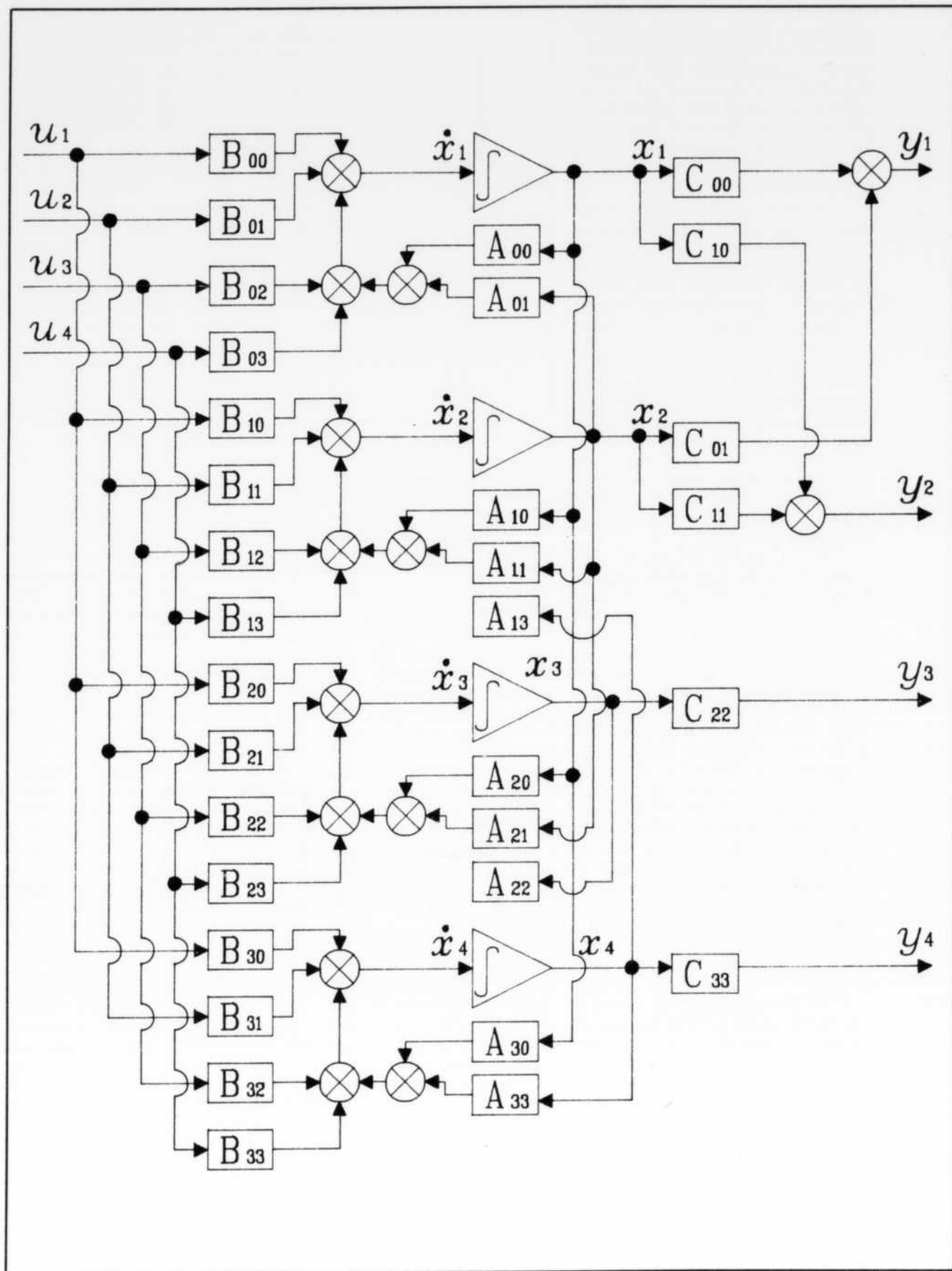


Figure 5 Schéma analogique d'état

intérêts pour l'industrie de notre simulateur et de nos méthodes. Ces intérêts reposent sur un avantage didactique évident et sur une capacité de procéder à une optimisation du procédé.

a) L'intérêt didactique

À partir de discussions avec différents intervenants de l'industrie des pâtes et papiers, il appert que l'on considère que de 50 à 70% d'une production efficace reposent sur l'expérience et l'habileté de l'opérateur de la machine et des papetiers. La formation de ces derniers revêt donc une importance capitale pour la firme.

Du côté pratique, si l'on considère la vitesse des machines à papier (2800 pi/min pour une machine conventionnelle et jusqu'à 3500 pi/min pour une machine plus récente!) et l'importance d'une production stable dans cette industrie des plus compétitives, une formation sur le tas des employés est tout simplement impensable. En effet, pour donner une idée générale, une casse sur la machine, représentant un arrêt de la production d'à peine deux minutes, occasionne une perte d'environ un mille (1,6 km) de papier!

Il devient donc évident qu'un simulateur, reproduisant fidèlement les conditions de travail d'un opérateur, sur lequel il aurait le contrôle des mêmes variables que sur la machine réelle et qui prédirait et montrerait à ce dernier les conséquences de toutes ses actions, sans occasionner de pertes de production à la firme, serait d'une énorme utilité. De plus, on pourrait facilement montrer à l'employé comment réagir aux situations normales et aussi aux perturbations exceptionnelles qui pourraient survenir dans l'exercice de ses fonctions.

b) L'intérêt de l'optimisation

L'optimisation d'un procédé et du mode de commande d'un procédé conduit à une utilisation plus rationnelle des équipements existants et peut même permettre de suggérer des améliorations à apporter aux systèmes pour obtenir de meilleurs rendements de production. Dans l'industrie, certains responsables considèrent que des améliorations permettant d'obtenir des augmentations de rendement de l'ordre d'à peine 1% sont très importantes. Or une meil-

leure connaissance du procédé et des systèmes qui le composent ne peuvent que mener à des améliorations.

De plus, le processus d'optimisation peut s'effectuer sous plusieurs aspects. On peut optimiser la commande du procédé en utilisant la théorie des commandes optimales, l'optimiser au niveau énergétique en diminuant la consommation ou optimiser la production en diminuant le nombre d'arrêts. Mais il reste que tout effort d'optimisation doit tenir compte des opérateurs qui travaillent sur le procédé, d'où l'importance de l'aspect didactique de notre simulateur.

Conclusion

Nous avons présenté ici l'exemple de l'application d'une philosophie de simulation au procédé de production du papier. Il est évident que cette ligne de pensée et de travail peut être appliquée à n'importe quel procédé technologique ou système complexe. Ainsi, dans le groupe de travail en simulation et commandes optimales du Département de génie mécanique de l'Université Laval, des projets similaires de modélisation, de simulation et d'optimisation sont en cours pour une usine de ciment, pour un four à anode destiné à l'industrie de l'aluminium et pour le procédé de fabrication du verre. De plus, des applications au domaine de la robotique et de l'aéronautique sont en cours de développement.

Le simulateur présenté ici comme exemple n'est qu'un de trois modules du simulateur complet d'une machine à papier. Nous travaillons également à l'élaboration de la simulation des modules de pressage et de calandrage, ainsi qu'à celle de la section des séchoirs de la machine à papier. Ces trois modules seront éventuellement réunis dans un simulateur global du procédé qui servira à la formation générale, à l'optimisation et finalement, à la commande du procédé.

Nous avons de plus obtenu la collaboration de l'industrie pour le projet de simulateur de machine à papier. Ainsi, une usine de papier journal nous assiste dans la détermination des coefficients réels du procédé, une firme de fabrication de

systèmes de commande de procédé est déjà intéressée à l'application de nos principes à la commande temps réel («on-line») de la caisse d'arrivée d'une machine à papier et une entreprise spécialisée dans la formation de travailleurs du domaine des pâtes et papiers nous appuie dans notre démarche.

Enfin, il faut réaliser que le travail ne fait que commencer et que les plus importants développements restent à venir. En effet, le simulateur devra fonctionner en temps plus rapide que le temps réel, prendre une série de mesures en un point du procédé, effectuer à l'aide du modèle mathématique la prévision de l'aspect de toutes les variables tout au long du procédé, pour revenir et effectuer les changements de commandes nécessaires pour obtenir les résultats désirés, si ces changements sont nécessaires. Il rest donc encore beaucoup de travail sur les plans de modélisation et de simulation avant d'appliquer le tout à l'optimisation du procédé.

Références

1. ATHANS, M., FALB, P.L., *Optimal Control, an Introduction to the Theory and its Applications*. McGraw-Hill Book Co. Toronto, 1966.
2. OGATA, K., *Modern Control Engineering*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1970.
3. TARASIEWICZ, S. and all, *Contemporary Theory of the Automation in a MiniNg Industry*. Scientific Edition No. 546. Cracow, Poland, 1980.
4. Notes de cours de *COMMANDES OPTIMALES*, donné par le professeur Stanislaw Tarasiewicz, ing., Ph.D., au Département de génie mécanique de l'Université Laval, Automne 1986.

Lisez
l'ingénieur
votre
revue

La télédétection par satellite

par Gaston Doiron
étudiant en génie civil
Université de Moncton

Introduction

La «télédétection» consiste à identifier et mesurer des phénomènes terrestres et à évaluer la qualité de l'environnement à partir d'instruments éloignés de la Terre.

Les satellites, qui suivent continuellement autour de la Terre des orbites bien définies, transportent à leur bord des instruments très perfectionnés. L'information qu'ils fournissent est souvent très utile. Une partie de cette information, notamment sur les incendies de forêts, le déplacement des glaces dans les voies de navigation, les effets des inondations au printemps et d'autres situations d'urgence, serait inutile si elle n'était pas transmise rapidement aux responsables pour leur permettre de prendre des actions adéquates. D'autres données, cartographiques par exemple, ne nécessitent pas un traitement aussi rapide.

La télédétection est un outil précieux pour un pays comme le Canada avec ses vastes étendues, en grande partie inaccessibles. Des données peuvent être recueillies sur de vastes zones pour un coût et en un temps beaucoup moindres que si l'on utilisait des moyens plus classiques. La «télédétection» est utilisée dans des domaines tels que la géologie, l'agriculture, la sylviculture, l'hydrologie, l'urbanisation et bien d'autres.

Caractéristiques du spectre électromagnétique

L'élément principal de la télédétection est la lumière. La partie visible du spectre électromagnétique se situe entre 0.4 et 0.75 micromètre. Divers types de capteurs sont conçus pour détecter les autres longueurs d'onde. Dans cette section, les longueurs d'onde mesurées par la télédétection seront décrites brièvement.

Le spectre électromagnétique

La meilleure façon de distinguer les couleurs consiste à utiliser des courbes spectrophotométriques.

La quantité totale de lumière réfléchie est divisée en bandes de longueurs d'onde, ce qui permet de mesurer l'intensité de chaque longueur d'onde distincte. Le vert d'un conifère est quelque peu plus bleu que le vert d'un arbre à feuilles caduques, et cette différence apparaît bien sur les courbes de couleurs. Ce sont l'enregistrement et l'analyse des signatures spectrales qui présentent un intérêt particulier en télédétection. Il n'est parfois pas nécessaire de considérer la courbe complète pour découvrir ce qui nous intéresse. Il peut suffire de mesurer une seule longueur d'onde, ou quelques longueurs d'onde.

L'infrarouge

Un objet situé au sol produit deux types de rayonnement infrarouge: l'un dû au rayonnement solaire réfléchi (proche infrarouge) et l'autre à l'émission par l'objet lui-même d'un rayonnement thermique (infrarouge thermique). L'infrarouge optique ou proche infrarouge s'étend de 0.75 à environ 3.0 micromètres. La région de l'infrarouge thermique va de 3.0 micromètres à environ 1 mm. Le rapport entre le pouvoir d'émission et la température présente un aspect intéressant en ce qui concerne le comportement de la terre et celui de l'eau. La terre se refroidit la nuit beaucoup plus vite que l'eau, et se réchauffe beaucoup plus vite durant le jour. Par conséquent, sur une image infrarouge d'une masse d'eau prise pendant le jour, la terre apparaît plus chaude que l'eau. Ainsi, sur une photographie l'eau sera foncée, avec un arrière-plan plus clair.

Les hyperfréquences

Dans la région des hyperfréquences, le pouvoir d'émission de diverses matières diffère énormément de l'une à l'autre, ce qui signifie que la quantité de rayonnement émise par différents objets à la même température peut être très différente. C'est donc là une excellente technique de détection des limites entre diverses matières ayant des pouvoirs d'émission différents. Par exemple, à ces longueurs d'onde, le pouvoir d'émission de la glace est supérieur au double de celui de l'eau. Par conséquent, si la glace et l'eau sont à

la même température, la glace apparaîtra claire et l'eau plus foncée. De plus, il est possible de distinguer la glace ancienne de la glace nouvelle car elles ont un pouvoir d'émission différent. Ceci est très utile pour la navigation.

Types de capteurs

L'émulsion

L'une des émulsions les plus utilisées en télédétection est celle qui est connue sous le nom d'émulsion «fausses couleurs», ainsi appelée parce qu'elle donne une photographie dont les couleurs ne sont pas naturelles. La végétation verte apparaît rouge sur l'émulsion parce qu'elle réfléchit très fortement l'infrarouge. L'eau ne réfléchit pas les rayons infrarouges et apparaît donc noire, ce qui contraste nettement avec toute terre avec laquelle elle est en contact.

Il existe deux catégories de capteurs. Les détecteurs qui enregistrent l'intensité des ondes électromagnétiques réfléchies ou émises par la Terre, du type passif. Ces détecteurs n'émettent pas d'énergie, ils la reçoivent et l'enregistrent. Par contre, les détecteurs qui fournissent de l'énergie sont du type actif.

Systèmes passifs

Le balayeur multispectral est un type d'instrument installé à bord des satellites de la série Landsat. Son principe de fonctionnement est celui-ci: le balayeur couvre une bande de terrain de 185 km de large, tandis que des miroirs balaient cette bande d'ouest en est. La lumière émise par le sol est captée par le miroir et réfléchie sur un appareil à fibres optiques. Le balayeur multispectral enregistre des valeurs numériques pour chacun des éléments situés dans le couloir, soit environ 3240 relevés au total. Chaque relevé instantané provient d'un élément terrestre de 57 m de large par 79 m de longueur. L'image est donc constituée de petits éléments de 79 m x 57 m appelés «pixels». Dans ce cas la résolution obtenue est de 79 m car les capteurs ne peuvent pas distinguer des parcelles de terrain plus petites.

Le balayeur imageur électro-optique à détecteurs multiples utilise de nombreux détecteurs et un

système de balayage électro-optique et non plus mécanique. Au lieu d'utiliser un seul détecteur pour chaque bande de longueurs d'onde pour tous les pixels répartis d'un bout à l'autre du couloir, et au lieu de diriger le rayonnement de chaque pixel, l'un après l'autre, vers le détecteur, ce système offre le grand avantage d'utiliser un seul détecteur pour chaque pixel. Toute la largeur du couloir est échantillonnée en même temps.

Systèmes actifs

Nous ne pouvons pas prendre de photographies dans la région de l'infrarouge thermique directement avec une chambre de prise de vues ordinaire. Le rayonnement thermique du sol est capté par un miroir rotatif. Un système optique focalise cette énergie sur un petit détecteur et produit une image avec des teintes de gris, qui correspondent à une température donnée. Le balayage en infrarouge constitue une excellente méthode de détection des points chauds à la surface de la Terre, qu'ils soient dus à une activité volcanique ou à des incendies de forêts.

Le radar est une autre technique fondée sur les hyperfréquences. Les méthodes radar sont précieuses en télédétection dans l'obscurité, par temps nuageux ou pluvieux et par temps de brouillard; même la neige ou la grêle peuvent être pénétrées si la longueur d'onde émise par le radar est assez importante. Le rayonnement est émis sous forme de faisceau continu ou en courtes impulsions, et les caractéristiques du faisceau réfléchi sont enregistrées. Pour obtenir une bonne résolution, on doit utiliser une longue antenne ou une courte longueur d'onde. La longueur d'onde ne doit pas être trop courte pour éviter les problèmes d'interférence atmosphérique. Il existe aussi des limites mécaniques à la longueur d'une antenne.

Avec un système radar à bord d'un satellite, le faisceau doit être le plus petit possible pour obtenir une bonne résolution. La largeur du faisceau est déterminée partiellement par la longueur des antennes, c'est-à-dire l'ouverture du faisceau radar. Il est désirable d'augmenter l'ouverture mais la longueur des antennes est limitée par des problèmes d'instabilité méca-

nique. Un nouveau système a donc été conçu: on utilise une ouverture synthétique, par opposition à l'ouverture réelle.

C'est une opération assez complexe qui consiste à prendre, à partir de plusieurs positions de l'engin, des mesures des signaux réfléchis depuis n'importe quel point situé au sol; en d'autres termes, il prend des mesures à des angles différents. À partir de ces points, l'ordinateur combine les données relatives à chaque point sous des angles différents pour trouver la luminosité de ce point. Ce système a pour effet d'augmenter synthétiquement la longueur de l'antenne et donc d'accroître la résolution.

Les satellites et leurs caractéristiques

Des mesures de longue durée de la Terre à partir de l'espace ne peuvent être effectuées qu'avec des satellites. La vitesse à laquelle un corps décrit un cercle autour de la Terre est fonction de sa distance à la Terre. Par exemple, pour faire 14 fois par jour le tour de la Terre Landsat 1 était sur une orbite à 918 km d'altitude.

L'orbite polaire

L'orbite polaire, sur laquelle les satellites font une révolution d'un pôle à l'autre, est surtout utilisée par les satellites météorologiques et de télédétection. Ceci permet une couverture complète de la Terre par un seul satellite. En fait, il s'agit d'orbite quasi polaire et héliosynchrone, c'est-à-dire que le satellite passe au-dessus du même point à exactement la même heure locale à chaque passage, quelle que soit la région du monde qu'il survole. L'orbite quasi polaire est nécessaire pour que l'orbite demeure héliosynchrone pendant toute l'année en raison de la rotation de la Terre autour de son axe. Donc, les satellites de télédétection sont inclinés d'environ 10 degrés par rapport aux pôles.

Dans le cas des satellites Landsat, la première orbite effectuée un jour donné ne coïncide pas exactement avec la première orbite de la veille puisqu'il faut 252 orbites pour couvrir toute la surface de la Terre. Ainsi, après 18 jours, toute la surface de la Terre est balayée au complet par les capteurs du satellite.

Satellites Landsat

Les premiers satellites de télédétection furent ceux de la série Landsat lancés par les américains à partir de 1972. Landsat 1 et 2 pesaient environ 900 kg et avaient un diamètre de 1,5 m. Ils transportaient divers instruments dont des types spéciaux de caméras. Les données n'étaient pas transmises continuellement, mais seulement lorsque le satellite était en vue d'une station réceptrice au sol. Un satellite comme Landsat 1 se déplaçait dans l'obscurité pendant environ la moitié de son voyage, il devait posséder un moyen d'accumuler l'énergie; cette fonction a été assumée par des piles rechargeables solaires. On a testé les possibilités du balayeur multispectral avec Landsat 3. Landsat 4 et 5 suivirent en 1982 et 1984. En plus du balayeur multispectral, ces satellites transportent également un cartographe thématique un appareil similaire qui a une meilleure résolution. Théoriquement Landsat 5 doit cesser de fonctionner en 1987. Landsat 6 et 7 sont seulement prévus pour 1988 et 1991.

Satellite Seasat

En 1978 les États-Unis lançaient le satellite expérimental Seasat 1 pour tester les méthodes les plus appropriées aux études océanographiques. Ses instruments étaient surtout conçus pour fonctionner dans les hyperfréquences mais après seulement 4 mois de service ce satellite tombait en panne. C'était la première fois qu'on installait un radar en orbite. L'antenne de 2,1 mètres sur 10,7 était montée à la base du satellite.

Satellite Spot

La France a lancé en février 1986 son satellite Spot (satellite pour observation de la Terre) qui innove sur plusieurs points. Ce satellite de 1750 kg est sur orbite quasi polaire à 832 km d'altitude. Il prend 26 jours pour obtenir une couverture complète de la Terre. Il possède 2 capteurs de haute résolution visible (un type de balayeur multispectral mesurant 4 longueurs d'ondes). Ces deux capteurs peuvent être orientés indépendamment l'un de l'autre jusqu'à 30 degrés à partir de la verticale. Ceci permet donc d'observer le même site de 2,3 à 3,2 jours ce qui n'a jamais été

possible avec la série Landsat. De plus, en prenant des images du même site sous des angles différents, il sera possible d'obtenir des cartes en 3 dimensions. La résolution est grandement améliorée: 20 m ou 10 m avec seulement une longueur d'onde mesurée. La région observée est une portion de terrain de 60 m × 60 m. Les signaux concernant le territoire canadien seront captés à Gatineau, près d'Ottawa.

Satellite Radarsat

Le Canada prévoit lancer un satellite de télédétection au début des années 90. Le projet Radarsat fut initié par le Centre canadien de télédétection qui s'occupe de recueillir et de distribuer les données provenant des satellites de télédétection. Une fois lancé, le satellite sera contrôlé à partir d'Ottawa. La station réceptrice principale sera celle de Gatineau. On espère retransmettre l'information reçue dans les 3 heures suivant le passage de Radarsat au-dessus de la zone étudiée.

Radarsat sera équipé d'un radar à ouverture synthétique (SAR), d'un balayeur optique multispectral et d'autres instruments permettant de mesurer la vitesse des vents et la température. Radarsat sera construit au Canada mais avec la participation des États-Unis, de la République Fédérale d'Allemagne et de la Grande-Bretagne. Le satellite sera assemblé et testé au laboratoire David Florida à Ottawa. Le coût du programme est de 520 millions \$. Le Canada fournit 300 millions \$. On prévoit atteindre un chiffre d'affaires de 150 millions \$ annuellement avec les données provenant de Radarsat. La durée de vie de Radarsat est de 5 ans. Cependant, on prévoit un système lui permettant de passer d'une orbite de 1000 km à une autre de 240 km où la navette spatiale pourra refaire le plein et entreprendre si nécessaire des réparations diverses.

Plusieurs autres projets sont en marche. L'Agence spatiale européenne prévoit lancer en 1989 son satellite ERS-1 équipé d'un radar. L'Inde veut financer le IRS-1 qui serait semblable aux Landsat. Le Japon prévoit mettre en orbite en 1991 son satellite JERS qui contiendrait un balayeur multispectral et un radar.

La réception des données au sol

Les signaux captés par le satellite proviennent de toutes les régions du monde, mais il n'y a que quelques stations qui peuvent les recevoir. On retrouve deux de ces stations au Canada, l'un à Prince-Albert, en Saskatchewan et l'autre à Gatineau, près d'Ottawa.

Durant l'été, plus de 80 orbites de Landsat se trouvent dans les champs de réception de la station de Prince-Albert en 18 jours. En été, la station de Prince-Albert peut recevoir des données pendant 34 à 40 minutes par jour, ce qui équivaut à 5 ou 6 passages. L'hiver, le nombre d'orbites accessibles diminue à mesure que les jours raccourcissent.

Il va de soi que toutes les images ne sont pas nécessairement utiles. Parfois, le ciel est si nuageux que le satellite ne peut pas «voir» la Terre. L'hiver, certaines parties du Nord canadien sont plongées dans l'obscurité, tandis que, dans d'autres régions, la luminosité est parfois trop intense. La neige ayant une très forte réflectivité, il peut arriver que les détecteurs soient saturés de lumière.

Grâce à une technique récemment mise au point, on pourra désormais corriger toutes les images de n'importe quel satellite et les ramener à une forme commune, ce qui permettra de comparer directement et de superposer des images, Landsat, Seasat, etc. L'instrument qui permet cette opération est le système de correction des images numériques (DICS).

Interprétation des données

De nombreux interprètes d'expériences préfèrent les images en noir et blanc, parce qu'elles ont une meilleure résolution, ce qui revêt une importance capitale pour l'examen des détails infimes. Cependant, d'autres voient dans la couleur certains avantages, étant donné qu'il est plus facile de distinguer des limites entre des couleurs différentes qu'entre des teintes de gris différentes. Toutefois, il y a sur les bandes magnétiques beaucoup plus de données que ne peut en contenir ce type d'images.

En prenant nos données directement sur des bandes pour ordinateur, on peut isoler n'importe lequel de ces sept millions de demi-pixels, ou encore programmer l'ordinateur pour établir la moyenne des lectures d'un nombre de pixels donné, selon le détail considéré.

Le système de correction des images numériques (DICS) produit une image dite géocodée, qui peut facilement être combinée à des données provenant des systèmes d'information géographique du Canada. Il en sort une bande pour ordinateur de haute précision entièrement corrigée et compatible avec les données du système topographique national à 1/250 000.

Le système DICS peut servir à combiner les images radar qui ont une très bonne résolution spatiale et les images du balayeur multispectral qui offre une bonne résolution spectrale. Cette technique a l'avantage d'être très souple; elle peut être adaptée aux besoins des différentes catégories d'utilisateurs, puisqu'il est possible d'utiliser différentes combinaisons de couleurs et de faire ressortir, autant que l'on veut, différents détails de n'importe laquelle des images.

Aperçu des coûts

En 1983, un pays qui désirait s'équiper d'une station réceptrice au sol pour capter les signaux Landsat devait déboursier 600 000 \$ annuellement. Entre 1982 et 1983, on a vendu pour 14 millions de dollars de clichés Landsat mais, les coûts d'exploitation du système s'élevaient à 21 millions. En 1986, les coûts d'exploitation grimpaient à 30 millions, alors que les recettes restaient pratiquement inchangées. Depuis 1985, les États-Unis ont remis le programme Landsat au secteur privé.

Les images des satellites de télédétection sont disponibles à tous les pays «libres». En 1985 une scène de 185 km de côté sur bande magnétique valait plus de 4 000 \$ selon les traitements effectués. Des images fausses couleurs sont disponibles pour quelques centaines de dollars.

Les nouveaux venus sur la scène de la télédétection comptent sur une meilleure qualité et une

plus grande résolution des images pour séduire de nouveaux domaines d'application.

Conclusion

Le télédétection est un domaine en pleine évolution. Les instruments et les techniques permettent des analyses d'une grande

précision. Le traitement de l'information avec différents systèmes informatisés favorise la distribution des données aux intéressés. Les utilisateurs peuvent traiter cette information selon les besoins et caractéristiques de chaque étude.

Note: Cet article a été classé 4^e dans le concours rédactionnel.

Références

1. Harper, Dorothy, *Terre, Mer et Satellite, Introduction à la télédétection*, 2^{ème} édition, Ministère des Approvisionnements et Services Canada, 1984, 282 p.
Rapport annuel 1984, Centre canadien de télédétection, Ottawa, 1985, 65 p.
Science & Vie, No. 820, janvier 1986, *Le marché des images de la Terre*.
Science & Vie, No. 825, juin 1986, *Satellite: Satellite: le témoin No. 1*.

dufresne farley samson brillon
ingénieurs-conseils

Chauffage — Plomberie — Climatisation Réfrigération —
Électricité — Expertises — Études énergétiques

200 ouest, rue Sauvé, Montréal, H3L 1Y9

Tel. 384-0440



SIAL

**Compagnie Internationale
de Géophysique Inc.**

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

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

☎ : (514) 683-4215

• Télex : GTS HTD MTL
• 05-821643

Beaulier essai

ÉQUILIBRAGE DE LA VENTILATION
RIGUEUR ET FIABILITÉ

Maurice Beaudet, ing.

7127, De Lorimier, Montréal, Qc H2E 2N7

(514) 376-0362

**BOUTHILLETTE
PARIZEAU
ET ASSOCIÉS**

- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| Roland Bouthillette, ing. | Jean-Claude Hébert, ing. |
| Maurice Parizeau, ing. | Julien Houle, ing. |
| André Dore, ing. | Michel Pouliot, ing. |
| Denis Emond, B.Sc.Comm. | Pierre Roussel, ing. |
| Jean-Guy Gagné, ing. | René Viau, ing. |

EXPERTS-CONSEILS
MÉCANIQUE ÉLECTRICITÉ
CONSERVATION DE L'ÉNERGIE
GÉNIE INDUSTRIEL

9825 rue Verville, Montréal (Qué.) H3L 3E1-Tél.: 383-3747

**ÉTUDES, INGÉNIERIE,
APPROVISIONNEMENT,
GESTION DE PROJET,
CONSTRUCTION**

Lavalin

Siège Social:
1100, boul. Dorchester ouest
Montréal, Québec H3B 4P3



**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**

Application des systèmes experts au gouvernement du Québec

Richard Parent

Au gouvernement du Québec, les services informatiques comptent pour 6,3% (229 millions de dollars) des dépenses de fonctionnement annuelles pour 1985-1986 (1). La prise de décision sur les services informatiques se fait dans plus d'une quarantaine de grands organismes et de ministères. Il y a tout de même une bonne mesure de centralisation dans les normes émises et contrôlées par le Conseil du trésor, conseillé en ces matières par le Bureau central de l'informatique (BCI). Ce dernier organisme, le BCI (partie du ministère des Communications), exerce, notamment, un rôle visant à favoriser l'expérimentation avec les innovations méthodologiques et techniques pouvant favoriser une meilleure utilisation de l'informatique.

Parmi les domaines ainsi favorisés, se trouve la méthodologie des systèmes experts (ou à base de connaissances: employés indifféremment dans ce texte). Une des premières mesures a été la diffusion d'un document d'orientation sur le sujet (2), mais le principal moyen d'action a été d'inclure les systèmes experts dans un programme d'aide financière du BCI aux ministères et organismes voulant effectuer des essais au moyen d'études liées à leur démarrage (faisabilité, évaluation d'options, etc.). Deux projets pilotes de système expert ont été entrepris au tournant de 1985-1986, et un troisième en décembre 1986: leur présentation constitue la première partie de cet article, qui sera suivie d'une analyse des leçons à tirer de ces expériences, et des perspectives d'avenir quant à l'application des systèmes experts au gouvernement du Québec.

Richard Parent a obtenu un Ph. D. en psychologie à l'Université de Montréal en 1979. Entré à l'emploi du ministère des Communications en 1976, il a effectué des recherches sur les médias communautaires, la câblodistribution, et des études prospectives en communication. De 1983 à 1985, il a profité d'un séjour de recherche et d'enseignement à la Faculté des sciences sociales de l'Université Laval. Depuis, il est chargé du dossier des applications d'intelligence artificielle au Bureau central de l'informatique, Direction générale de la coordination inter-ministérielle.

Projets pilotes

Trois ministères (ministère de l'Éducation, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et le ministère de l'Environnement) ont participé à des projets pilotes avec l'aide du BCI. Pour chaque projet, nous allons expliquer le besoin à l'origine du projet, l'évolution du projet, et son état d'avancement.

Ministère de l'Éducation

La conception générale de ce projet a été faite en 1985 et visait à aider les agents de recherche du ministère de l'Éducation dans la réalisation de leurs travaux courants d'études relatifs au cheminement scolaire grâce à une approche de système expert (3). Dans un appel d'offres qui a été fait pour choisir une firme conseil, l'objectif du système expert coexistait avec un objectif d'intégration des outils bureautiques couramment isolés en divers progiciels.

Entre décembre 1985 et septembre 1986, une firme de consultants a effectué une étude de démarrage (4). On a étudié le processus de travail de l'agent de recherche qui s'établit comme suit:

- clarifier un nouveau mandat;
- chercher l'information pertinente;
- établir un plan de réalisation du mandat;
- analyser l'information recueillie;
- préparer un rapport.

Cette étude s'est avérée d'une trop grande généralité pour la phase de prototypage qui s'est déroulée de mai à septembre 1986. Des quiproquos et malentendus sur la nature des objectifs ont conduit aux choix du progiciel «M.I.» de Teknowledge. Ce logiciel s'est avéré peu inspirant contrairement aux attentes, et il n'a bien entendu pas facilité la structuration conceptuelle du domaine du cheminement scolaire. Le prototypage a été centré sur la réalisation d'une interface à base de menus pour l'interrogation d'une base de données sur le cheminement scolaire, ainsi que d'une banque d'information pertinente (faits relatifs à l'abandon scolaire, références documentaires et de personnes-ressources spécialisées, conclusions basées sur analyses statistiques antérieures, définition des termes du sous-domaine).

Cette expérience a permis de voir la trop grande ambition sur des questions dispersées qui avait marqué la conception originale de ce projet. Également, le rôle possible d'un système expert a pu être mieux compris ainsi que l'importance d'une structuration conceptuelle du domaine en vue de permettre des inférences utiles.

L'évaluation du prototype étant plutôt mitigée, le développement relatif au cheminement scolaire se poursuit mais avec «VIEWPOINT», le logiciel utilisé avant le prototype. L'expert en cheminement scolaire poursuit cependant avec son intérêt pour la méthodologie de système expert. Il est en voie de modéliser des aides à tout agent de recherche utilisant les ressources informatiques du ministère de l'Éducation:

— Aide à l'analyse statistique: choix de techniques, logiciels disponibles, manière de faire, interprétation des résultats.

— Aide à la constitution d'un échantillon: variables à considérer, concepts, données disponibles, techniques, logiciels disponibles.

— Connaissance des banques de données disponibles au ministère de l'Éducation: les systèmes, les variables.

— Aide à l'élaboration d'une épreuve, d'un questionnaire.

Par ailleurs, il a intéressé un collègue à l'application des progiciels «SATO» et «Déredec» (5) à l'analyse de texte en français par ordinateur dans des tâches de calcul d'indices de difficulté d'un texte. Cela se fait avec l'aide de lexiques gradués par niveau scolaire, ainsi que pour l'aide à la correction de l'orthographe d'usage et de l'orthographe grammaticale de façon adaptée pour la fin du primaire et la fin du secondaire.

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Ce projet vise à développer un système d'aide au diagnostic pathologique dans les sept laboratoires régionaux du ministère. Deux espèces animales ont été retenues, volailles et poissons, parce que leur habitat renfermé rend plus cruciale la rapidité d'obtention du diagnostic pour enrayer la maladie, d'une part, et parce que l'expertise sur ces espèces est plus faible que pour d'autres dans les laboratoires de pathologie animale.

Le nom du projet est «SADAP», un système d'aide au diagnostic en santé animale.

Après une étude préalable (6) par un comité et une phase ultérieure de préparation un appel d'offres a permis de retenir un bureau de consultation qui a fourni les services d'un conseiller en technologie des systèmes experts pour initier la tâche de représentation des connaissances. En même temps, des chercheurs de L'UQAM (7) construisaient un progiciel de génération de système expert. L'émulation jouant, quand la phase de prototypage s'est terminée, un second progiciel de génération de système expert avait été produit. Ce dernier est écrit en Turbo-Prolog pour IBM-compatibles (640 K), tandis que Déredec-EXPERT est écrit en LE-LISP et fonctionne sur Mac Plus (1 M octet ou plus).

Dans les semaines suivantes, une évaluation des prototypes a été faite avec les experts et avec les responsables administratifs de santé animale au ministère.

Trois maladies des volailles et trois maladies des poissons pouvaient être diagnostiquées. Les réactions ont été positives chez les experts-sources et du côté de la direction. Considérant le potentiel d'un système développé sur la base du prototype, le directeur général de la santé animal notait qu'un tel système répondrait à de nouveaux besoins de diffusion continue d'expertise en raison de l'évolution plus rapide des maladies, provoquée par l'industrialisation des procédés agricoles.

Les pathologistes pourraient déléguer une partie de leur expertise à des techniciens en analyse pathologique, ce qui permettrait de multiplier les analyses effectuées tout en réduisant le coût, et se consacrer à plus de recherche et développement, à être toujours mieux informés, et à déléguer l'application de leur expertise par un système expert servant à la communiquer.

Suite à ces évaluations positives, l'équipe qui a réalisé le prototype a été mandatée pour développer la capacité de diagnostiquer la soixantaine de maladies à couvrir pour les volailles, et un peu moins pour les poissons. L'équipe se compose d'un cogniticien et coordonnateur, d'un (pathologiste généraliste), et de pathologistes spécialistes des volailles et des

poissons. Une version complète du système pour ces deux espèces devrait être prête au printemps 1988 (environ trois années-personnes à compte de février 1987).

Ministère de l'Environnement

Au Québec, tout projet d'une certaine envergure physique doit faire l'objet d'une évaluation de ses impacts sur l'environnement, en vertu d'un règlement administré par la Direction des évaluations environnementales du ministère de l'Environnement. Un promoteur doit obtenir un permis pour son projet. Pour 99% des projets présentés, le permis est émis selon une procédure allégée prévue dans la réglementation.

Pour les autres projets, généralement les plus gros, une procédure plus lourde est suivie. Une directive est d'abord émise qui contient des exigences à propos de l'étude d'impact requise. L'étude réalisée par le promoteur est ensuite évaluée au ministère; le ministre peut alors soumettre le projet à la procédure du Bureau des audiences publiques sur l'environnement. Diverses autres étapes conduisent à une éventuelle décision par le Conseil des ministres.

Ce sont les connaissances relatives à cette procédure, telle que normalisée et vécue par une douzaine de chargés de projets, qui seront modélisées dans le cadre de ce projet pilote dont la phase de prototypage se déroule en 1987. Le système est d'abord destiné à fournir une assistance et des conseils stratégiques aux chargés de projets concernant la gestion des projets qui leur sont confiés.

Les connaissances à représenter sont de deux types:

- les connaissances scientifiques et les heuristiques sur le domaine environnemental lui-même qui sont structurées sous trois classes abstraites (projet, milieu, facteur) et avec un ensemble de règles;
- les connaissances administratives sont, elles aussi, organisées sous des classes abstraites (ex.: étape de procédure, documents) et avec un ensemble de règles.

Il y a une trentaine de types de projets selon les règlements. Ils sont regroupés en trois classes: ceux en milieu aquatique (ex.: barrage, marina), les projets linéaires (ex.: route, gazoduc) et les projets

ponctuels (ex.: aluminerie, incinérateur). Pour le prototype, trois types de projets seront choisis, un par classe, en vue de représenter les connaissances nécessaires à leur gestion. Quant aux étapes de la procédure, il se pourrait que le prototype n'en concerne qu'un sous-ensemble.

Ce sont les chargés de projet qui modélisent eux-mêmes leurs connaissances. Initialement, cela se fait sur papier à propos d'un type de projet et la première codification en DEREDEC-EXPERT sera réalisée par le développeur de ce progiciel de génération de système expert.

Un aspect important de ce projet est la tentative de coupler un module de système expert avec un module de SGBD courant et qui sert de support au système d'information classique (dates, etc.) de ce secteur de gestion. Le but est de permettre un échange de données aussi souple que possible. Diverses hypothèses sont encore à l'étude sur les fonctions exactes attendues dans cette combinaison.

Si la phase de prototypage permet d'aboutir à quelque chose de satisfaisant, il est envisagé d'ajouter au système un autre module SGBD, de type «plein texte», et d'utiliser alors le système expert en combinaison avec un autre ensemble de progiciels Déredec spécialisés dans l'analyse de texte pour exploiter ce deuxième SGBD, lui-même relié au premier.

À plus long terme encore, le système expert serait adapté en vue de fournir, par télématique, de meilleurs services professionnels aux différentes clientèles (administrateurs, promoteurs, consultants, organismes ou institutions concernées).

Leçons tirées de ces expériences

D'un point de vue de gestion de l'innovation dans une grande organisation, un certain nombre de leçons peut être tiré de ces expériences en ce qui a trait à l'application des méthodes et techniques dérivées de la recherche en intelligence artificielle pour l'informatisation du bureau:

1- L'approche des systèmes experts repose sur une technologie mouvante, encore non-stabilisée, pour laquelle les solutions

sont encore exploratoires. L'approche est, cependant, suffisamment prometteuse à brève échéance pour que toute grande organisation basée sur le travail de bureau s'y intéresse avec des moyens suffisants.

2- La question du matériel de support pour la construction du système est généralement peu importante. Une machine LISP ou SUN est utile mais non essentielle. Une machine spécialisée peut même nuire à l'implantation si on veut la faire sur l'équipement disponible. Le goulot n'est pas le nombre de règles qui peut fonctionner sur un micro, mais la capacité humaine de représenter les connaissances avec les techniques disponibles.

3- Il apparaît de plus en plus important qu'un système expert puisse s'intégrer au système informatique d'une organisation pour être utilisé selon les contrôles habituels — validité, sécurité — de l'organisation et avec l'équipement et les services courants.

4- Dans l'état actuel du marché des logiciels de construction de système expert (fragmenté, avec peu de points de référence communs), l'accès au développeur de logiciel est un élément stratégique important pour obtenir des spécifications variables collant aux caractéristiques des projets.

5- Quant aux spécifications qui pourraient être requises, elles ne seront connues qu'en fonction d'une nécessaire exploration des opportunités d'applications à réaliser dans les divers types de milieu d'application.

6- Dans le contexte de l'informatisation du bureau, les applications d'analyse de texte français dans l'aide aux divers types d'activités de lecture ou d'écriture, tout en étant plus lointaines, sont peut-être en mesure de contribuer encore plus, à long terme, à la productivité du travail de bureau. À court terme, cela concerne en particulier l'enrichissement des outils de gestion documentaire.

7- Dans quelque domaine d'application d'intelligence artificielle que ce soit, il y a manque général de personnes compétentes. La nécessité de formation est évidente. Comme le secteur public embauche peu depuis plusieurs années, il faut miser sur la formation et le recyclage du personnel en place.

8- Il y a un besoin de formation du personnel interne lors du développement d'un système. C'est une approche qui devrait permettre une meilleure adéquation des systèmes développés aux besoins socio-organisationnels. Un bulletin spécialisé permet de sensibiliser, et d'informer pour appuyer l'effort de formation. D'ailleurs, les questions de former qui, à quoi, et comment, vont être chaudement débattues au cours des années à venir: c'est toute la question de savoir quelles seront les nouvelles tâches de «cognitive».

Perspectives d'avenir

Cette question de savoir quels profils de formation sont requis des cogniticiens est encore très ouverte. Les informaticiens ont l'atout d'être habitués à décomposer les problèmes et structurer des solutions logiques. L'évolution des outils de programmation peut-elle être si radicale qu'il n'y aurait plus autant d'avantages à ce talent en comparaison avec les connaissances du domaine? La langue naturelle dans toute sa plénitude est inaccessible mais un langage artificiel assez proche de la langue naturelle de l'utilisateur réduirait la prime attachée aujourd'hui à la maîtrise des langages formels. On ne peut éviter de se poser la question, d'autant plus qu'il est courant de penser que des environnements de programmation pour «non-informaticien» deviennent de plus en plus réalisables. La question de l'évolution des logiciels utilisés pour la construction de systèmes experts est cruciale. Quoi de mieux en effet qu'un outil technique pour véhiculer une approche méthodologique?

C'est pourquoi, suite à l'expérience difficile linguistiquement avec M.I., un progiciel de génération de système expert a été commandé à un groupe de chercheurs spécialisés de l'UQAM. Le choix de Déredec se justifie principalement par le fait qu'il est le langage dans lequel sont écrits plusieurs progiciels d'analyse de texte en français et comportant diverses fonctions sophistiquées.

La richesse de l'environnement de programmation que cela constitue pour le module système expert est fort intéressante en

regard de l'interface d'utilisateur qui pourrait être développée à court terme. Mais le plus grand potentiel de cette combinaison d'un système expert avec le traitement de langue naturelle permet des espoirs beaucoup plus élevés, à la mesure de la synergie qui existe entre la langue naturelle et l'expertise ou la représentation des connaissances en général (9).

Les univers de discours administratifs et scientifiques sembleraient les plus rentables à représenter: ce sont des langages semi-ouverts et donc relativement formalisables. Leur représentation par des dictionnaires et d'autres formes de bases de connaissances pourraient enrichir la boîte à outils pour développer des applications faisant appel aux techniques d'inférence (système expert) et d'analyseur de texte en français. La distinction actuelle très nette entre ces catégories devrait d'ailleurs tendre à s'estomper en ce qu'éventuellement la plupart des applications dans les bureaux feront appel aux deux domaines à la fois.

Le principal bénéfice d'une approche langue naturelle à la représentation de l'expertise est d'en faciliter la structure conceptuelle et sa communication chez ceux qui développent et avec ceux qui utilisent une expertise. Les connaissances sont ainsi structurées de façon familière, le système étant alors capable de reprendre à son compte une partie suffisante des acquis de la langue naturelle (lexique, morphologie, syntaxe).

Vue de l'informatique, cette prospective est celle d'un nouveau type d'atelier de génie logiciel dont on peut dire qu'il est conceptuel. Quelque chose qu'on pourrait appeler «ATELIER COGNITIF», un balbutiement de la fabuleuse «cinquième génération». Quelque chose dont la mise au point et l'évolution donne du travail à de nombreux informaticiens, ainsi qu'à des spécialistes en linguistique, psychologie, ergonomie et autres «sciences cognitives» au sens large.

Il est prévisible que le nombre de développeurs d'applications n'ayant pas reçu de formation particulière en informatique s'accroîtra, mais étant des «usagers», «experts» dans un domaine (scientifique, administratif, autre). Le potentiel de croissance de l'informa-



ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Comité des bourses

Grâce à la générosité des organismes et compagnies dont les noms apparaissent dans le tableau ci-dessous, quarante-six étudiants du premier cycle ont obtenu, sur recommandation du comité des bourses de l'École Polytechnique, des bourses d'études d'un montant variant de 300\$ à 2,000\$ pour l'année universitaire 1986-1987.

Nos félicitations à tous les boursiers et nos remerciements aux donateurs.

DONATEURS	BOURSIERS	DÉPARTEMENTS	NIVEAUX
ASSOCIATION AMÉRICAINE DES SPÉCIALISTES EN LUBRIFICATION	GIASSON, Carlos	Génie mécanique	2
ASSOCIATION FÉMININE — SECTION MONTRÉAL DE L'INSTITUT CANADIEN DES MINES ET DE LA MÉTALLURGIE	LARIVÉE, France	Génie métallurgique	3
COMPAGNIE MINIÈRE IOC	CORMIER, André GENDRON, Stéphane	Génie géologique Génie métallurgique	4 3
CORPORATION GROUPE LA LAURENTIENNE	VILLENEUVE, Alain	Génie physique	4
CORPORATION FALCONBRIDGE COPPER	DUBÉ, Bruno COUSIN, Paul	Génie minier Génie minier	4 3
DUBÉ & DUBÉ LTÉE	CIGNA, Alexandre	Génie électrique	2
GEORGES DAIGNEAULT, INDUSTRIEL, INC	LAPIERRE, Benoit	Génie électrique	4
JOHNSON ET JOHNSON INC.	DIONNE, Jean-Paul	Génie métallurgique	4
LA FONDATION ARTHUR ANDERSEN & CIE	LEGAULT, Stéphane	Génie industriel	4
LA FONDATION BECHTEL DU CANADA	PIOTTE, Martin	Génie électrique	2
	LABRECQUE, Stéphane	Génie électrique	2
	ROY, Michel	Génie mécanique	2
	COURTEAU, Jocelyn	Génie électrique	2
LA FONDATION DOMINIQUE BRUNET	BÉRUBÉ, Manon	Génie chimique	1
LES ENTREPRISES KIEWIT LTÉE	LAGACÉ, Sophie	Génie civil	4
LES MINES SIGMA (QUÉBEC) LTÉE	DUCHESNE, Sylvain L'ÉCUYER, Marc VINET, Éric AMIREAULT, Stéphane LAURIN, Pierre	Génie minier Génie minier Génie minier Génie géologique Génie géologique	3 2 2 3 3
LITTLE LONG LAKE (LAC MINERAL)	BASQUE, Jean-Pierre GAMACHE, Michel	Génie minier Génie minier	3 4
MARCONI CANADA	BEAUREGARD, André DEBARGIS, Luc PESANT, Gilbert BOURGÉT, André	Génie électrique Génie électrique Génie électrique Génie industriel	4 3 4 4
MINES SULLIVAN INC.	MALTAIS, Karl POMERLEAU, Ghislain LAROUCHE, Donald CLOUSTON, Francis	Génie minier Génie minier Génie minier Génie minier	1 2 3 2
MONSANTO	BRILLON, Sylvie	Génie chimique	4
PAGEAU MOREL ET ASSOCIÉS, INC.	ROULEAU, Simon	Génie mécanique	3
PELLEMON	VÉZINA, Luc	Génie industriel	4
PRODUITS CHIMIQUES DÉNÉRAL DU CANADA	CONTANT, André	Génie civil	4

suite de la page 26

tisation du bureau avec un tel «atelier cognitif» apparaît énorme.

À plus brève échéance, sur la voie de ce nouvel Eldorado appelé atelier cognitif, on peut prévoir que les applications choisies pour des expériences pilotes vont se multiplier et se diversifier grâce à la disponibilité d'outils de programmation et de ressources de formation.

Les applications d'intelligence artificielle pourraient altérer l'actuel profil des usagers d'outils informatiques et bureautiques. Avant le phénomène multifonctionnel des micro-ordinateurs, la bureautique a eu deux locomotives: la fonction traitement de texte sur des appareils autonomes, et la fonction système d'information sur les opérations au moyen d'un SGBD en exploitation centralisée sur un serveur. Ce deuxième train, se situant au niveau des informations opérationnelles pour des tâches stéréotypées, et un volume de traitement élevé, a été vite rentable et a proliféré au début des années 1980.

Mais avec les systèmes experts, ce ne sont pas forcément les mêmes types d'activités de bureau qui vont être le plus rapidement assistés par ordinateur. Les bureaux sont déjà bien équipés avec des micros de moins de 640 K en mémoire vive ou des terminaux reliés à des ordinateurs déjà sur-

chargés. Ces bureaux pourraient tarder plus à pouvoir utiliser les logiciels d'intelligence artificielle, grands dévoreurs de mégaoctets en mémoire vive, que les bureaux de travailleurs professionnels pouvant être assistés dans divers types d'activités professionnelles d'analyse, de production et de gestion d'information au contenu souvent spécialisé. (10)

Conclusion

Il y a sûrement lieu d'être prudent avec une technologie aussi nouvelle que celle des systèmes experts. Les expériences traitées dans cet article se sont déroulées sur une période relativement brève, soit dix-huit mois. L'accent a été mis sur la formation des ressources humaines et sur la conduite de quelques projets pilotes ajustés à l'apprentissage au sein des équipes responsables et permettant d'explorer diverses pistes d'applications.

Les activités de recherche et développement sont associées en partie à ce souci de formation en ce qu'un but majeur est d'avoir un logiciel conçu en français pour un développement dans cette langue. Ce choix est favorable à une meilleure maîtrise des outils par des francophones. Rien de moins est requis par la révolution qui s'amorce et qui, paradoxalement peut-être, constitue une chance pour

une renaissance des langues autres que l'anglais en informatique.

L'ingénieur

Références

1. Bureau central de l'informatique. *Rapport annuel sur l'informatique au gouvernement du Québec*. Ministère des Communications, Québec.
2. Richard PARENT. *Stratégie d'expérimentation avec les systèmes experts*. Direction générale de la coordination interministérielle, BCI, ministère des Communications, Québec. Novembre 1985.
3. Monique ALBERT, Léo LAROCHE et Richard PARENT. *Étude préalable. Système expert sur le cheminement scolaire*. Québec. Ministère des Communications. Novembre 1985.
4. CGI Inc. *Étude de démarrage du projet pilote «Système expert sur le cheminement scolaire»*. Rapport final. Septembre 1986.
5. Logiciels du Centre d'Analyse de Texte par Ordinateur (ATO) de l'UQAM.
6. Normand GOYETTE et al. *SADAP. Système d'aide au diagnostic appliqué à la pathologie en santé animale*. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. Québec. Décembre 1985.
7. Louis-Claude PAQUIN, Pierre PLANTE, André PLANTE.
8. F.-Robert BOUDREAU et Martine BOUCHARD. *Système d'aide à la gestion en évaluations environnementales: étude préalable au développement d'un système expert*. Québec. Ministère de l'Environnement. Septembre 1986.
9. Richard PARENT. «Synergie langue naturelle et expertise». Présentation à Avignon 87, *Les systèmes experts et leurs applications*.
10. Carole PATCH-NEVEU. *Gestion documentaire intelligemment assistée: exploration pour la bureautique*. Direction générale de la coordination interministérielle, ministère des Communications. Janvier 1987.



ÉCOLE POLYTECHNIQUE Comité des bourses (suite)

DONATEURS	BOURSIERS	DÉPARTEMENTS	NIVEAUX
QIT FER ET TITANE INC.	VALLIÈRES, André	Génie électrique	4
	TELLIER, Anne	Génie industriel	3
	LEVAC, Charles Alain	Génie métallurgique	3
	MILLETTE, Luc	Génie mécanique	3
	MASSÉ, Marie-Hélène	Génie chimique	3
SOQUEM	DRAPEAU, Mario	Génie minier	2
	LEVESQUE, Johanne	Génie minier	1
	JOLICŒUR, Sylvain	Génie minier	2
STEINBERG	LECAVALIER, Christian	Génie industriel	2
SUNOCO	DUBÉ, Patrice	Génie civil	4

Nouvelles d'ici et d'ailleurs

Le FORUM entreprises-universités décerne un premier prix d'honneur

M. Roger A. Blais, professeur et chercheur qui a grandement influencé le développement de l'École Polytechnique de Montréal dans ses rapports avec les milieux des affaires et de l'industrie, a été honoré à la réunion annuelle du Forum entreprises-universités, les 13 et 14 mai derniers.

M. Blais est le premier lauréat d'un prix qui souligne l'excellence dans la promotion des relations industries-universités dans le domaine de la recherche. Une plaque commémorative et un chèque lui ont été remis.

Spécialiste en géosciences, M. Blais fut, en 1970, le premier directeur de la recherche à l'École Polytechnique de Montréal et joua un rôle important dans l'évolution rapide de la recherche. L'une de ses premières initiatives fut d'établir un institut de recherche industrielle. Par la suite, il a développé plusieurs programmes afin de promouvoir les échanges entre la recherche universitaire et la recherche industrielle. Encore, tout récemment, il se dévouait pleinement à la mise sur pied du Centre de caractérisation microscopique des matériaux de Polytechnique, une autre charnière de concertation universités-industries.

Le Forum entreprises-universités a été fondé en 1981. Ses 59 membres sont soit des présidents, principaux ou recteurs d'universités canadiennes, soit des administrateurs de corporations publiques ou privées.

Le Forum est un lieu de rencontre pour les universitaires canadiens et les chefs d'industries, qui viennent y discuter de problèmes pressants d'éducation et de recherche. Par exemple, il a parrainé des études sur la coopération universités-industries au Canada et sur les perceptions qu'on les uns des autres les nouveaux diplômés universitaires et les employeurs.

Hausse des opportunités d'emploi pour professionnels

Un sondage du Conseil de Placement Professionnel, une firme

de placement et de recrutement en ressources humaines parrainée par l'industrie, dénote que les postes vacants pour les ingénieurs et autres professionnels ont augmenté de 8% au cours des trois derniers mois bien qu'il aient diminué de 11% par rapport à l'an dernier.

Le sondage trimestriel du CPP auprès des employeurs a démontré que cette diminution annuelle est attribuée principalement au gel des emplois en Alberta où une baisse de 46% des postes à combler a été le résultat direct de la chute subite des prix du pétrole. Le sondage a aussi démontré une baisse des postes vacants dans les secteurs industriel, minier, de la construction, de la consultation et des services mais non au niveau des gouvernements et des institutions.

Les analystes de système et les programmeurs en informatique expérimentés formaient le groupe le plus en demande. Paradoxalement, plus de 4 222 analystes et programmeurs touchent des prestations d'assurance chômage!

La prolifération des ordinateurs personnels dans l'industrie a changé les habitudes de travail. Les employeurs demandent maintenant que les analystes de systèmes et les programmeurs aient aussi une facilité d'expression et une connaissance générale des affaires. La compétence en informatique, seule, n'est plus suffisante.

Dans leur recherche d'ingénieurs et de technologues, les compagnies exigent maintenant des aptitudes d'expression orale et écrite de plus en plus poussées.

La demande demeure forte pour les ingénieurs d'usine, les ingénieurs dans la vente de produits mécaniques et les technologues en électronique expérimentés.

Il existe par contre un surplus de géologues et ingénieurs pétroliers expérimentés et géophysiciens. Le chômage est aussi beaucoup plus élevé que la moyenne parmi les techniciens en écologie et en génie, les technologues et les dessinateurs.

Les offres d'emploi sont peu nombreuses pour les ingénieurs expérimentés en foresterie et en céramique, les ingénieurs agro-

nomes, les ingénieurs civils juniors et les ingénieurs spécialisés en soudure.

Le CPP ne prévoit pas de changement important dans le marché du travail pour les prochains six mois.

Un autre sondage du CPP couvrant 269 offres d'emploi pour professionnels a démontré que les employeurs s'attendent à payer un salaire moyen de 39 800 \$ par année, soit le salaire d'un ingénieur ayant cinq années d'expérience.

Soixante-quatorze pourcent des offres d'emploi offraient un salaire initial variant de 30 000 \$ à 51 000 \$.

Les transferts de technologies font l'objet d'une conférence vidéo en direct entre la France et le Canada

Le 11 juin dernier une conférence vidéo transmise par satellite a permis des échanges en direct entre des participants français et canadiens réunis de part et d'autre de l'Atlantique, à Angoulême et à la Ville de Laval. Pendant quatrevingt-dix minutes, des représentants des gouvernements et une vingtaine d'industriels ont discuté ainsi de transferts de technologies et des moyens à prendre pour favoriser ce type de transaction entre les deux pays.

Cette conférence a été organisée par le Centre d'innovation industrielle de Montréal (CIIM) et le Salon de la PME, qui ont ainsi répondu à une invitation du Forum de l'informatique et de la robotique d'Angoulême (FIRPAC).

Les transferts de technologie constituent un volet important des activités du CIIM, un organisme à but non lucratif voué au développement de l'innovation technologique. En plus d'offrir des services sur ce plan, le CIIM est l'organisateur de Transtech International 87, la foire internationale de l'innovation et des technologies nouvelles qui aura lieu à Montréal en novembre prochain.

Le plus grand institut de recherche en biotechnologie du Canada ouvre ses portes à Montréal

Le nouvel Institut de recherche biotechnologie du Conseil national de recherches est situé à Montréal. Il consacrera ses activités à la R et D dans les domaines du génie biochimique, du génie génétique, de l'ingénierie des protéines, et de l'immunologie moléculaire, en collaboration avec l'industrie, les universités et les organismes publics.

La biotechnologie désigne l'utilisation d'organismes vivants ou de leurs composants en vue de l'élaboration de produits ou de procédés commercialisables. Les programmes de recherche de l'institut seront axés sur les domaines de la biotechnologie qui laissent entrevoir des applications intéressantes pour l'industrie canadienne.

L'Institut de recherche en biotechnologie jouera un rôle essentiel auprès de l'industrie canadienne en aidant à intégrer les nouvelles biotechnologies aux stratégies industrielles et aux installations de production.

L'institut a, en réalité, commencé à œuvrer dès 1984, alors qu'il occupait temporairement des locaux de l'Hôpital Royal-Victoria de Montréal. C'est à cet endroit que les premiers membres de son effectif scientifique ont jeté les bases des projets de recherche qui sont actuellement en cours de réalisation.

Lorsqu'il sera entièrement opérationnel, l'institut comprendra un effectif de 220 personnes principalement composé d'ingénieurs, de scientifiques et de techniciens, et pourra accueillir 200 chercheurs invités provenant de l'industrie, des universités et de centres de recherche.

Ses programmes de recherche sont axés vers les besoins de l'industrie. C'est ainsi que l'on utilise des techniques de génie génétique en vue de modifier et d'améliorer l'activité des levures qui jouent un rôle très important pour l'industrie alimentaire et les brasseries.

Les chercheurs de l'institut qui travaillent dans le domaine de l'immunologie moléculaire uti-

lisent également diverses techniques de génie génétique pour étudier la réponse du système immunitaire aux maladies. Les résultats de leurs travaux intéresseront particulièrement l'industrie pharmaceutique qui est très concentrée dans la région de Montréal.

En ce qui concerne le génie biochimique, qui représente le plus grand secteur d'activités de l'institut, des travaux sont consacrés à la mise au point de processus biochimiques et à leur agrandissement à l'échelle industrielle. Un domaine qui promet des applications intéressantes est l'utilisation de micro-organismes pour l'élimination de déchets toxiques persistants présents dans l'environnement.

Le génie canadien en Chine

Après un premier contrat de 8,7 millions de dollars, un consortium canadien vient d'obtenir 1,4 million de plus afin d'étendre la portée de l'étude de faisabilité entreprise sur le projet d'aménagement hydro-électrique des Trois Gorges, en République populaire de Chine.

Selon les spécialistes tant chinois que canadiens, ce contrat de travaux supplémentaires signifie que l'entreprise conjointe CIPM-Yangtse est sur la bonne voie.

La CIPM, un consortium canadien de sociétés de conseil en génie et en énergie, décrochait en juillet dernier un contrat de 8,7 millions de dollars, par l'entremise de l'Agence canadienne de développement international (ACDI), pour l'exécution d'une étude de faisabilité du projet des Trois Gorges.

L'étude originale se poursuit toujours sur les domaines suivants:

- l'installation d'une centrale hydro-électrique pouvant produire 13 000 mégawatts, ce qui en ferait la plus puissante du monde;
- l'aménagement de services de transmission à haute tension, afin d'approvisionner le centre et l'est de la Chine;
- la protection contre les crues dans les parties moyenne et inférieure du fleuve, Yangtse; et

• l'amélioration des conditions de navigation dans le secteur de 200 km des Trois Gorges.

Le financement supplémentaire de 1,4 million de dollars provenant de l'ACDI, s'appliquera à l'étude des conséquences qu'aurait la construction d'un barrage plus élevé au site du projet de centrale des Trois Gorges.

Vers l'élimination des nids de poule

Selon l'Association des routes et transports du Canada, Le vieux problème des nids-de-poules semble maintenant résolu.

En effet, un professeur adjoint de génie civil à l'université Carleton d'Ottawa, M.A.O. Abdel Halim, a inventé une machine à compacter le bitume en y laissant infiniment moins de fissures que les méthodes ordinaires. Les fissures, visibles à l'œil nu, sont le foyer des nids de poule, explique M. Abdel Halim.

Cette invention vient couronner trois ans d'efforts et plus de 200 essais en laboratoire. La machine en question fonctionne plus comme une lame que comme un rouleau et aplanit la bitume au moyen du caoutchouc et non de l'acier. À cet égard, certains détails restent secrets, l'octroi du brevet étant en cours.

Durant ses travaux, M. Abdel Halim a dépassé les théories techniques courantes selon lesquelles fissures et nids de poules proviennent des anciennes couches de bitume, non des couches de surface. En outre, il a employé dans ses expériences des matières peu utilisées comme le bois et l'éponge. Des essais plus poussés ont toutefois démontré que sa technique produit une couche de bitume 20 à 60% plus résistante que les revêtements appliqués grâce aux méthodes ordinaires.

Les essais sur le terrain sont déjà en cours.

Selon M. William A. Phang, chef de la Division de la recherche sur les chaussées au ministère des Transports et des Communications de l'Ontario, cette invention marquera un pas de géant dans la construction des chaussées en bitume.



mon-ter-val inc.

société d'expertises

Géotechnique
Géologie
Mécanique des Roches
Contrôle des matériaux
Hydrogéologie

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

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

- **CONTRÔLE DES MATÉRIAUX**
- **ÉTUDES GÉOTECHNIQUES**
- **ANALYSES CHIMIQUES**

Tél.: 336-5650

La Rapière
RESTAURANT FRANÇAIS
spécialités pyrénéennes

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

Table d'hôte lundi au vendredi:
midi à 15h. — 17h30 à 22h30
Samedi 17h30 à 22h30
Fermé le dimanche

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



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

fondée
en 1928



SAUVÉ
ASSURANCE INC

Mesdames les ingénieures,
Messieurs les ingénieurs,

Vous avez toujours de bonnes raisons de communiquer avec nous.

COMPOSEZ LE 384-7371,
vous serez agréablement surpris!

RICHARD SAUVÉ ASSURANCE INC.
130 HENRI-BOURASSA EST MONTRÉAL H3L 1B7
TÉLÉPHONE: 384-7371
LIGNE WATS: 1-800-361-3922 / 1-800-361-3925

L'électricité, ça vaut le coût !

L'ÉLECTRIFICACITÉ



Bandes pour reprise
de bétonnage entre radier et murs

BFL MASTIX R4

Nous désirons recevoir une documentation technique
- BFL MASTIX -

Nom/Entreprise

Adresse

NP/Localité

PRODEC

293, rue du Parc,
St-Louis de Pintendre, Qc GOR 2K0
Tél. (418) 626-9683

Savez-vous reconnaître une vraie aubaine ?

Il existe aujourd'hui plusieurs ordinateurs bon marché qui ne manqueront pas de vous rappeler, lors de l'usage, que vous ne les avez pas payés cher !

Philips vous offre une composante standard qui se paie, bien sûr, mais surtout qui s'apprécie: LA QUALITÉ.

Philips appose son nom sur un appareil fiable, puissant et performant qui, en plus d'être entièrement compatible, possède de multiples possibilités d'expansion.

Prenez le temps de bien comparer les configurations offertes et vous réaliserez que la vraie aubaine n'est pas nécessairement l'appareil le moins cher ...



PHILIPS



Configuration 1850,00 \$

- Processeur: Intel 8088-2
- 640 Ko de mémoire vive
- Vitesses d'exploitation: 4.77 et 8 Mhz
- Carte graphique ATI: 640 x 200 (CGA)
720 x 340 (Hercules)
- 8 fentes d'expansion
- 2 lecteurs de disque souple
- Port série RS-232
- Port parallèle Centronics
- Clavier type IBM PC-83
- Moniteur monochrome Philips
- MS-DOS version 3.1
- GW-Basic
- Tuteur de Philips
- Traitement de texte TDT de Philips

Succursale informatique

5000, Jean-Talon Ouest
340-4487

Papeterie
340-4841

Librairie scientifique
340-4851

coopoly