

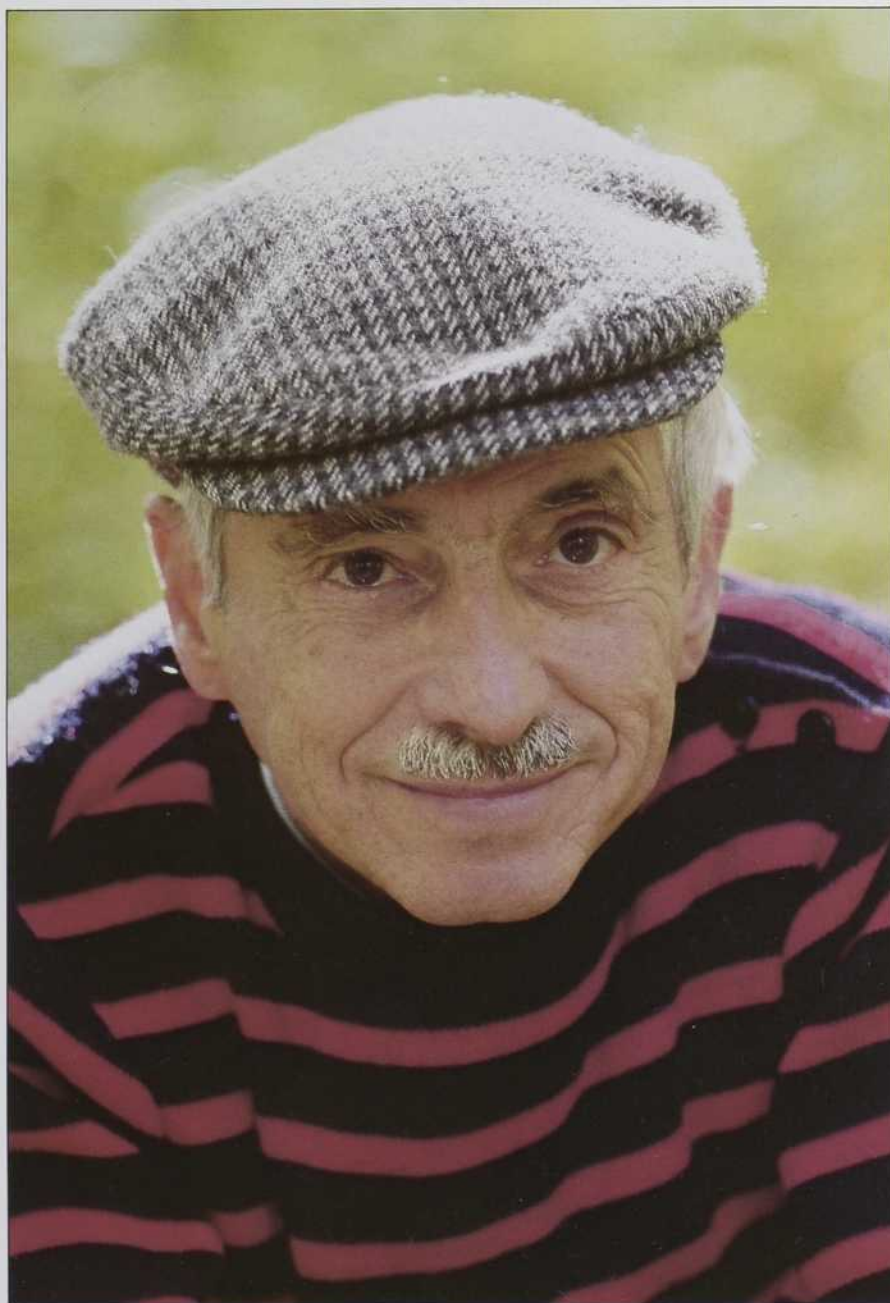
PER  
A-522  
EX. 2

# INTERFACE

La biodegradation  
des BPC

Cognition et  
métacognition :  
les recherches sur le  
développement de  
l'intelligence

Les étalons  
de temps atomiques



La recherche dans  
les collèges

L'enseignement  
supérieur à l'aube  
du 21<sup>e</sup> siècle

Spar Aérospatiale

La recherche en  
Suède

À L'INTÉRIEUR  
**FORMULAIRE  
D'INSCRIPTION**  
AU 56<sup>e</sup> CONGRÈS  
DE L'ACFAS

Face à face

## Louis-Edmond Hamelin

La « mouvance » d'un chercheur

# LÉONARD

## ÉTAIT-IL UN ARTISTE OU UN HOMME DE SCIENCE?



LA JOCONDE, 1507



ÉTUDE DE MÉCANISME, 1497

# A

PRÈS cinq siècles, l'innovateur génial que fut Léonard de Vinci continue de fasciner et de faire rêver. Et puisqu'il était à la fois peintre, ingénieur, architecte, poète, musicien et théoricien, bien malin qui dira si l'illustre personnage était un artiste ou un homme de science...

De nos jours, les scientifiques ne visent plus à l'universalité.

Pourtant, à leur manière, ils sont aussi des créateurs.

En contribuant au bien-être de la collectivité, en participant au développement socio-économique, ils souscrivent à l'épanouissement de notre culture et méritent ainsi toute notre admiration.

C'est donc pour bien marquer notre reconnaissance envers ces gens qui élargissent sans cesse notre vision du monde que, chaque année, deux des six **Prix du Québec** sont décernés à des personnalités scientifiques pour l'ensemble de leur oeuvre.

Le prix *Marie-Victorin*, du nom du célèbre botaniste, souligne une contribution marquante aux sciences de la nature et du génie, tandis que le prix *Léon-Gérin*, du nom de celui que l'on considère comme le premier sociologue québécois, consacre un apport exceptionnel aux sciences humaines.

*Les Prix du Québec, pour des gens remarquables!*

Les lauréats des **Prix du Québec** 1987, dans le domaine scientifique:

Prix Marie-Victorin  
**Pierre Deslongchamps**  
Chimiste

Prix Léon-Gérin  
**Louis-Edmond Hamelin**  
Géographe



Gouvernement du Québec  
Ministère de l'Enseignement supérieur  
et de la Science

Québec

ressources MEDIA

## SOMMAIRE

## INTERVIEW

|             |                                        |   |
|-------------|----------------------------------------|---|
| Face à face | LOUIS-EDMOND HAMELIN                   | 6 |
|             | Propos recueillis par Danielle Ouellet |   |

## ARTICLES

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| LA BIODÉGRADATION DES BPC                             | 13 |
| Michel Sylvestre                                      |    |
| COGNITION ET MÉTACOGNITION :                          |    |
| les recherches sur le développement de l'intelligence | 18 |
| Adrien Pinard                                         |    |
| LES ÉTALONS DE TEMPS ATOMIQUES :                      |    |
| derniers développements                               | 22 |
| Claude Jacques                                        |    |

## CHRONIQUES

|                        |                                                           |    |
|------------------------|-----------------------------------------------------------|----|
| Éditorial              | L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR :                                |    |
|                        | à l'aube du 21 <sup>e</sup> siècle                        | 5  |
|                        | Jean-Guy Paquet                                           |    |
| Modem                  | LA RECHERCHE DANS LES COLLÈGES                            |    |
|                        | LE POINT DE VUE D'UNE UNIVERSITÉ                          | 29 |
|                        | Michel Gervais                                            |    |
|                        | LE GROUPE ECOBES :                                        |    |
|                        | un témoin de la recherche subventionnée dans les collèges | 31 |
|                        | Michel Perron, Suzanne Veillette, Gilles Hébert           |    |
|                        | et Burkhard Ortmann                                       |    |
|                        | UNE GARANTIE DE DÉVELOPPEMENT                             | 32 |
|                        | Angèle Grégoire                                           |    |
| Gros Plan              | SPAR AÉROSPATIALE :                                       |    |
|                        | les divisions de Sainte-Anne-de-Bellevue                  | 34 |
|                        | Raynald Pépin                                             |    |
| Intermonde             | LA RECHERCHE EN SUÈDE :                                   |    |
|                        | l'exemple d'un petit pays                                 | 37 |
|                        | Michel Groulx                                             |    |
| Transferts             | Louise Desautels                                          | 41 |
| Science-inter          | Sophie Malavoy                                            | 42 |
| Subventions et bourses | Françoise Braun                                           | 47 |
| À suivre               |                                                           | 50 |
| Sources                |                                                           | 51 |
| Chercheurs recherchés  |                                                           | 54 |

## INTERFACE

Revue bimestrielle sans but lucratif, **INTERFACE** est publiée à l'intention de la communauté scientifique par l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences (ACFAS), avec l'aide du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science ainsi que du Fonds FCAR.

Directeur général de l'ACFAS : Guy Arbour  
 Directeur scientifique par intérim : Gilles Paquet  
 Rédactrice en chef : Sophie Malavoy  
 Direction artistique : Mathilde Hébert, Annie Pencrech  
 Typographie : Composition Solidaire inc.  
 Révision linguistique : Hélène Larue  
 Publicité : Yves Ouellette, SOCREP, 2765, Côte-Sainte-Catherine, Montréal (Québec) H3T 1B5, (514) 738-7427

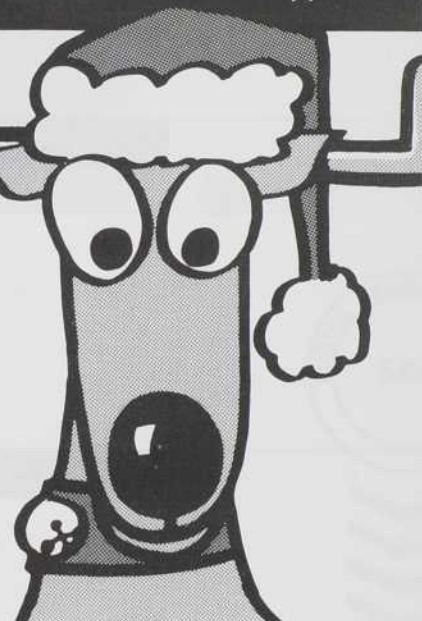
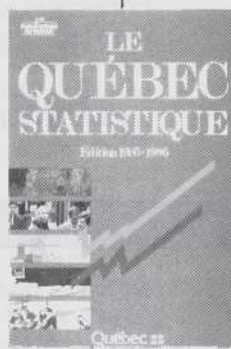
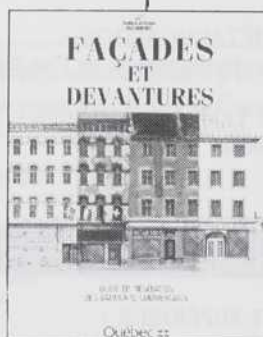
Photo de la page couverture : Robert Etcheverry  
 Comité de rédaction : Claude Hamelin, Marianne Kugler, Denise Pelletier, Jean-Pascal Souque et Robert Stampfer.

Les articles de **INTERFACE** peuvent être reproduits sans autorisation à condition que l'origine en soit mentionnée. Pour toute demande de renseignements, s'adresser à l'ACFAS, 2730, Côte-Sainte-Catherine, Montréal (Québec) H3T 1B7 (514) 342-1411.

Courrier de deuxième classe, enregistrement n° 6489, 10 novembre 1987.

Dépôt légal : Bibliothèque nationale du Québec, quatrième trimestre 1987, ISSN : 0826-4864

# ★ DES LIVRES ★ QUI ONT ★ ★ DU PANACHE ★



## Répertoire toponymique du Québec 1987

75 ans de toponymie  
1912-1987

Le Répertoire toponymique du Québec 1987 répertorie les noms de lieux officiels du Québec, à l'exception des noms de voies de communication.

Cet ouvrage contient au-delà de 105 000 toponymes, soit près de 50% de plus que dans le Répertoire de 1978.

Il constitue un recueil d'information à caractère géoterritorial indispensable aux cartographes, de même qu'aux usagers pour qui la description technique du territoire québécois présente un intérêt.

Commission de toponymie  
1987, 1928 pages  
EQQ 23438-5

**89,95 \$**

## Façades et devantures

Guide de rénovation  
des bâtiments commerciaux

Enfin un guide sur la rénovation des façades des bâtiments commerciaux. Il présente une démarche d'ensemble qui permet d'identifier les travaux à effectuer et leurs étapes de réalisation. Administrateurs municipaux et propriétaires d'immeubles commerciaux anciens trouveront dans ce guide, aux nombreuses illustrations, des procédés et méthodes qui tiennent compte de l'aspect architectural et de l'état matériel des bâtiments et des caractéristiques du milieu environnant. Grâce à ce guide, les rues commerciales devraient nous offrir un nouveau coup d'oeil.

Ministère des Affaires municipales  
1987, 136 pages  
EQQ 23924-4

**18,95 \$**

## Le Québec statistique

Panorama du Québec économique, social et culturel. Le Québec statistique réunit une foule de données dans la plupart des domaines d'activité. Le Québec statistique: une véritable banque de données qui se feuillette!

Bureau de la statistique du Québec  
1986, 1190 pages  
EQQ 21382-7

**19,95 \$**

En vente dans nos librairies,  
chez nos concessionnaires,  
par commande postale  
et chez votre libraire habituel.

Les publications du Québec  
C.P. 1005  
Québec (Québec)  
G1K 7B5

Vente et information:  
(418) 643-5150  
(Sans frais) 1-800-463-2100

## Bon de commande postale (À compléter en lettres moulées SVP)

| Nom                                                                                           |          | Tel                                   |               |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------|---------------|-------|
| Adresse                                                                                       |          |                                       |               |       |
| Ville                                                                                         | Province | Code postal                           |               |       |
| Quant.                                                                                        | Code EQQ | Titre                                 | Prix unitaire | Total |
|                                                                                               | 23438-5  | Répertoire toponymique du Québec 1987 | 89,95 \$      |       |
|                                                                                               | 23924-4  | Façades et devantures                 | 18,95 \$      |       |
|                                                                                               | 21382-7  | Le Québec statistique                 | 19,95 \$      |       |
| Retourner à:<br>Les Publications du Québec<br>Case postale 1005<br>Québec (Québec)<br>G1K 7B5 |          |                                       | Grand total   |       |
| Important:<br>Paiement par chèque ou mandat poste                                             |          | Numero                                |               |       |
| Cartes de crédits acceptées                                                                   |          | Date d'échéance                       |               |       |
| <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>                                             |          | Banque                                |               |       |
|                                                                                               |          | Signature                             |               |       |
|                                                                                               |          | Nom du titulaire                      |               |       |

TOUTE COMMANDE EST PAYABLE À L'AVANCE À L'ORDRE DE « LES PUBLICATIONS DU QUÉBEC »



# L'enseignement supérieur : à l'aube du 21<sup>e</sup> siècle

PAR JEAN-GUY PAQUET

**U**n événement unique dans les annales de l'enseignement supérieur réunissait il y a quelques semaines plus de 700 Canadiens de tous les milieux et de tous les horizons. Le défi était de taille : « Explorer et, si possible, satisfaire les besoins grandissants de l'enseignement postsecondaire au Canada ».

Le *Colloque national sur l'enseignement postsecondaire* n'était pas l'apanage de la gent universitaire et collégiale puisque 70 p. cent des participants provenaient d'autres secteurs : employeurs, usagers de la recherche, organisations d'employés, gouvernements, groupes d'intérêts spéciaux, etc. La diversité des points de vue exprimés a été le catalyseur d'une remise en question de la capacité de nos institutions collégiales et universitaires à satisfaire les besoins actuels du Canada et à prévoir ceux du 21<sup>e</sup> siècle.

Les institutions d'enseignement postsecondaire tardent à marquer le pas des profondes mutations que subit l'univers technologique dans lequel nous vivons désormais.

L'université possède une fonction hybride. Elle constitue tantôt un réservoir de main-d'oeuvre qualifiée, tantôt un sanctuaire de la recherche ou de l'émancipation culturelle collective. S'il fallait aujourd'hui créer des institutions destinées à former de la main-d'oeuvre, on s'adresserait à l'industrie. S'il fallait créer aujourd'hui une institution vouée à la recherche, on créerait des instituts conjoints entreprises-gouvernements. S'il fallait promouvoir aujourd'hui une institution vouée à l'émancipation culturelle, on accorderait aux protagonistes concernés une subvention de fonctionnement en les enjoignant de s'autofinancer au maximum. On confie pourtant aujourd'hui aux universités et aux collèges ces multiples fonctions, qui s'accomplissent dans un climat traditionnel de jugement par les pairs.

L'accélération des mutations sociales requiert toutefois que ces institutions fassent désormais appel à leurs agents de changements intérieurs, vecteurs de changements sociaux. L'harmonisation du travail des employeurs, des chercheurs, des enseignants et des étudiants est aussi nécessaire que difficile. La rationalisation de leurs efforts en ce sens est aussi impérieuse qu'inévitable. Il ne suffit pas de dépenser plus d'argent en matière

de formation, il faut aussi « investir plus sagement », selon le leitmotiv du Forum entreprises-universités, sans quoi il y a un réel danger de voir l'industrie damer le pion aux universités et aux collèges. Cela se concrétise déjà ailleurs, notamment aux États-Unis, où certaines firmes se chargent de la formation de leurs employés. Les institutions collégiales, en particulier, possèdent au Québec une fonction communautaire indissociable de l'activité économique régionale et sont donc appelées, au chapitre de la formation professionnelle, à vivre en symbiose avec l'industrie. Les universités, quant à elles, devront faire preuve d'audace et reléguer aux oubliettes les clichés de conservatisme et de tour d'ivoire qu'elles continuent parfois d'inspirer au grand public.

La recherche scientifique de première instance, celle qui précède souvent les applications technologiques commercialisables, risque aussi d'être évacuée des priorités gouvernementales. Or, il s'avère que le jugement des pairs, tout aussi obnubilé soit-il par les castes disciplinaires, n'est pas toujours aussi « déconnecté » de la réalité économique que peuvent le clamer certains tenants de la rentabilité à tout prix. Il y avait, par exemple, une grande viabilité économique à long terme dans le projet de réseau pan-canadien de radio-télescope (CLBA) que préconisait en 1982 la Société canadienne d'astronomie. Le projet a été décimé dans le train des coupures qu'a subies par la suite le CNRC. Ce véritable « projet ARROW » de la recherche canadienne, aux limites des sciences physiques, constituait un exemple de concertation interinstitutionnelle. Il appartient sans doute aux universités de faire connaître au grand public la portée sociale et économique des recherches fondamentales qu'elles soutiennent. La valorisation des universités est solidaire de l'image publique qu'elles entretiennent.

Une autre idée issue du colloque de Saskatoon est de faciliter la création au Canada de réseaux de chercheurs qui puissent augmenter la compétitivité de notre activité scientifique nationale. L'Acfas fournit des efforts en ce sens depuis 1923. Souhaitons que notre vénérable association puisse aussi contribuer à mener les institutions postsecondaires jusqu'à l'aube du 21<sup>e</sup> siècle. ■



*Jean-Guy Paquet est vice-président exécutif de La Laurentienne, mutuelle d'assurance, dont le siège social est à Québec. Il a été recteur de l'Université Laval de mai 1977 à mai 1987. Il était vice-président du récent Colloque national sur l'enseignement postsecondaire (Saskatoon, 25-28 octobre 1987).*

# LOUIS-EDMOND HAMELIN

## ou la « mouvance » d'un chercheur

PROPOS RECUEILLIS PAR DANIELLE OUELLET

*Louis-Edmond Hamelin, c'est l'homme du Nord et de la « nordicité », le géographe fondateur du Centre d'études nordiques de l'Université Laval. Mais c'est aussi un économiste, un écrivain « inventeur de mots », un ancien recteur redevenu étudiant et un passionné de montagne. Bref, un chercheur dont la « mouvance » témoigne d'une curiosité sans borne et d'un désir permanent d'ascension. Le résultat ? Beaucoup de sommets : il vient, entre autres, de recevoir du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science du Québec, le prix Léon-Gérin, la plus haute distinction dans le domaine des sciences de l'homme.*

À la fin de la Deuxième Guerre mondiale, en 1945, Maurice Duplessis apprend avec stupeur que le village de Fort-Chimo (aujourd'hui : Kuujuaq) est une base militaire américaine fermée. Le gouvernement québécois l'ignorait ! La colère du premier ministre n'y change rien : le Québec « ne s'appartient pas ».

« Le Nord n'était même pas sur la carte », affirme un chercheur audacieux, Louis-Edmond Hamelin, qui a longuement exploré les régions nordiques pour tenter d'en dévoiler les mystères. De la poudrière chantée par les poètes à la nordicité, que lui-même a nommée, la géographie nordique s'est développée et le chemin parcouru est aujourd'hui impressionnant.

Économiste, linguiste, intellectuel, penseur, chercheur membre de l'Assemblée législative de Yellowknife de 1970 à 1975 et recteur de l'Université du Québec à Trois-Rivières de 1978 à 1983, Louis-Edmond Hamelin est avant tout géographe. « Et la géographie, dit-il, ça s'apprend par les pieds, en marchant. »

Pour ce petit gars de la Mauricie, un gars de la terre, né et élevé sur une ferme, le sol reste un point d'ancrage solide. Chaque aspect de sa vie semble y trouver racine. Un jour, son père lui dit : « Il n'y a qu'une chose importante dans la vie, c'est le travail ; si tu travailles, il est impossible que tu ne réussisses pas. » La vue des labours rappelle constamment au jeune homme la justesse de la déclaration paternelle. Encore aujourd'hui, le chercheur qu'il est devenu s'enthousiasme de voir les sillons s'additionner, un à un, réguliers : « À la fin, vous avez un champ entièrement labouré. C'est extraordinaire ! » Hamelin a voulu une vie à l'image de ce labreur. Ainsi, avec la régularité d'un métronome, il écrit sa page et demie de texte tous les matins depuis 20 ans ; faites le calcul, ajoutez 2000 pages, et le compte y est. L'ensemble des réalisations de Louis-Edmond Hamelin constitue toutefois beaucoup plus que la somme des parties : lorsqu'on sème à tous vents, les récoltes réservent bien des surprises.

### UNE TRAJECTOIRE EN SPIRALE

Un développement mental en spirale, dirigé vers le haut pour échapper à la gravité du déjà connu, tel est le leitmotiv de Louis-Edmond Hamelin. La spirale, pour lui, est la figure qui décrit le mieux la trajectoire d'une carrière culturelle, artistique ou scientifique. C'est aussi la trajectoire inévitable d'une entrevue, où chaque réponse entraîne un retour aux sources, car « (...) il faut éviter l'ennui des courbes plates » et, surtout, commencer par le début. Avec une bio-bibliographie de près de 140 pages, plus de 1 200 publications, souvent éclectiques, et d'innombrables voyages tous plus particuliers les uns que les autres, il y a des dizaines de débuts possibles. Une immense caricature ornant la porte de son bureau pourrait bien représenter l'homme assis devant moi : regard pénétrant et décidé, front haut et volontaire, sourire large et presque modeste. « Mais non, rectifie-t-il aussitôt, ce n'est pas moi. Regardez bien, c'est Malraux. » L'occasion est trop belle : il avoue son attachement aux chansonniers parisiens, qu'il encourage fidèlement depuis des années. Au « Caveau de la République », petite boîte où les artistes font avec humour le procès de la politique française, on le reconnaît : il est « le Canadien ». Il y a 12 ans, le soir de sa soutenance de thèse, c'est là qu'il a célébré avec ses amis. Les yeux pétillants de fierté, il explique : « Ma thèse de doctorat d'État a été très tardive. J'avais 52 ans ! J'ai pris 20 ans pour l'écrire. C'est le gros volume rouge que vous voyez, là, sur les classeurs. » Des caricaturistes fréquentent la boîte. C'est ainsi que le nouveau docteur est reparti avec la tête de Malraux. Homme des détails, il attache une importance considérable à ce souvenir, d'autant plus qu'il regrette de ne pas savoir dessiner. Peut-être est-ce pour cela qu'il a choisi la géographie ?



PHOTO ROBERT ETCHÉVERRY

« **J'**ai toujours été porté à me rapprocher des gens qui étaient beaucoup plus vieux que moi. »

Premier jour du printemps 1923, dans le petit village de Saint-Didace, comté de Berthier-Maskinongé. Des parents qui ont déjà dépassé la quarantaine accueillent leur premier et unique enfant, du moins pour la mère car le nouveau-né a déjà une sœur d'un premier mariage du père. L'influence des adultes sera déterminante dans la vie du futur géographe qui, aujourd'hui, n'hésite pas à parler de l'*adulation*. Ce mot, il l'a forgé, comme bien d'autres : si le terme dont il a besoin pour exprimer sa pensée n'existe pas, il l'invente, tout simplement. Après, il réfléchit à la qualité esthétique du mot avant de l'employer systématiquement... en attendant que les dictionnaires le reconnaissent ! Sa décision reste à venir dans le cas d'*adulation*, mais ce concept évoque bien pour lui l'atmosphère permanente de sa vie : « *J'ai toujours été porté, explique-t-il, à me coller, à me rapprocher des gens qui étaient beaucoup plus vieux que moi.* » Ses parents, qui auraient pu être ses grands-parents, lui donnent très jeune le sens des responsabilités, et il attribue sa carrière précoce à l'apport constant et enrichissant de ses aînés.

En 1948, un éminent botaniste québécois, Jacques Rousseau, et Hamelin effectuent, séparément, leur premier voyage dans le Grand-Nord. Hamelin a 25 ans, Rousseau 18 ans de plus, mais celui-ci restera toujours pour Hamelin l'homme exceptionnel qui l'a convaincu de « faire du Nord ». Peu après, à Québec, le jeune étudiant, trop heureux de se sentir aimé et conseillé, se rapproche immédiatement du secrétaire général de l'Université Laval, Alphonse-Marie Parent, et surtout du doyen de la Faculté des sciences sociales, le père Georges-Henri Lévesque. Tous deux lui prodiguent encouragements, conseils et suggestions. « *J'en avais besoin, avoue Hamelin. Vous ne pouvez pas sortir d'un rang et vous projeter tout de suite au sommet des activités intellectuelles... Ça prend des tuteurs, des mentors.* » À Grenoble, plus tard, il étudie sous la direction d'un géographe célèbre et amoureux du Québec, Raoul Blanchard. Ce septuagénaire, alors à la retraite, est un maître qui lui enseigne une géographie du 19<sup>e</sup> siècle et dont la vaste culture ravit son disciple. « *Quelle différence, note avec regret Louis-Edmond Hamelin, avec les jeunes d'aujourd'hui, qui pensent que personne ne les aime.* » Ayant lui-même dirigé de nombreuses thèses, il remarque qu'elles ont tendance à ne plus tenir compte des expériences des générations précédentes. « *(...) alors que moi j'ai aimé cela, je l'ai recherché, tel Télémaque.* » Aujourd'hui, il continue d'aimer et de rechercher la proximité de gens qui « *le dominent* ». Il était donc très heureux quand Radio-Canada l'invita à commenter la visite du pape à Fort-Simpson en septembre dernier. D'autant plus que Jean-Paul II l'impressionne considérablement, non pas en raison de son âge, mais plutôt « *par la masse (spirituelle) qu'il véhicule.* »



PHOTO PAUL LAPORTE

« **S**i je n'ai pas connu d'automne dans ma vie, c'est probablement à cause du cours classique. »

Nouvelle descente au pied de la spirale pour aborder un autre aspect de la vie du chercheur, celui de sa formation. Hamelin insiste : le retour aux sources est indispensable pour comprendre l'essentiel. « *Je suis né dans un rang, et j'en suis fier. Je suis sorti d'un rang pour faire des grands cours, comme disait mon père.* » C'est d'abord le cours classique, à Joliette, où il est pensionnaire pendant sept ans. Contrairement à plusieurs de ses contemporains qui ont reproché à l'enseignement classique d'avoir entravé le développement de leur personnalité, Louis-Edmond Hamelin avoue en être sorti avec un élan extraordinaire. « *Il y a de cela 42 ans, et si je n'ai pas connu d'automne dans ma vie, c'est probablement à cause du cours classique.* » Pour lui qui a constaté fréquemment l'avantage intellectuel des personnes qui ont reçu cette formation sur les autres, l'abolition de ce cours dans les années 60 n'est rien de moins qu'une catastrophe. Selon lui, les thèses d'aujourd'hui sont « techniquement » meilleures que celles d'autrefois, grâce notamment à l'informatique, mais on n'y retrouve généralement pas la même qualité d'écriture, la même rigueur dans la structuration ; on y décèle de moins en moins cette ouverture à la culture mondiale, indispensable à la formation d'un être complet. Pour y avoir appris à apprécier l'art et la musique, pour y avoir goûté à la culture scientifique, pour y avoir découvert les Marie-Victorin, Léo Pariseau ou Jacques Rousseau par l'intermédiaire de Radio-Collège, pour y avoir côtoyé des maîtres exceptionnels, le cours classique reste pour Louis-Edmond Hamelin une étape cruciale de sa formation de chercheur.

Louis-Edmond Hamelin à la « Baie de James » entouré d'Oblats, de fonctionnaires et d'hommes d'affaires (août 1948).



Première réunion du bureau de direction du Centre d'études nordiques fondé par Louis-Edmond Hamelin en 1961 ; de gauche à droite : Benoît Robitaille, géographe, Louis Lemieux, biologiste, Max-Adélard Tremblay, anthropologue, Robert Bergeron, géologue et Louis-Edmond Hamelin, directeur. Dès le départ, on remarque un souci de multidisciplinarité.

### À LA RECHERCHE D'UNE CARRIÈRE

Fasciné depuis l'enfance par les cailloux, les roches qui jonchent le sol de la ferme familiale, le jeune Louis-Edmond rêve de devenir ingénieur minier. Dans les années 40, au Québec, l'exploration minière est en pleine expansion et l'École polytechnique lui semble tout indiquée. À cette époque, peu de gens croient en la pertinence d'une carrière d'ingénieur et l'entourage de Hamelin s'emploie à le décourager : « Ces études coûtent trop cher, ce n'est pas aussi intéressant que tu le penses, tu travailleras loin de chez toi, sous la terre, etc. » La désapprobation générale a tôt fait de le convaincre de s'orienter ailleurs. Ne sachant pas trop où se diriger, Hamelin pense alors au droit, cette discipline qui « mène à tout ». Il rencontre un avocat de Joliette, qui lui conseille de renoncer à ce projet : il peut être difficile de se tailler une place au soleil dans la profession si on n'appartient pas à l'une des grandes familles de juristes canadiennes-françaises. Hamelin oublie le droit ! Toujours cette influence des adultes, pour le meilleur... ou pour le pire.

C'est finalement avec scepticisme et compassion que ses maîtres et ses compagnons de classe de Joliette réagissent en apprenant que Louis-Edmond a choisi d'étudier les sciences économiques, à l'Université Laval. L'avenir d'un économiste ne leur apparaît pas beaucoup plus prometteur que celui d'un ingénieur. Mais pour leur audacieux coreligionnaire, l'économie sera la porte d'entrée vers le Nord québécois.

Au début de 1948, Maurice Duplessis, au pouvoir depuis quatre ans, cherche des moyens d'assurer sa réélection et, cette fois, avec une forte majorité. Pour confirmer son autorité, il projette de créer 150 nouvelles paroisses et 15 comtés, « bleus » naturellement, entre l'Abitibi d'alors et la baie James. Aidé par les conseils et le prestige de Mgr Félix-Antoine Savard, alors président de la Société de développement et de colonisation, il recrute des colons et entend développer l'agriculture dans le Nord québécois. De son côté, le parti libéral ne peut pas se permettre de perdre autant de comtés. Les « rouges » décident donc de miser sur le

développement forestier plutôt que sur l'agriculture et suggèrent de construire un moulin à papier dans les froides régions de l'Abitibi. Les deux partis recourent aux conseils de spécialistes pour appuyer leurs projets respectifs.

C'est alors que Louis-Edmond Hamelin, économiste fraîchement diplômé de l'Université Laval, se retrouve dans une situation quelque peu cocasse : les deux adversaires politiques lui demandent son avis ! En 1948, il effectue ainsi ses deux premiers voyages dans le Nord. Le premier pour le compte du parti libéral, qu'il encourage à poursuivre ses projets ; le second pour Maurice Duplessis, à qui il déconseille de développer l'agriculture dans une région impropre. Peu après, l'Union nationale est reportée au pouvoir avec une forte majorité et son chef laisse tomber ses projets de colonisation du Nord. Même si l'avenir lui donnera raison avec, notamment, la construction du moulin de Lebel-sur-Quévillon, Hamelin est rapidement catalogué comme un opposant au gouvernement en place. Il décide de s'expatrier pour quelque temps.

La « Baie de James », comme Hamelin tient à l'appeler, l'intéresse de plus en plus. Sur les conseils du père Lévesque, qui lui obtient une bourse de la Fondation Rockefeller à New York, il décide de poursuivre des études en géographie. Il se met aussitôt à la recherche d'un spécialiste du Nord pour diriger sa thèse de doctorat et dénicher la perle rare... en Nouvelle-Zélande ! Au moment où l'aspirant docteur est sur le point de gagner les antipodes, il apprend le décès accidentel de ce professeur qu'il n'aura jamais connu. Tout est à recommencer. Le hasard met bientôt sur sa route le géographe français Raoul Blanchard qui, de passage à Québec, l'invite à étudier sous sa direction en France.

Louis-Edmond Hamelin se retrouve sur les bancs d'une classe de géographie de l'Université de Grenoble. Une jeune Française aux yeux foncés, Colette Lafay, lui offre ses notes de cours pour le dépanner (il a quelques semaines de retard). C'est le début d'une histoire d'amour qui rime encore avec toujours. Le vieil

adage « Qui prend mari prend pays » se vérifie une fois de plus et, géographe elle aussi, madame Hamelin devient une pionnière à Québec : on lui doit les premiers cours de géographie dans les collèges féminins de la ville.

### NORD PHYSIQUE ET NORD MENTAL

En 1947, sur les conseils du père Lévesque qui le voyait déjà géographe, Louis-Edmond Hamelin avait suivi des cours d'été à McGill en géographie. L'un des professeurs n'était nul autre que Vilhjalmur Stefansson, ce célèbre Canadien d'origine islandaise qui avait été le principal explorateur de l'Arctique au début du siècle. Avec une prestance de chef d'orchestre, le visage encadré d'une épaisse et blanche chevelure « à la Einstein », il raconte alors sans se lasser ses trois années passées à parcourir la banquise de l'océan Arctique, en solitaire. Les étudiants, fascinés par les exploits de cet impressionnant personnage, boivent les paroles de celui qu'ils surnomment « Old Stef ». Et lorsque le sexagénaire affirme : « Il y a deux sortes de Nord, le Nord réel et le Nord imaginaire », personne ne met sa parole en doute. Au départ, l'idée de Nord imaginaire ou Nord mental n'est, pour l'élève Hamelin, qu'une phrase de plus dans un cahier de notes... à moins que le vieux professeur ne veuille blaguer. Mais Old Stef insiste : il y a le Nord physique et le Nord mental, et qui plus est, le Nord mental est plus important que le Nord physique. « Pour tant, chuchote-t-on, Old Stef n'est pas un poète. » Son Nord mental reste bien mystérieux pour les étudiants.

Le Nord physique, lui, est par contre très réel. On peut le voir, le toucher, en parler, même en souffrir. Pendant des années, Louis-Edmond Hamelin s'emploie à l'explorer, à le décrire, à le sentir. Les rivières du Nord, ses lacs, sa végétation, sa faune, ses glaces, ses nuits polaires, autant d'aspects bien concrets qui passionnent notre géographe. Les dimensions de ce vaste territoire septentrional sont mal connues, et le problème des frontières le préoccupe. Les Amérindiens ou les Inuit, toutefois, le laissent au départ plutôt indifférent. Aveuglé par les préjugés les plus communs à leur sujet, le géographe privilégie l'aspect physique des régions nordiques.

Au fil des voyages, au fil des découvertes, au fil des impressions, des sensations ou des frissons, petit à petit, Louis-Edmond Hamelin est pénétré par l'idée d'un Nord plus indéfinissable, plus insaisissable. Le Nord mental de Old Stef le poursuit. Compter les rivières ou mesurer les précipitations sont des activités essentielles, certes, mais bientôt l'objectivité pure ne lui suffit plus. Il cherche un concept d'intégration générale. Les bouts de papiers annotés s'accumulent, les idées jaillissent dans toutes les directions : « Je bombardais à tous azimuts, des dizaines de petites poussières d'écriture. Je cherchais mon concept. Il n'existait pas, ni en russe, ni en anglais, ni en français. »

À Yellowknife, un matin glacial de 1965, Louis-Edmond Hamelin retourne à son hôtel, « gelé comme une corde », après une excursion en ski de fond. Il se sent fébrile, énervé, surexcité et le froid n'y est pour rien. Comme celui d'un créateur sur le point d'accoucher d'une idée, son cerveau fonctionne en accéléré... Et c'est la naissance du mot *nordicité*. « L'état d'être nord » a désormais un nom. Mais le vocable est arrivé avant le concept et la nordicité reste à élaborer.

Il faudra près d'une dizaine d'années à Louis-Edmond Hamelin pour préciser le premier niveau du concept, essentiellement lié au Nord réel, physique. Puis, au milieu des années 70, il arrive à en définir un deuxième : la nordicité mentale. Celle-ci rend compte de la représentation que les Blancs se font du Nord et de ses habitants ainsi que de l'image que les Amérindiens et les Inuit ont d'eux-mêmes et de leur environnement. Plus récemment, il a développé une nordicité normative, étape commandée par la nordicité mentale : pour éviter la confusion entre les différentes perceptions, Hamelin croit essentiel d'établir des normes. L'étape normative est d'une grande utilité pour les gouvernements, fédéral, provincial ou américain dans le cas de l'Alaska : elle leur fournit des points de repère précis dans leurs négociations avec les autochtones ou pour élaborer une politique de développement du Nord.

Le concept de nordicité n'appartient plus à son inventeur et d'autres maintenant le modifient ou l'enrichissent. Les Russes, par exemple, l'appliquant à l'Antarctique, parlent de *sudité*. Y aura-t-il une quatrième étape ? Hamelin l'ignore encore : il continue de réfléchir et de paver, pierre par pierre, la voie qui mène à une plus grande connaissance du Nord.

### MOBILITÉ ET GLOBALITÉ

La mobilité de l'esprit, indispensable au chercheur qui suit la trajectoire d'une spirale, a été et reste le moteur de toute la vie intellectuelle de Louis-Edmond Hamelin. Si le concept de nordicité a pu évoluer, c'est parce que son inventeur a su intégrer sans cesse les informations nouvelles. Il a toujours tenté de voir au-delà des idées préconçues pour pousser la connaissance vers de nouveaux sommets. De ses cours de chimie, Hamelin a retenu le mot *valence* et, aujourd'hui, il parle de ses *valences positives* en référence à sa curiosité insatiable. Par exemple, en 1984, l'homme de la terre qu'il est resté dans l'âme s'est intéressé de très près aux « rangs » du Québec, au point de consacrer quelques pages bien fouillées à l'origine du mot et à sa représentation. Personne ne s'était attardé à ce concept d'une façon aussi systématique avant lui et cette incursion dans un domaine historico-linguistique n'est qu'un exemple de la mobilité intellectuelle du grand chercheur. Cette disponibilité le conduit parfois dans des culs-de-sac, mais, à défaut d'une grande découverte, certains résultats sont amusants. Ainsi, ayant appris qu'on allait démolir certains édifices du centre-ville de Québec, Hamelin s'est souvenu que l'un d'eux était censé abriter le coffre-fort, réputé indestructible, de l'Union nationale. Après trois allers-retours sur les lieux, le curieux fut finalement récompensé : il put prendre la dernière photographie du fameux coffre-fort trônant au milieu des débris et qui, à l'image de son propriétaire Maurice Duplessis, résista jusqu'à la dernière minute aux impératifs de l'ère moderne.

À la mobilité intellectuelle, Louis-Edmond Hamelin ajoute une approche globaliste de la recherche. Dès le début de sa formation de géographe, il subit l'influence de son maître français, Raoul Blanchard, pour qui le grand âge est une période de synthèse. L'élève reprend rapidement à son compte cette recherche de l'unification et l'enrichit d'un globalisme qui le fascine chez les Européens : « Ces gens voyaient l'ensemble des choses, ça m'étonnait. » De retour au Québec, il évite de s'intéresser à

un seul aspect de la géographie et l'aborde plutôt dans son sens le plus large. Peut-être, explique-t-il, parce qu'en tant que premier directeur de l'Institut de géographie, il se sent investi de la mission de développer tous les aspects de la discipline. Une mise en garde, cependant : le chercheur qui choisit l'approche globaliste s'expose aux critiques beaucoup plus facilement que le spécialiste qui est l'un des seuls à connaître son sujet et qui reste « dans sa tour d'ivoire » à l'université. Hamelin lui-même n'a pas toujours échappé à la méfiance et aux rebuffades : au moment où le gouvernement de Robert Bourassa décida de développer le potentiel hydro-électrique du nord de la province, des ingénieurs torontois réclamèrent son avis. Fiers de leurs connaissances en construction de barrages, ils furent déçus de ce spécialiste des questions nordiques lorsque celui-ci leur demanda une seule chose : « Avez-vous pensé aux Amérindiens ? » Aux yeux des bâtisseurs, l'ingénierie n'est pas affaire de sociologie. Même si l'avenir donna raison à Hamelin, notamment avec le jugement Malouf concernant les droits des Amérindiens, il revint sur le moment à Québec sans les subventions qu'il aurait pu obtenir pour l'Institut de géographie s'il n'avait pas fait figure de rabat-joie.

La pensée rationnelle occidentale peut faire perdre le sens de la globalité des choses et Louis-Edmond Hamelin tient à rester conscient de sa place dans l'univers. Pour lui, une conscience intimiste du cosmos, c'est aussi une question de responsabilité personnelle. Les phénomènes non rationnels ne le laissent pas indifférent. Il n'hésite pas à consulter sa carte du ciel, tout Bélier qu'il est, et l'utilisation du pendule confirme à l'occasion sa relation toute particulière avec les objets. Il est aussi l'un des rares savants québécois à s'être intéressé à la crainte du diable et de ses manifestations au point d'y avoir consacré, en 1978, quelques pages sous le titre : « Le forgeron, le diable et les retraites fermées. » Pour celui qui cherche, l'esprit n'a pas de frontière.

Mobilité et globalisme, deux lignes de force dans la carrière d'un géographe. Il fallait en parler avant d'aborder la linguistique, une nouvelle courbe de la spirale : « *Je ne tourne pas autour du pot, prévient-il, mais si on veut comprendre les choses fondamentales, il faut toujours commencer par le début.* »

« **Le mot nouveau doit avant tout être facilement compréhensible pour un large public.** »

Les textes de Louis-Edmond Hamelin sont, depuis des années, truffés de mots qui n'ont droit de cité dans aucun dictionnaire : environ cinq ou six par article et une vingtaine par livre. Toutefois, plusieurs ont à ce jour été adoptés par le Grand Larousse et le Grand Robert : *glaciel* en 1983, inventé en 1959 pour désigner des glaces flottantes, et *nordicité* deux ans plus tard, vingt ans après sa naissance. M. Hamelin a aussi contribué à diffuser *gélisol*, en plus de créer *gélisolation*, pour désigner l'état de ce qui est gelé ou *pergélisol* pour remplacer *permafrost*.

La constatation d'un « trou dans la langue » est l'occasion rêvée pour forger un mot nouveau ou lui donner un sens plus large. Ainsi est né *intellectif*, l'un des favoris de son créateur que l'idée véhiculée par « intellectuel » ne satisfait pas. Ces créations ne surgissent pas du néant. Il faut d'abord s'assurer qu'il n'existe aucun autre mot adéquat puis utiliser une grille précise, qui contient des racines grecques ou latines ; et surtout : « *Le mot nouveau doit avant tout être facilement compréhensible par un large public.* » À 64 ans, Louis-Edmond Hamelin complète actuellement une maîtrise en linguistique à l'Université Laval : « *En 1985, explique-t-il, j'avais un exposé à faire par semaine, dans le cadre d'un cours : une occasion extraordinaire pour moi de me soumettre à une telle discipline.* » Le diplôme importe peu, mais la formation, oui.

De la géographie à la linguistique, la mobilité intellectuelle a fait son oeuvre, et Louis-Edmond Hamelin ne pouvait trouver de meilleur titre que *Au fil de la mouvance* pour l'autobiographie à laquelle il travaille présentement. ■



CENTRE QUÉBÉCOIS  
DE RECHERCHE SUR  
LES APPLICATIONS  
PÉDAGOGIQUES  
DE L'ORDINATEUR

**Plus qu'un organisme de recherche,  
un partenaire au service de la R.-D.  
dans le domaine des A.P.O.**

- UN CENTRE D'INFORMATION, DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT SUR LES A.P.O.
- UN LIEU D'EXPÉRIMENTATION SUR LES ENVIRONNEMENTS PÉDAGOGIQUES INFORMATISÉS (VITRINE 2001)
- UN ORGANISME DE CONSEIL ET DE FACILITATION AU SERVICE DES INTERVENANTS DU MILIEU

Le Centre APO QUÉBEC est un organisme sans but lucratif qui relève du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science du Québec.

2001, boul. St-Laurent, Montréal (Québec) H2X 2T3 Tél.: (514) 849-1265

Au Centre APO QUÉBEC, nous voulons promouvoir la recherche et le développement (R.-D.) dans le domaine des applications pédagogiques de l'ordinateur (A.P.O.).

Nous agissons avec les divers intervenants du milieu des A.P.O. en effectuant et en soutenant des travaux de recherche et de développement, notamment, des analyses des besoins et des études d'impact ainsi que des prototypes de logiciels éducatifs, des instruments d'intégration de l'ordinateur et des environnements pédagogiques informatisés.

À titre de partenaire et de conseiller auprès des groupes, organismes et entreprises intéressés par les A.P.O., nous sommes fiers de pouvoir contribuer à l'avancement et à l'application des connaissances susceptibles de favoriser l'implantation de la micro-informatique en milieu scolaire.



# La solution totale

Quels que soient vos besoins en télécommunications, Bell Canada vous offre la solution totale. La solution totale, c'est l'avantage de pouvoir compter sur l'ensemble complet le plus efficace d'outils, de moyens et de compétences en matière de télécommunications. Entrez de pied ferme dans l'ère de l'information avec la solution totale de Bell.

## L'efficacité passe par Bell

**Bell**

# L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC



Créée en 1968 par l'Assemblée nationale, l'Université du Québec constitue aujourd'hui un réseau implanté dans sept villes et rayonne, en outre, dans quelque 35 sous-centres.

Le réseau compte 11 établissements: **six universités constituantes** — l'Université du Québec à Montréal (UQAM), l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR), l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), l'Université du Québec à Rimouski (UQAR), l'Université du Québec à Hull (UQAH), l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT); **deux écoles supérieures** — l'École nationale d'administration publique (ENAP), l'École de technologie supérieure (ETS); **deux instituts de recherche** — l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), l'Institut Armand-Frappier (IAF); **un établissement de formation à distance** — la Télé-université (TÉLUQ).

L'Université du Québec regroupe aujourd'hui une communauté universitaire de plus de 78 000 étudiants, 1 900 professeurs réguliers et 3 000 employés non-enseignants.

L'Université du Québec offre 375 programmes d'études de 1<sup>er</sup> cycle, 98 programmes d'études de 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles.

Elle rassemble aussi une communauté scientifique travaillant sur plus d'un millier de projets de recherche recensés et disposant annuellement de 34 millions de dollars en subventions, contrats et commandites.



Université du Québec

# LA BIODÉGRADATION DES BPC

PAR MICHEL SYLVESTRE

*Si la production et l'importation de BPC est maintenant interdite en Amérique du Nord, des quantités non négligeables restent dispersées dans l'environnement. C'est donc à la nature qu'il incombe d'éliminer ces produits malheureusement très stables. Comment s'y prend-elle ?  
Pouvons-nous l'aider ? Michel Sylvestre nous fait part des recherches qui tentent de répondre à ces questions.*

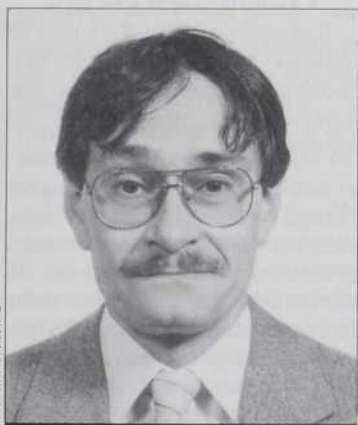


PHOTO ANDRÉ LEVAC

Michel Sylvestre est chercheur au Centre de recherche en microbiologie appliquée de l'Institut Armand-Frappier. Il prévoit toutefois se joindre bientôt à l'INRS-Santé.

**L**es biphényles polychlorés, couramment appelés BPC, comptent parmi les polluants majeurs de notre environnement. Étant donné leur résistance à la biodégradation et à l'oxydation chimique, ils s'accumulent rapidement dans la biosphère. Ce n'est, toutefois, qu'à la fin des années 60, au moment où on développa de nouvelles techniques d'analyse plus sensibles, qu'on fut à même de constater l'ampleur de la contamination de l'environnement par les BPC.

Depuis 1979, des lois sévères défendent la production et l'importation de BPC en Amérique du Nord. Mais comme ces composés, en usage depuis 1929, ont surtout été conçus pour des utilisations à long terme, l'essentiel de la production est encore en circulation aujourd'hui. En Amérique du Nord, par exemple, sur une production totale évaluée à 565 millions de kilos, 315 millions environ sont encore en usage<sup>1</sup>. Le reste est soit entreposé, soit réparti dans l'environnement. Au Québec, le Comité des utilisateurs de BPC estime à 5 millions de kilos la quantité de BPC encore utilisée et à 5 millions aussi celle qui serait répartie dans l'environnement.

Parmi les principaux paramètres qui affectent l'écotoxicité d'un polluant, il faut compter les biodégradations et les biotransformations microbiennes, qui peuvent contribuer à modifier les propriétés biologiques de ces molécules et à les éliminer. Les micro-organismes sont les principaux agents responsables de la transformation de la matière organique. À ce chapitre, plusieurs espèces microbiennes sont dotées d'une capacité nutritionnelle exceptionnelle et très diversifiée, qui leur permet d'oxyder un nombre presque illimité de composés organiques. En effet, l'oxydation des molécules organiques rend les bactéries aérobies capables de tirer l'énergie nécessaire à leur métabolisme. Ce procédé conduit

ultimement à une dégradation de la molécule originale en ses éléments essentiels, soit le gaz carbonique, l'eau et les sels d'azote, de soufre ou de chlore.

Toutefois, il en va autrement de certains composés d'origine synthétique comme les BPC. Sur le plan évolutif, ceux-ci ne se sont que très récemment introduits dans la biosphère et les micro-organismes n'ont pas encore développé les voies cataboliques nécessaires pour les dégrader complètement. Certaines de ces molécules sont entièrement réfractaires à toute transformation métabolique alors que d'autres ne peuvent subir qu'une dégradation partielle.

Heureusement, l'isolement de bactéries capables de transformer partiellement les BPC à faible teneur en chlore, nous démontre que le processus évolutif conduisant au développement de voies cataboliques nouvelles pour la dégradation de ces composés est déjà engagé dans la nature<sup>2,3,4,5</sup>. Il paraît donc essentiel d'élargir et de détailler nos connaissances de la génétique et du fonctionnement biochimique des

réactions biocatalytiques faisant partie de ces voies cataboliques. D'une part, cela nous permettra de proposer des stratégies d'intervention biotechnologique pour développer des bactéries capables de dégrader complètement les BPC. D'autre part, les connaissances théoriques nous aideront à dresser un schéma général de la dynamique de l'écodisposition des BPC dans l'environnement afin de prédire le sort de ces composés à court et à moyen terme.

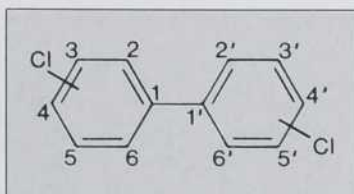
## LES BPC : PROPRIÉTÉS, TOXICOLOGIE ET DISPOSITION

Les BPC forment une classe de composés chimiques dont la formule générale est illustrée à la figure 1. Leurs molécules sont constituées d'un noyau biphényle sur lequel un nombre variable d'atomes de chlore sont fixés. Suivant le nombre et la position de ces atomes, on peut obtenir 209 BPC différents.

Plusieurs noms commerciaux sont rattachés aux biphényles polychlorés. En Amérique du Nord, la compagnie Monsanto Chemical, qui en avait le monopole des ventes, désignait son produit sous le nom d'« Aroclor ». À cause de leurs propriétés générales, les mélanges les plus utilisés par l'industrie ont été ceux qui avaient la plus forte teneur en chlore (54 p. cent pour l'Aroclor 1254 et 60 p. cent pour l'Aroclor 1260). Ce sont ces deux mélanges que l'on retrouve le plus souvent dans l'environnement.

Les Aroclor 1254 et 1260 présentent une texture limpide et visqueuse. Ces BPC sont des molécules stables chimiquement solubles dans les lipides et très peu solubles dans l'eau<sup>6</sup>. À cause de leur faible constante diélectrique, ils forment un élément important des fluides isolants de certains équipements électriques comme les transformateurs et les générateurs. Leur grand pouvoir calorifique leur vaut d'avoir été utilisés

FIGURE 1



Les molécules de biphényles polychlorés (BPC) sont constituées d'un noyau biphényle sur lequel un nombre variable d'atomes de chlore sont fixés. Le noyau biphényle porte quatre positions ortho (2,2', 6,6'), quatre positions méta (3,3', 5,5') et deux positions para (4,4'). Suivant le nombre et la position des atomes de chlore, on peut obtenir 209 BPC différents.

dans plusieurs procédés industriels d'échanges thermiques. Les BPC ont aussi servi à divers autres usages industriels. Mentionnons, parmi les principaux, leur utilisation comme lubrifiant dans les pompes hydrauliques, comme isolant électrique dans les fils électriques ou comme matière inerte dans les matériaux résistant au feu. On les retrouve aussi dans certaines peintures, dans l'encre et dans les plastiques.

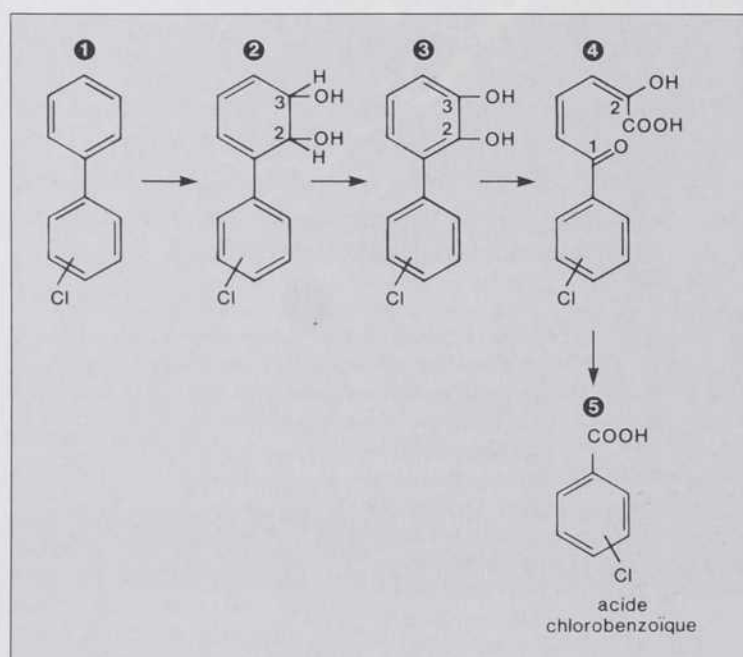
On a pu retracer les principales sources de contamination de la biosphère par les BPC<sup>7</sup>. Les déchets industriels du type plastique, peinture ou équipements électriques représentent l'une des principales voies d'accès de ces composés vers l'environnement. Les fuites locales (p.ex. : le bris d'un transformateur) contribuent peu à la contamination globale de la biosphère ; mais ces fuites sont souvent dramatiques pour les sites où elles se produisent. Enfin, les BPC peuvent se répandre dans l'environnement par suite de la combustion incomplète de déchets qui en renferment. En effet, seules des températures très élevées, de l'ordre de 1 200 °C, peuvent les détruire complètement<sup>1</sup>. Aux températures inférieures, qui sont celles des incinérateurs à déchets, certains BPC peuvent être volatilisés avec les gaz de combustion pour ensuite retomber au sol.

Sans vouloir minimiser l'importance de la contamination de l'environnement, précisons que selon les observateurs, environ 1 p. cent seulement des 565 millions de kilos de BPC produits sont répartis dans les sols et les cours d'eau<sup>1</sup>. Le reste est soit encore en usage, soit entreposé en attendant d'être détruit.

À cause de leur faible solubilité dans l'eau, les BPC se concentrent principalement dans les sédiments aquatiques ainsi que dans les graisses et les lipides des organismes vivants<sup>8</sup>. La principale source de contamination animale des BPC est l'ingestion d'aliments contaminés. De façon générale, tous les organismes vivants contiennent des BPC en faible quantité. Certains, comme les poissons et les fruits de mer, en contiennent un peu plus.

Quelques cas graves de contamination des aliments ont été détectés dans le monde<sup>9</sup>, mais au Canada, la surveillance des taux de BPC dans les produits de consommation est très étroite, et les possibilités d'ingestion de quantités nocives sont très minces.

FIGURE 2

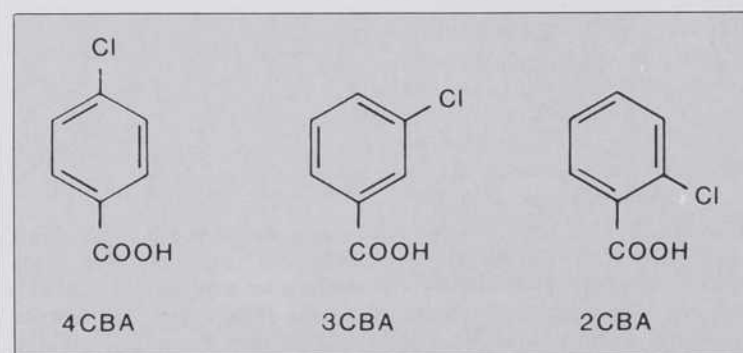


Les BPC à faible teneur en chlore (1 à 3 atomes de chlore par molécule) peuvent être partiellement bio-oxydés par certaines bactéries. Le noyau benzénique qui contient le moins d'atomes de chlore est hydroxylé en position 2,3 pour générer le dérivé catéchol, qui est ensuite ouvert en position 1,2 pour générer l'acide 6-oxo-6-phényle-2-hydroxyhexa-2,4-diénoïque. La voie catabolique conduit ultimement à l'acide chlorobenzoïque (chlorobenzoate).

Ces constatations posent cependant le problème des effets biologiques des BPC. Sur l'être humain, les BPC n'ont pas d'effets toxiques aigus ; il faut ingérer une quantité relativement élevée du produit (0,5 à 2 g) pour observer une manifestation d'intoxication, particulièrement sur l'épiderme<sup>9</sup>. A priori, les BPC ne présentent pas un danger immédiat pour l'être humain, mais leurs

effets à long terme demeurent inconnus<sup>10</sup>. Par exemple, les données sur les propriétés cancérogènes de ces produits sont contradictoires<sup>11</sup>. Par ailleurs, on n'a noté aucun effet des BPC sur le système reproductif humain. On sait par contre que le système reproductif de certaines espèces animales est affecté par les BPC<sup>12</sup>.

FIGURE 3



Selon la position (ortho, méta ou para) de l'atome de chlore sur la molécule de chlorobiphényle, on peut obtenir l'un des trois isomères de monochlorobenzoate : le 4-chlorobenzoate (4CBA), le 3-chlorobenzoate (3CBA) ou le 2-chlorobenzoate (2CBA).

Il a été démontré que les BPC peuvent interférer sur plusieurs plans avec le métabolisme animal, végétal et microbien, sans qu'on connaisse les portées exactes de cette interférence<sup>13</sup>. Il faut toutefois signaler que les effets peuvent varier considérablement d'une espèce à l'autre ; ces variations pourraient éventuellement contribuer à créer un déséquilibre entre les diverses espèces d'une même niche écologique.

### UN PROBLÈME : L'ÉLIMINATION DES BPC

Il existe trois façons d'éliminer les quantités impressionnantes de BPC encore en usage ou entreposées, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients.

La première, l'incinération, est pour l'instant la solution la plus intéressante, car elle permet d'éliminer de grandes quantités rapidement. Toutefois, il n'existe actuellement au Québec aucun incinérateur capable d'atteindre les températures adéquates pour brûler les BPC. Cette situation résulte en partie des pressions exercées par certains regroupements qui veulent qu'on contrôle l'échappement de dérivés toxiques dans les gaz de combustion. En effet, il est reconnu que la combustion incomplète des BPC peut générer des dioxines, produits hautement cancérogènes. Par conséquent, toute installation d'incinération doit être soumise à un contrôle très serré de la fumée qui s'en échappe.

Par ailleurs, plusieurs méthodes chimiques d'oxydation ou de déchlorination des BPC ont déjà été décrites dans la documentation sur ce sujet. Cependant, les faibles rendements obtenus, la nécessité d'extraire les BPC des matières qu'ils contaminent, la dégradation souvent incomplète, ainsi que la production de déchets chimiques, ne nous incitent pas à retenir cette deuxième solution.

Finalement, on n'a pas conçu à ce jour de procédé biotechnologique de dégradation des BPC. Nous verrons plus loin les problèmes à résoudre en vue de développer de tels procédés. Toutefois, à long terme, l'utilisation des micro-organismes et des biocatalyseurs (enzymes microbiennes) pour traiter les sols victimes de contamination locale par les BPC, pourrait devenir la meilleure solution : le traitement aurait lieu sur le site même de la contamination et ne nécessiterait ni extraction, ni transport du polluant.

En attendant, il faut s'en remettre à l'action de la nature pour l'élimination des BPC actuellement dispersés dans l'environnement. Les deux principaux mécanismes de transformation sont la photolyse (décomposition chimique par la lumière) et les biodégradations microbiennes.

### LA DÉGRADATION PHOTOCHIMIQUE DES BPC

Les BPC sont photodégradés relativement facilement, dans des conditions appropriées<sup>6</sup>. Toutefois, il est difficile, selon les données actuelles, d'évaluer la contribution de la photolyse à leur élimination de l'environnement. Il est à prévoir que les BPC dégradés par photolyse comptent pour une faible partie seulement des BPC dégradés dans l'environnement, et ce pour deux raisons. D'abord, les BPC étant peu solubles dans l'eau, ils se concentrent principalement au niveau des sédiments aquatiques, qui reçoivent peu ou pas de lumière selon leur profondeur ; ensuite, si la photolyse est efficace dans les solvants organiques, les rendements sont bien inférieurs en milieu aqueux, et il y a possibilité de générer des dérivés hydroxylés indésirables<sup>6</sup>. Néanmoins, on peut quand même supposer que la nature utilise en partie la déshalogénéation photolytique des BPC pour générer des BPC à plus faible teneur en chlore et donc plus accessibles aux biodégradations microbiennes.

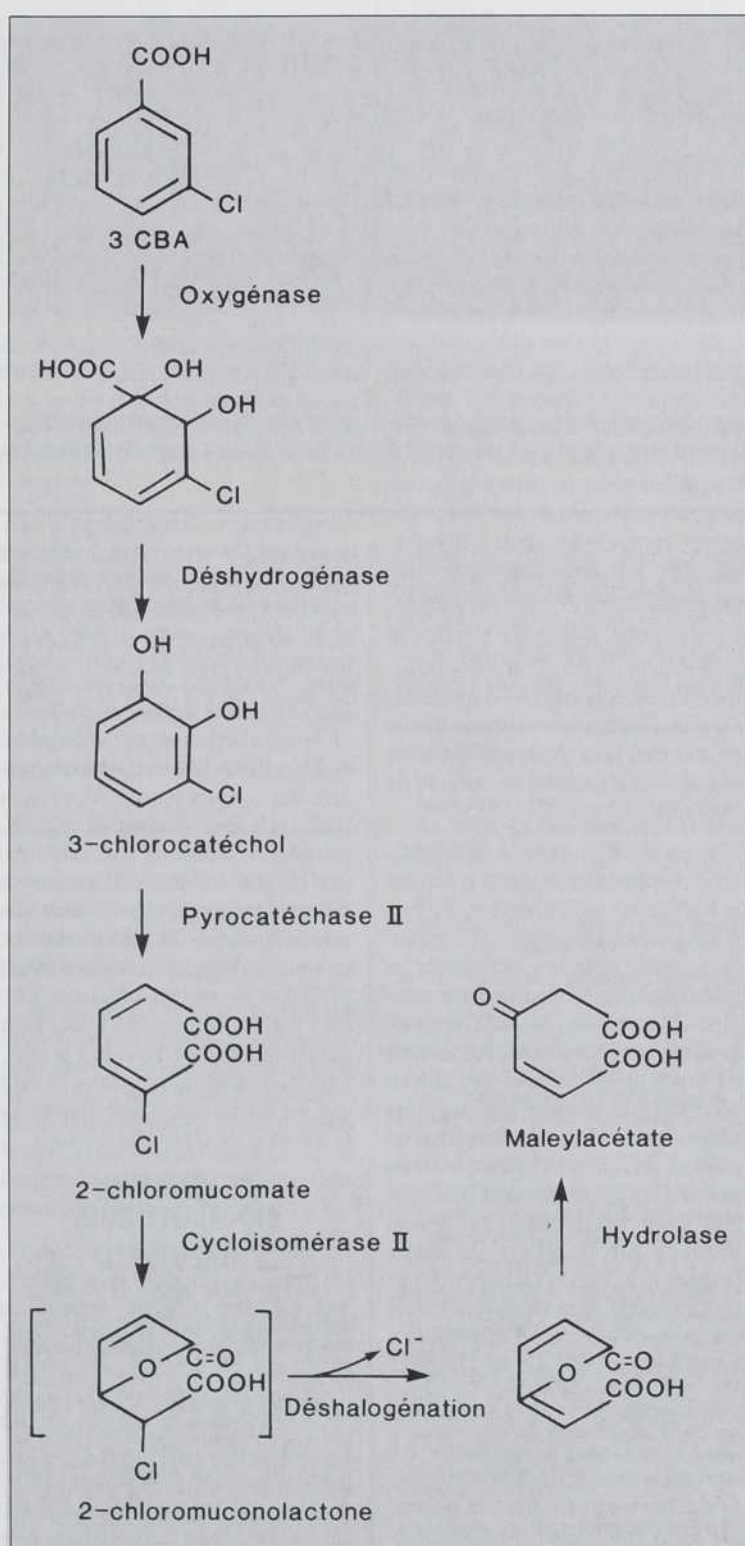
Fait à noter, la photolyse est plus efficace pour déshalogéner les BPC à forte teneur en chlore ; cela a certainement un impact environnemental important, ces BPC étant peu affectés dans la nature par les biodégradations microbiennes.

### LA BIODÉGRADATION MICROBIENNE

Il faut bien connaître les différentes étapes biocatalytiques requises pour la dégradation totale des BPC, ainsi que le processus évolutif conduisant au développement de ces voies, pour mettre au point des stratégies biotechnologiques. Dans les paragraphes qui suivent, nous présenterons les voies cataboliques microbiennes utilisées pour dégrader les BPC, et les principales réactions biocatalytiques qui pourraient servir à un procédé biotechnologique efficace de dégradation.

Les BPC à faible teneur en chlore (1 à 3 atomes de chlore par molécule) peu-

FIGURE 4



Dégradation du 3-chlorobenzoate par *Pseudomonas* sp. AC25 et *Pseudomonas* sp. B13. Le 3CBA est l'isomère pour lequel il est le plus facile d'isoler dans la nature des bactéries capables de le dégrader. L'étude de son métabolisme a révélé que : 1) la déshalogénéation se produit après l'ouverture du cycle aromatique ; 2) l'oxygénase, qui catalyse l'hydroxylation de la molécule en position 1 et 2, ne peut utiliser d'autres substrats que le 3CBA.

vent être partiellement bio-oxydés par certaines bactéries. Nous en avons isolé quelques-unes à partir de différents échantillons de sol et d'eau<sup>2,3,4,5</sup>. La voie catabolique des BPC observée chez la majorité de ces bactéries procède généralement de la façon illustrée à la figure 2. Le noyau benzénique qui contient le moins d'atomes de chlore est hydroxylé en position 2,3 pour générer le dérivé catéchol, qui est ensuite ouvert en position 1,2 pour générer l'acide 6-oxo-6-phényl-2-hydroxy-hexa-2,4-diénoïque. La voie catabolique conduit ultimement à l'acide chlorobenzoïque (chlorobenzoate). La dégradation est donc partielle puisque les BPC sont transformés en un métabolite organique, plutôt qu'en CO<sub>2</sub>.

En fait, d'après notre étude<sup>14</sup>, deux séries de gènes sont requis pour la dégradation totale des BPC. Une première pour les transformer en chlorobenzoates, et une seconde pour dégrader ces chlorobenzoates. Certaines bactéries sont capables d'oxyder les chlorobenzoates, mais il semble qu'on ne trouve actuellement dans la nature aucune bactérie où ces deux gènes co-existent<sup>4</sup>.

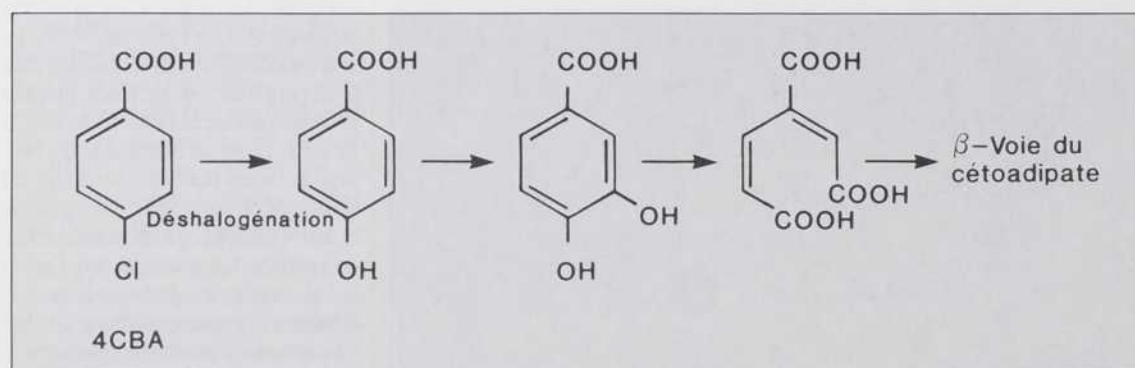
Par conséquent, on doit conclure que la première intervention génétique pour construire une bactérie capable de dégrader efficacement les BPC consisterait à rassembler ces deux séries de gènes chez une même souche. L'étude du métabolisme des BPC nous a donc menés à l'étude du catabolisme bactérien des monochlorobenzoates.

### LA DÉGRADATION DES MONOCHLORO-BENZOATES

Selon la position (ortho, méta ou para) de l'atome de chlore sur la molécule de chlorobiphényle, on peut obtenir trois différents isomères de monochlorobenzoate : le 4-chlorobenzoate (4CBA), le 3-chlorobenzoate (3CBA) ou le 2-chlorobenzoate (2CBA) (figure 3).

Le 3-chlorobenzoate (3CBA) est l'isomère pour lequel il est le plus facile d'isoler dans la nature des bactéries capables de le dégrader. C'est aussi l'isomère dont la voie catabolique a été le plus étudiée<sup>15</sup> (figure 4). On a ainsi découvert que : 1) la déshalogénéation se produit après l'ouverture du cycle aromatique ; 2) l'oxygénase, qui catalyse l'hydroxylation de la molécule en position 1 et 2, ne peut utiliser d'autres substrats que le 3CBA.

FIGURE 5



Pour dégrader le 4-chlorobenzoate (4CBA), les bactéries utilisent la voie du  $\beta$ -cétoadipate, bien que cette voie comprenne une déshalogénéation directe du noyau aromatique, réaction qui ne se produit que très rarement. L'existence d'une déshalogénase spécifique au 4CBA a été démontrée dans notre laboratoire.

Par ailleurs, pour dégrader le 4CBA, il semble que la voie de prédilection empruntée par les bactéries soit celle du  $\beta$ -cétoadipate (figure 5), malgré le fait que cette voie comprenne une déshalogénéation directe du noyau aromatique, réaction qui ne se produit que très rarement. L'existence d'une déshalogénase spécifique au 4CBA (pour sa déshalogénéation) a été démontrée dans notre laboratoire par des manipulations génétiques, en clonant les gènes de la déshalogénase et en les réintroduisant chez des souches de *Pseudomonas* mutantes, incapables de croître sur le 4-hydroxybenzoate<sup>16</sup>. Ces souches hybrides ne pouvaient plus dégrader le 4-chlorobenzoate.

Quant au 2-chlorobenzoate (2CBA), c'est l'isomère pour lequel il est le plus difficile d'isoler des souches bactériennes capables de le dégrader. Une telle souche a été isolée dans notre laboratoire : *Pseudomonas* sp. B-300. Celle-ci peut croître sur le 2-chlorobenzoate et le dégrader<sup>17</sup>. L'étude de cette voie catabolique est présentement en cours.

### L'INFLUENCE DU NOMBRE ET DE LA POSITION DES ATOMES DE CHLORE

L'exemple des chlorobenzoates nous montre que l'évolution de nouvelles voies cataboliques pour la dégradation des composés aromatiques halogénés ne vise pas nécessairement la création de voies uniques capables de dégrader plusieurs isomères. En effet, il semble plutôt que les nouvelles voies cataboliques dont la fonction est de dégrader les composés aromatiques halogénés

s'adressent à un nombre restreint de composés analogues. Cette observation n'est pas étonnante, puisque la présence sur la molécule aromatique d'atomes de chlore, dont la charge est électro-négative, affecte la polarité de la molécule. De plus, l'espace occupé par les atomes de chlore sur la molécule peut empêcher la molécule d'atteindre le site actif de l'enzyme.

Comme nous l'avons vu, la dégradation des monochlorobiphényles requiert au moins deux voies distinctes, une première pour les convertir en chlorobenzoates et une seconde pour dégrader les chlorobenzoates<sup>14</sup>. La dégradation des différents composés de BPC dont les deux noyaux aromatiques contiennent au moins un atome de chlore chacun nécessitera certainement plusieurs voies cataboliques. À titre d'exemple, nous pouvons prévoir que l'hydroxylation en position 2,3 des composés BPC dont plus d'une des positions ortho sont occupées par un atome de chlore (comme le 2,2'-dichlorobiphényle) ne peut avoir lieu. Il en résulte que la voie catabolique illustrée à la figure 2 ne peut pas servir à dégrader tous les BPC. Une étude systématique par Furukawa et ses collègues<sup>18</sup> a de fait démontré que les souches d'*Acinetobacter* P-6 ainsi que d'*Alcaligenes* Y42, qui possèdent cette voie catabolique, ne peuvent pas dégrader le 2,2'-dichlorobiphényle. Récemment, Bédard *et al.*<sup>19</sup>, ont rapporté l'isolement d'une souche d'*Alcaligenes* H850 capable de dégrader les noyaux biphényles comportant des atomes de chlore en position ortho. Toutefois, cette souche est incapable de dégrader les noyaux biphényles dont les positions para sont occupées par des

atomes de chlore comme le 4,4-dichlorobiphényle. Ces auteurs suggèrent donc que la voie de dégradation chez la souche H850 procède par une hydroxylation initiale en position 3,4 plutôt que 2,3<sup>19</sup>.

Parmi toutes les bactéries capables de dégrader les BPC et qu'on a décrites dans des comptes rendus, *Alcaligenes* H850 est la seule qui dégrade de préférence les BPC dont les positions ortho sont substituées par des atomes de chlore. Il semble donc qu'à l'instar des voies cataboliques des chlorobenzoates, les voies de dégradation des composés BPC, dont les positions ortho sont occupées par des atomes de chlore, aient relativement plus de difficulté à se développer au cours du processus évolutif que les autres voies cataboliques. La raison en reste cependant inconnue.

### LES RÉACTIONS BIOCATALYTIQUES

Dans les paragraphes précédents, j'ai donné un aperçu des voies cataboliques qui, dans la nature, servent à la dégradation des BPC et des chlorobenzoates qui en dérivent. Je voudrais maintenant brièvement décrire les deux principales réactions catalytiques sur lesquelles pourraient s'appuyer les micro-organismes pour développer des voies cataboliques nouvelles. Il s'agit en fait de deux réactions qui démarrent les voies cataboliques des composés aromatiques halogénés et qui, par conséquent, sont d'une importance considérable pour préparer la molécule à la biodégradation.

Ainsi, l'hydroxylation initiale du noyau aromatique, une condition néces-

saire pour la fission du cycle, est catalysée par une oxygénase. Comme nous l'avons mentionné plus tôt, la position d'hydroxylation 2,3 ou 3,4 affecte le type de BPC dégradés par les micro-organismes. Il s'ensuit qu'en fonction de la position des atomes de chlore sur la molécule de BPC, au moins deux voies cataboliques sont nécessaires pour dégrader ces substrats. L'une pour les BPC portant des atomes de chlore en position ortho et l'autre pour les BPC portant les atomes de chlore en position para.

De plus, les BPC à haute teneur en chlore étant résistants aux biodégradations, la réaction biocatalytique la plus utile pour améliorer le rendement de biodégradation serait certes la déshalogénéation directe du noyau aromatique.

Il existe deux types de déshalogénéation : la déshalogénéation réductive, qui consiste à remplacer un atome de chlore par un atome d'hydrogène, et la déshalogénéation oxydative, où l'atome de chlore est remplacé par un groupement hydroxyle.

La déshalogénéation réductive est très intéressante puisque cette réaction génère des dérivés à teneur en chlore plus faible, donc plus facilement biodégradables. Ce type de déshalogénéation a été mis en évidence dans des cultures de bactéries anaérobies capables de dégrader les chlorobenzoates<sup>20</sup>. La déshalogénéation dans ce cas est rapide et résulte d'une réaction catalytique dont le système enzymatique est encore inconnu. Des consortiums microbiens anaérobies capables de déshalogéner les monochlorobiphényles ont été observés dans notre laboratoire (résultats non publiés) et il est possible qu'un mécanisme semblable de déshalogénéation réductive catalytique soit en cause.

### LES VOIES CATABOLIQUES SECONDAIRES POUR LA DÉGRADATION DES BPC

Un autre problème concerne la dégradation microbienne des BPC : l'étude des voies cataboliques bactériennes susceptibles de dégrader les BPC à faible teneur en chlore nous a permis d'identifier plusieurs métabolites microbiens qui ne faisaient pas partie de la voie majeure de dégradation des BPC (c.-à-d., celle conduisant à l'acide chlorobenzoate)<sup>4</sup>.

Les mécanismes de formation peuvent varier et faire apparaître une

FIGURE 6

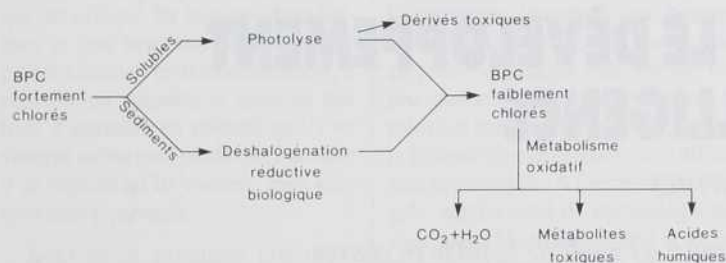


Schéma général de la biodégradation des BPC fortement chlorés dans l'environnement. Les BPC à forte teneur en chlore sont d'abord déshalogénés, soit par photolyse, pour les BPC se trouvant dans un environnement exposé à la lumière et solubles dans l'eau, soit par déshalogénéation biocatalytique réductive, pour les BPC contenus dans les sédiments aquatiques. Les BPC à plus faible teneur en chlore peuvent ensuite subir une oxydation biologique par l'une des voies cataboliques microbiennes des BPC.

Toutefois, les voies cataboliques efficaces, pour la dégradation de molécules synthétiques comme les BPC, n'apparaissent pas spontanément dans la nature. Ainsi, tous les BPC ne sont pas totalement dégradés en gaz carbonique et en eau, et plusieurs voies plus ou moins efficaces de transition peuvent les dégrader partiellement en des métabolites indésirables parfois plus toxiques que le substrat de départ. Heureusement, il existe des possibilités qu'au moins une partie de ces métabolites indésirables soient stabilisés en étant incorporés aux acides humiques du sol. Cette hypothèse proposée par Baxter<sup>22</sup> est très intéressante et sa vérification pourrait nous rassurer. De toute manière, il est très probable que la quantité produite de ces métabolites soit très faible, compte tenu de la lenteur des voies de dégradation. De plus, ces métabolites sont trop dilués pour causer des dommages graves à la biosphère.

deuxième voie catabolique tout à fait différente de la voie majeure, mais moins rapide, comme la possibilité d'hydroxylation en position 3,4. Dans d'autres cas, les métabolites secondaires sont générés par transformation de métabolites intermédiaires de la voie catabolique principale au moyen de réactions enzymatiques fortuites catalysées par des enzymes à large spectre d'action<sup>4</sup>. Ces résultats indiquent que les BPC ou leurs dérivés peuvent être transformés par des enzymes non spécifiques pour générer d'autres métabolites. Certains de ces métabolites peuvent même se révéler mutagènes<sup>21</sup>.

Cependant, dans tous les cas, ces métabolites secondaires sont produits en faible quantité et ils ne sont pas présents dans les cultures mixtes comportant une seconde souche bactérienne capable de dégrader le chlorobenzoate<sup>14</sup>. Ce fait suggère que le chlorobenzoate joue un rôle important de régulateur de la voie catabolique des BPC. Ces résultats nous permettent de prédire que même s'ils sont toxiques dans les milieux environnementaux, ces métabolites ont probablement peu d'impact dans la mesure où ils peuvent être dilués ou dégradés. C'est le cas de la majorité des sites envi-

ronnementaux, exception faite des lagunes et étangs situés sur un sol peu perméable et dont le volume d'eau est réduit.

Par ailleurs, l'absence de ces métabolites dans les cultures mixtes, qui ne permettent pas l'accumulation de chlorobenzoates, nous démontre la possibilité d'utiliser les bactéries pour dégrader les BPC, et ce, sans danger pour l'environnement si les conditions de dégradation sont bien contrôlées.

## CONCLUSION

Comme on peut le constater, la dégradation microbienne des BPC dans la nature n'en est qu'à ses premiers pas. Mais déjà, nous pouvons tracer les grandes lignes directrices de l'évolution des voies cataboliques nécessaires à leur dégradation (figure 6). La connaissance de certaines de ces lignes directrices (voies cataboliques à deux tronçons, influence de la position et du nombre des atomes de chlore, importance des réactions initiales d'hydroxylation et de déshalogénéation) nous permet d'élaborer des stratégies biotechnologiques pour les éliminer des sites victimes de contamination. Nous pouvons envisager, entre autres, la possibilité d'un pré-

traitement biocatalytique pour déshalogéniser les BPC, ou la construction, par génie génétique, d'une « supersouche » possédant tous les gènes requis pour dégrader complètement les BPC.

Pour arriver à ces fins, il faudra encore répondre à un certain nombre de questions sur les mécanismes de stabilisation des gènes nouvellement acquis chez la souche hôte, la capacité des gènes d'origines diverses à s'exprimer chez la nouvelle souche hôte, ou l'intégration génétique des divers mécanismes de régulation des tronçons métaboliques clonés pour composer une voie unique fonctionnelle. Ces problèmes sont de taille, mais il faut souligner que d'un point de vue fondamental, l'étude de la dégradation microbienne des BPC représente un cas unique. En effet, nous avons déjà en main une somme importante de connaissances théoriques sur les relations métaboliques et génétiques des différentes étapes biocatalytiques nécessaires à leur dégradation, et nous sommes en mesure de les exploiter. ■

## Références

1. LAUBER, J.D. « Disposal and Destruction of Waste PCB's », *PCB's and the Environment*, S.J. Waid (ed.), Boca Raton, FL, CRC Press Inc., 1986, vol. III, p. 84-151.
2. SYLVESTRE, M. « Isolation Method for Bacterial Isolates Capable of Growth on p-chlorobiphenyl », *Applied Environmental Microbiol.*, 1980, vol. 39, p. 1223-1224.
3. SYLVESTRE, M. « Dégradation microbienne des biphenyles polychlorés », *Science et technique de l'eau*, 1980, vol. 13, p. 204-207.
4. MASSE, R., MESSIER, F., PÉLOQUIN, L., AYOTTE, C. et SYLVESTRE, M., « Microbial Biodegradation of 4-chlorobiphenyl, a Model Compound of Chlorinated Biphenyls », *Applied Environmental Microbiol.*, 1984, vol. 47, p. 947-951.
5. SYLVESTRE, M. et FAUTEUX, J. « A New Facultative Anaerobe Capable of Growth on Chlorobiphenyls », *J. General and Applied Microbiology*, 1982, vol. 28, p. 61-72.
6. SAWHNEY, B.L. « The Chemistry and Properties of PCB's in Relation to Environmental Effects », *PCB's and the Environment*, S.J. Waid (ed.), Boca Raton, FL, CRC Press Inc., 1986, vol. II, p. 47-64.
7. GILBERTSON, M. « Background to the Regulation of PCB in Canada », rapport d'un comité d'études conjoint des ministères de l'Environnement et de Santé et Bien-être social du Canada, 1976.
8. THOMANN, R.V., CONNOLLY, J.P. et THOMAS, N.A., « The Great Lakes Ecosystem: Modelling of the Fate of PCB's », *PCB's and the Environment*, S.J. Waid (ed.), Boca Raton, FL, CRC Press Inc., 1986, vol. III, p. 154-180.
9. KASHIMOTO, J. et MIYATA, H. « Differences Between Yusho and Other Kind of Poisoning Involving Only PCB's », *PCB's and the Environment*, S.J. Waid (ed.), Boca Raton, FL, CRC Press Inc., 1986, vol. III, p. 1-25.
10. ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, *Critères d'hygiène de l'environnement 2, polychlorobiphenyles et polychloroterphényles*, Genève, O.M.S., 1978.
11. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER, *IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans: Polychlorobiphenyls and Polybromobiphenyls*, Lyon, IARC Publication, vol. 18, 1978.
12. FULLER, G.B. et HOBSON, W.C. « Effect of PCB's on Reproduction in Mammals », *PCB's and the Environment*, S.J. Waid (ed.), Boca Raton, FL, CRC Press Inc., 1986, vol. II, p. 101-127.
13. GAMBLE, W. « PCB's and the Environment: Perturbation of Biochemical Systems », *PCB's and the Environment*, S.J. Waid (ed.), Boca Raton, FL, CRC Press Inc., 1986, vol. II, p. 49-62.
14. SYLVESTRE, M., MASSE, R., AYOTTE, C., MESSIER, F. et FAUTEUX, J., « Total Biodegradation of 4-chlorobiphenyl (4CBA) by a Two-Membered Bacterial Culture », *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1985, vol. 21, p. 192-195.
15. GHOSAL, D., YOU, I.S., CHATTERJEE, D.K. et CHAKRABARTY, A.M. « Microbial Degradation of Halogenated Compounds », *Science*, 1985, vol. 228, p. 135-142.
16. SAVARD, P., PÉLOQUIN, L. et SYLVESTRE, M. « Cloning of *Pseudomonas* sp. Strain CBS3 Genes Specifying Dehalogenation of 4-chlorobenzoate », *J. Bacteriology*, 1986, vol. 168, p. 81-85.
17. SYLVESTRE, M., REBOLEDO, L., MAILHIOT, K. et MASSE, R. « Isolation of a *Pseudomonas* Plasmid Encoding for a 2-chlorobenzoate Degradative Pathway », communication présentée au 5<sup>e</sup> Congrès international sur la génétique des microbes industriels, Split, Yougoslavie, sept. 1986, *Abstracts*, p. 58, SS2-P1.
18. FURUKAWA, K. « Microbial Degradation of Polychlorinated Biphenyls », *Biodegradation and Detoxification of Environmental Pollutants*, A.M. Chakrabarty (ed.), Boca Raton, FL, CRC Press Inc., 1982, p. 35-51.
19. BÉDARD, D.L., HABER, M.L., MAY, R.J. et BRENNAN, M.J. « Evidence for Novel Mechanisms of Polychlorinated Biphenyl Metabolism in *Alcaligenes eutrophus* H850 », *Applied Environmental Microbiol.*, 1987, vol. 53, p. 1102-1112.
20. SULFITA, J.M., ROBINSON, J.A. et TIEDJE, J.M. « Kinetics of Microbial Dehalogenation of Haloaromatic Substrates in Methanogenic Environments », *Applied Environmental Microbiol.*, 1983, vol. 45, p. 1466-1473.
21. SYLVESTRE, M., MASSE, R., MESSIER, F., FAUTEUX, J., BISAILLON, J.G. et BEAUDET, R. « Bacterial Nitration of 4-chlorobiphenyl », *Applied Environmental Microbiol.*, 1982, vol. 44, p. 871-877.
22. BAXTER, R.M. « Bacterial Formation of Humus-like Materials from Polychlorinated Biphenyls (PCB's) », *Water Pollution Research J. Canada*, 1986, vol. 21, p. 1-7.

# COGNITION ET MÉTACOGNITION : LES RECHERCHES SUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'INTELLIGENCE

PAR ADRIEN PINARD

*De la mesure du fonctionnement intellectuel à l'étude de la prise en charge par un individu de son propre développement cognitif, c'est plus de 35 ans de recherche sur l'intelligence et le développement cognitif qu'Adrien Pinard nous présente ici.*

*Professeur au Module de psychologie à l'Université du Québec à Montréal, Adrien Pinard est l'un des plus éminents spécialistes de ce domaine d'étude, comme en témoignent les nombreuses distinctions qu'il a obtenues ces dernières années : en 1983, l'Acfas lui a décerné le prix Vincent ; en 1986, il entrait à l'Académie des lettres et des sciences humaines de la Société royale du Canada et il recevait le prix Léon-Gérin décerné par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science du Québec.*



PHOTO BERNARD VALÉE

**D**ès mes premiers contacts avec la psychologie, j'ai vite été fasciné par le problème de l'intelligence. Je n'arrivais pas à en comprendre la nature et le développement, malgré les fausses certitudes que j'avais pu recueillir de mes contacts non seulement avec la psychologie philosophique, mais aussi avec la psychologie scientifique à ses débuts, encore dominée ou colonisée à l'époque (les années 40) par la philosophie. À ce sujet, d'ailleurs, il serait amusant d'évoquer le symposium que des psychologues américains avaient organisé quelque 20 ans plus tôt pour tenter de s'entendre sur une définition commune de l'intelligence. La rencontre s'était déroulée dans une espèce de tour de Babel, comme le montre une remarque irrévérencieuse faite par un observateur d'alors : l'éducateur, affirma-t-il, cherche à cultiver l'intelligence et le psychologue à la mesurer, alors que personne ne semble savoir ce qu'elle est.

Pour illustrer l'importance et le développement de ce domaine de recherche, et pour rappeler en particulier les avatars à travers lesquels a dû passer l'étude scientifique de l'intelligence tout le long de l'histoire de la psychologie, j'ai choisi le moyen le plus concret selon moi : évoquer la fascinante aventure dans laquelle s'est engagé le psychologue expérimental que je suis, c'est-à-dire un psychologue non professionnel, non engagé dans le maquis des interventions éducatives, cliniques, précliniques ou paracli-

niques, etc., et donc réfugié dans une tour de verre ou d'ivoire (dont il se garde bien pourtant de surestimer la fragile impénétrabilité).

Après m'être consacré, dans une première période, à des recherches sur l'intelligence dans une perspective *psychométrique*, puis dans une seconde plus longue encore, à des recherches sur le développement de l'intelligence dans la perspective *piagétienne*, j'en suis arrivé récemment à une troisième période consacrée à une réflexion « de second degré » dans une perspective *métacognitive*. Cette réflexion est centrée sur l'analyse des activités cognitives comprises dans le contrôle conscient et délibéré qu'une personne peut finir par avoir sur le déroulement de ses démarches cognitives elles-mêmes. Ces trois périodes sont parties intégrantes d'un même mouvement global de recherche, chacune ayant en fait été déclenchée par la prise de conscience des lacunes de la précédente.

## LA PÉRIODE PSYCHOMÉTRIQUE

La période psychométrique a commencé au moment où j'ai constaté les insuffisances de la psychologie philosophique dont j'avais été nourri, mais dans laquelle j'arrivais mal pourtant à me situer, intéressé que j'étais alors à une démarche de recherche que je voulais, peut-être naïvement, plus objective et plus conforme aux canons scientifiques. Cette première période de ma vie professionnelle a consisté à me purger,

si l'on peut dire, de cette perspective philosophique dont je n'étais pas encore sevré.

C'est au cours de cette période que mon collègue Gérard Barbeau et moi-même avons mis au point une *épreuve individuelle d'intelligence générale*<sup>1</sup>. Notre objectif ? Mettre à la disposition des psychologues francophones du Québec un instrument de mesure susceptible de faciliter l'évaluation du niveau d'intelligence d'un individu et de prédire le succès de leurs interventions en milieu scolaire, professionnel ou clinique. Un tel instrument existait déjà aux États-Unis et au Canada anglophone. Cette épreuve d'intelligence, qui date du milieu du siècle et que je considère souvent comme un péché de jeunesse, est à coup sûr fortement démodée et vermoulue ; mais elle est encore largement utilisée, la critique qu'on en fait étant souvent plus véhémement que les efforts qu'on devrait consacrer à sa révision ou à son remplacement.

Gérard Barbeau et moi avons vite pris conscience d'un fait : cet instrument de mesure, comme d'ailleurs la plupart des instruments de même farine, repose sur une définition de l'intelligence purement empirique (la capacité de résoudre des problèmes verbaux ou non verbaux, mesurée par des tests d'information générale, de vocabulaire, d'histoires en images, de modèles de blocs à reproduire, etc.). L'objectif de l'instrument, en effet, n'est pas d'éclaircir la question de la nature de l'intelligence, mais uniquement de prédire valablement l'adaptation personnelle,

scolaire ou professionnelle des individus. J'ai d'ailleurs toujours été frappé de constater à quel point les personnes qui ont critiqué les tests psychométriques se sont beaucoup plus attardées, paradoxalement ou inconsciemment, à remettre en question la capacité des tests d'atteindre un objectif qu'ils ne visaient même pas, plutôt que l'atteinte d'un objectif qu'ils visaient, mais souvent sans y parvenir.

Nous avons également pris conscience du fait, pourtant assez évident, mais fort peu considéré à cette époque, que des individus se situant à un même niveau d'intelligence dite « générale » sont complètement différents les uns des autres (par exemple, un mathématicien, un médecin, un ingénieur, un chimiste, un architecte ou un artiste n'ont pas du tout le même style de fonctionnement intellectuel). C'est pour tenir compte de ce fait que nous avons construit et validé, après une analyse théorique intensive, une série de *tests différentiels d'intelligence*<sup>2</sup>, spécialement conçus pour permettre un diagnostic plus nuancé du profil intellectuel d'un individu d'après ses cotes pour cinq ensembles différents d'épreuves : 1) intelligence *logique verbale* (c.-à-d. réfuter un énoncé absurde comme « Tout ce que je vous dis aujourd'hui est faux »); 2) intelligence *logique non verbale* (c.-à-d. ordonner les objets A, B, C et D si l'on sait que A est entre D et B, A à gauche de C, B à droite de A, C entre A et B); 3) intelligence *inventive verbale* (c.-à-d. compléter une phrase lacunaire comme « Tout ce qui entre dans un petit... en prend les... »); 4) intelligence *inventive non verbale* (c.-à-d. imaginer ce qui a pu se passer entre la première et la dernière d'une série lacunaire d'images formant une histoire); 5) intelligence *perceptive* (c.-à-d. reconnaître une figure complexe présentée en miroir). Ces tests, ce furent mon second et dernier péché de jeunesse; mais je confesserai que je ne le regrette pas et que j'en garde une morose nostalgie.

## LA PÉRIODE PIAGÉTienne

Ce qui m'a ensuite amené à changer de perspective, c'est d'abord la prise de conscience de la nécessité de donner à mes recherches sur l'intelligence des assises théoriques plus solides, de façon à rendre possible une analyse systématique du fonctionnement intellectuel dans sa nature même et dans son développement. Au cours de mes pérégrina-

tions dans ce labyrinthe obscur où je cherchais en vain le fil d'Ariane me permettant d'en sortir, je me suis éveillé à l'importance immense que pourrait avoir pour moi l'oeuvre de Piaget, alors en pleine expansion mais encore fort peu connue en Amérique. J'étais tout de même un peu familier avec elle, mais je la trouvais alors très abstruse et difficilement abordable. À l'occasion du Congrès international de psychologie qui s'est tenu à Montréal en 1954 et auquel Piaget participait, je pris sur moi de l'inviter au laboratoire que je dirigeais, pour y rencontrer mes collègues et collaborateurs.

C'est cette première rencontre intime avec Piaget, que je revis maintes fois ensuite, qui a marqué le début de ma période piagétienne. Ce qui m'a surtout séduit, ce sont les ressources immenses qu'un système d'épistémologie et de psychologie caractérisé offre : 1) par une conception de l'intelligence axée sur l'*adaptation fonctionnelle* d'un organisme à son milieu en continuité avec l'adaptation biologique; 2) par une perspective essentiellement *développementale*, respectueuse du principe classique voulant que, pour comprendre un phénomène naturel, il faut tenter de le reconstituer par l'analyse de sa formation même; 3) par un souci de faire porter cette analyse sur la construction progressive par l'enfant des *notions les plus fondamentales* — et, donc, les plus universelles — dont il a besoin pour s'adapter à son environnement (l'espace, la causalité, le nombre, le mouvement, les classifications et relations logiques, etc.); 4) par l'*ingéniosité* presque infinie avec laquelle Piaget a su établir les techniques d'observation nécessaires pour dresser le tableau génétique des constructions progressives de l'enfant; 5) par l'accent essentiel qu'il a su mettre, dans ses descriptions du raisonnement de l'enfant, sur la *dynamique même du développement* (avec ses transformations successives) plutôt que sur le simple décompte ou sur la somme algébrique des réussites ou échecs de l'enfant, comme c'est le cas dans les tests psychométriques usuels.

C'est dans cette perspective générale que j'ai entrepris, en étroite collaboration avec ma principale collègue d'alors, Monique Laurendeau, deux longues séries de recherches. La première, de nature descriptive seulement, a consisté en la construction d'une échelle normative de développement

mental pour les enfants âgés de deux à douze ans; cette échelle est fondée sur la théorie de Piaget, mais suivant une méthode d'examen dont l'originalité principale est qu'elle allie la souplesse des entrevues de type piagétien à la rigueur objective des examens de type standardisé<sup>3,4</sup>. La seconde série de recherches était constituée d'études purement expérimentales, dont l'objectif principal était de mieux comprendre, en les manipulant, certains des facteurs responsables du développement. Ces recherches ont pris la forme générale d'un ensemble d'expériences sur l'apprentissage provoqué de certaines notions telles que la quantité physique, le nombre, l'espace ou la classification logique, notions que l'enfant doit construire spontanément au cours de son développement. Le but immédiat de ces expériences n'était pas d'accélérer le développement, comme Piaget a souvent reproché aux recherches analogues faites en Amérique d'avoir vainement tenté de le faire; on cherchait plutôt à préciser le rôle de certains facteurs influant sur le développement spontané. On sait qu'un enfant de cinq ans, par exemple, affirmera qu'une même quantité d'eau devient plus grande ou plus petite selon qu'on la verse dans un récipient plus mince (« parce que ça monte plus haut maintenant ») ou plus large (« parce que ça monte moins haut »), sans comprendre que la différence de hauteur est compensée par la différence de largeur. Pour lui faire prendre conscience des contradictions auxquelles le conduit l'application de telles règles unidimensionnelles, nous avons imaginé, notamment, diverses techniques de conflit cognitif<sup>5,6</sup>. En voici un exemple, des plus simples. On montre à l'enfant deux verres d'eau : l'un est ultra-mince et contient à peine quelques centimètres cubes d'eau, dont le niveau dépasse pourtant d'emblée celui atteint par un litre d'eau contenu dans un second verre, ultra-large. On lui demande alors lequel de ces deux verres il prendrait pour boire s'il avait très soif. Cela a pour effet de déstabiliser quelque peu ses règles usuelles et d'attirer son attention sur la dimension jusqu'alors négligée<sup>7</sup>.

Les recherches que nous avons menées par ailleurs en Afrique centrale (au Rwanda) et à la Martinique, dans une perspective interculturelle, n'avaient pas pour objectif de simplement confirmer le retard qu'on observe habituellement dans la réussite, chez des enfants de cultures très différentes,

à des épreuves psychométriques de type usuel. L'objectif était plutôt de voir si un tel retard apparaissait aussi dans le cas d'épreuves théoriquement moins tributaires des instances culturelles. Il y apparaissait. Mais ce qui nous a surtout frappés, c'est que des exercices d'apprentissage mettant en jeu les mêmes techniques de conflit cognitif avaient pour effet de résorber ce retard avec une rapidité étonnante<sup>8</sup>. C'est ainsi que je fus amené à remettre en question la validité de toute épreuve psychométrique — même de type piagétien — quand on l'applique, sans la transformer en profondeur, à des populations de cultures trop différentes.

## LA PÉRIODE MÉTACOGNITIVE

Je présenterai maintenant l'orientation générale de mes recherches actuelles sur le développement de l'intelligence. À l'origine de cette troisième période, se trouve ma prise de conscience de l'impasse à laquelle conduisent à peu près toutes les conceptions courantes du développement mental lorsque l'éventail d'âges des populations étudiées s'étend de l'enfance jusqu'à l'âge adulte. En effet, on remarque alors que le sommet des *courbes de développement* s'établit habituellement autour de la vingtaine; ces courbes suivent ensuite, après un assez court plateau, une pente accélérée vers le zéro, une pente inexorable (et profondément inquiétante, ajouterai-je, pour l'adulte que je suis, comme pour quelques autres peut-être!). Même la succession des niveaux de développement décrits par Piaget trouve son terme au début de l'adolescence, comme si le développement intellectuel atteignait alors finalement son sommet.

À partir d'une analyse très fine, faite par Monique Lefebvre-Pinard<sup>9</sup>, des solutions proposées par divers auteurs désireux de sortir de cette impasse, nous en sommes venus à penser que le modèle génétique le plus apte à caractériser le développement de la pensée adulte pourrait être fondé sur la *capacité progressive de se livrer à un contrôle conscient et délibéré de ses démarches cognitives*. On sait que le dernier palier de développement décrit par Piaget est caractérisé par la capacité, chez un individu, d'une part de prendre conscience des raisons qui expliquent l'efficacité des règles cognitives nouvellement acquises et, d'autre part, de réfléchir sur les structures cognitives sous-jacentes à ces règles. Or je crois depuis longtemps que ce palier n'est pas

le terme du développement, mais seulement la condition nécessaire (sinon suffisante) et le point de départ d'une acquisition nouvelle — le contrôle conscient de son fonctionnement cognitif — appelée dès lors à se consolider, à se différencier et à se généraliser.

L'étude de cette capacité de contrôle relève directement d'un domaine relativement nouveau de recherche en psychologie, appelé *métacognition* pour exprimer précisément l'idée que son objet est l'analyse cognitive de la cognition elle-même. Ai-je besoin, entre parenthèses, de noter quelle réticence les adeptes les plus coriaces d'une psychologie behavioriste aujourd'hui dépassée, qui refusent à la psychologie scientifique le droit de parler même de « cognitivisme », peuvent entretenir à l'égard du « métacognitivisme » : « Après Agésilas, hélas ! Après Attila, holà ! », — si je puis me permettre d'évoquer ici la méchante critique faite par Boileau des dernières tragédies de Corneille. Cette méfiance est sans doute le prix que doit payer une psychologie scientifique rapidement en voie de rejeter une perspective behavioriste où on choisit de s'en tenir à l'observation du comportement externe, au profit d'une perspective cognitiviste où on s'intéresse aux processus internes responsables de ce comportement externe.

## LE SAVOIR MÉTACOGNITIF

Malgré donc ces interdictions positivistes et pour dissiper quelque peu le vague qui entoure encore le terme de métacognition, nous avons récemment élaboré<sup>10</sup> un modèle des composantes de ce que nous avons appelé la *prise en charge par un individu de son propre fonctionnement cognitif*. Le modèle intègre dans une synthèse compréhensive certaines notions inspirées de traditions aussi diverses que la psychologie du développement cognitif, la psychologie clinique de type cognitivo-behavioral et même la psychologie sociale. Pour résumer ce modèle assez complexe sans entrer dans des détails trop encombrants, je dirai simplement que la première des deux composantes nécessaires au contrôle conscient, par un individu, de son propre fonctionnement cognitif est son *savoir métacognitif*, c'est-à-dire l'éventail des connaissances stables et verbalisables qu'il a déjà acquises : 1) sur la diversité des

objectifs possibles dans une démarche cognitive (p. ex. : on ne lit pas un texte de la même façon quand on le lit pour en faire la critique, pour en corriger la langue ou pour le réviser sur épreuves typographiques) ; 2) sur les différences inter- et intra-individuelles des *personnes* (y compris lui-même) engagées dans une telle démarche (p. ex. : évaluer ses propres aptitudes dans une tâche donnée) ; 3) sur les différences entre diverses *tâches* cognitives en termes d'exigences (p. ex. : une tâche en mathématiques, une tâche en littérature et une tâche en philosophie ont des contraintes très différentes) ; 4) sur les *stratégies* à utiliser pour progresser vers l'objectif visé de même que pour planifier, contrôler et évaluer l'efficacité de sa démarche (p. ex. : pour mieux assimiler un texte, il faut déjà connaître des moyens pour en dégager et en souligner les idées essentielles, en dépister les inconsistances, en faire une critique, etc.).

## L'AUTORÉGULATION

La seconde composante du modèle proposé a trait aux processus d'*autorégulation* (planification d'ensemble, activation des stratégies nécessaires, contrôle et vérification, etc.) mis en œuvre par un individu dans l'orchestration de ses connaissances au cours même d'une démarche cognitive. Ces processus reposent essentiellement sur ce que Flavell<sup>11</sup> a appelé des *expériences métacognitives*, c'est-à-dire sur des pensées, impressions ou sentiments qui interrompent momentanément la démarche cognitive d'un individu aux prises avec un problème (p. ex. : « Il me faut redoubler de prudence parce que je ne suis pas très bon dans ce genre de problèmes. » ; « Je sens que je suis dans la bonne direction. » ; « Ça ne va pas du tout, il faut changer de stratégie. » ; etc.). Or dans la mesure où l'individu est attentif à ce qu'il fait, sans se rabattre purement sur ses automatismes, ces prises de conscience constituent pour lui une forme de « feedback » interne qui le renseigne sur la valeur de sa démarche au lieu qu'il attende le « feedback » externe qui le conduira à l'issue finale — réussite ou échec — de la démarche.

Ainsi réduit, ce modèle peut sembler très abstrait ; mais il eût tôt fait de se concrétiser dès nos premières expérimentations. Pour améliorer la compréhension d'un texte nouveau par des étu-

dants, il suffira, par exemple<sup>12,13</sup>, de leur demander de se donner, avant de commencer leur lecture, un temps de réflexion pendant lequel ils doivent expliciter quels moyens concrets ils comptent utiliser pour assimiler ce texte de même que pour vérifier s'ils l'ont bien assimilé (une forme de réflexion que, de leur propre aveu, ils ne sont pas habitués à s'imposer). Dans d'autres expériences, nous avons demandé à des sujets de résoudre des problèmes de formation de concepts. En voici un exemple. On présente au sujet un ensemble de 32 cartes où figurent des personnages qui diffèrent par la grandeur, la couleur, le sexe ou la forme du vêtement. L'expérimentateur informe le sujet que certaines cartes ont quelque chose en commun (p. ex. : elles représentent toutes un personnage féminin portant un vêtement rouge, indépendamment de la grandeur de la personne et de la forme du vêtement). Le problème du sujet est de découvrir ce concept qu'il ne connaît pas. Pour ce faire, il choisit successivement des cartes en demandant chaque fois à l'expérimentateur de lui dire si la carte fait ou non partie du concept recherché de façon à pouvoir repérer les variables pertinentes. Or nous avons constaté que, pour améliorer le rendement du sujet dans cette tâche, il suffit de le rendre plus conscient de sa démarche en lui demandant simplement d'expliquer à haute voix la raison motivant le choix de chacune des cartes dont il demande si elle est conforme ou non au concept recherché<sup>14,15</sup>. Autre exemple : on demande à des étudiants universitaires de résoudre divers problèmes de formation de concepts pour lesquels ils ne peuvent savoir avec certitude si leurs solutions sont bonnes<sup>16,17</sup>. Si l'on induit expérimentalement chez certains d'entre eux la conviction qu'ils sont très peu doués, en leur disant qu'ils ont échoué (même quand ils ont réussi), et chez d'autres la conviction qu'ils sont excellents, en leur disant qu'ils ont réussi (même quand ils ont échoué), on observe des différences radicales entre les groupes, non seulement sur le plan de leur performance face à d'autres problèmes parfaitement équivalents, mais aussi et surtout quant à leur façon de régler leur démarche cognitive (p. ex. : des sujets pourtant très brillants, mais qu'on a pu convaincre du contraire, planifient mal leur temps de travail, sont incapables d'efforts persistants et vont

même jusqu'à rejeter comme mauvaises leurs bonnes solutions).

Nous avons d'abord mené nos expériences en ce domaine seulement auprès de sujets adultes, afin de faciliter l'établissement de normes décrivant les conditions d'une bonne prise en charge de leur fonctionnement cognitif par des individus possédant au moins les ressources nécessaires à une telle prise en charge. Nos recherches actuelles portent sur le développement de la prise en charge. On ne sait encore presque rien concernant ce développement, comme j'ai tenté de le montrer tout récemment<sup>18,19</sup> en suggérant une séquence théorique des étapes pouvant conduire des prémices de cette capacité, dans la petite enfance, jusqu'à ses premières réalisations authentiques à partir de l'adolescence. Notre second objectif, à plus long terme, est d'élaborer un programme d'entraînement systématique à cette prise en charge, programme qui puisse éventuellement s'adapter et s'appliquer tout le long de l'apprentissage scolaire (depuis l'enseignement primaire jusqu'à l'université).

## VERS LA MÉTACONSCIENCE

Quels sont les principaux avantages qu'un individu peut retirer d'une telle capacité de contrôler consciemment et délibérément ses démarches cognitives ? Le premier réside dans l'*optimisation de son propre développement intellectuel*. Dans la vie étudiante ou professionnelle, comme d'ailleurs dans la vie quotidienne, il ne suffit pas en effet de pouvoir résoudre ses problèmes d'une façon qui satisfasse au critère minimal défini par la réussite ou l'échec — ce dont se contentent trop souvent nos systèmes d'éducation au lieu de viser plutôt à atteindre ce que Vigotsky<sup>20</sup>, il y a très longtemps déjà, appelait « la zone proximale de développement » et que Fletcher<sup>21</sup> a appelé « les frontières de l'éducabilité ». Il ne suffit pas non plus de se limiter à appliquer des techniques ou des stratégies de façon plus ou moins automatisée, ce qui peut sans doute se révéler économique une fois certaines tâches déjà maîtrisées. Mais à moins de savoir fréquemment débrancher, pour ainsi dire, son « pilote automatique », même dans des tâches très simples et a fortiori dans des tâches plus complexes, on se privera d'une optimisation possible de son rendement ; on évitera aussi difficilement de sombrer

dans une routine stérilisante et parfois dangereuse, sinon dans un rhumatisme intellectuel aux antipodes mêmes d'une autogestion constructive et novatrice.

Un second avantage consiste en une *libération des contraintes dangereuses imposées par le développement rapide de la technologie*. Je suis le premier à reconnaître l'immense contribution, par exemple, des modèles cognitifs qu'on peut élaborer avec l'aide des ordinateurs pour mieux comprendre le fonctionnement intellectuel. Je crois cependant que ce qui distingue essentiellement l'intelligence artificielle de l'intelligence humaine, c'est que la seconde est capable non seulement d'appliquer les stratégies nécessaires à la solution d'un problème, mais aussi de connaître la signification de ces stratégies et le pourquoi de leur efficacité<sup>22,23,24</sup>, ainsi que de comprendre dans quelle mesure, dans ses démarches cognitives, le jugement (positif ou négatif) qu'on porte sur ses propres ressources cognitives peut influencer ou moduler la gestion qu'on en peut faire<sup>25</sup>. Or c'est précisément cette capacité de réflexion consciente et délibérée qui devient source de renouvellement et de créativité. J'ajouterai que le danger le plus grave ne réside pas dans l'intelligence artificielle, mais dans ce que j'appellerai l'intelligence *artificialisée*, c'est-à-dire l'intelligence naturelle devenue artificielle, programmée, conformiste, asservie ou prise en charge par les instances d'un environnement de plus en plus envahissant en raison de l'efficacité de ses techniques d'information et d'embrigadement. Ce que l'activité métacognitive peut aider à éviter, c'est précisément ce danger d'aliénation que représente la tendance au « prêt-à-penser » — pour employer la métaphore qu'Edgar Morin<sup>26</sup>, dans sa critique de la science moderne, emprunte à la haute couture et n'hésite pas à appliquer aux scientifiques, en affirmant qu'ils n'échappent pas facilement eux-mêmes à l'attrait de la mode et du « prêt-à-penser ». En somme, je pense que Haugeland<sup>27</sup> avait peut-être raison de redouter que la psychologie cognitive, après avoir démasqué l'imposture behavioriste, née d'une application à l'être humain de techniques de recherche issues de la psychologie animale, soit elle-même coupable d'une seconde imposture, celle d'une application mas-

sive à l'être humain de techniques de recherche issues de la théorie de l'information.

Enfin, un dernier avantage que l'être humain peut retirer d'une réflexion sur ses démarches cognitives, c'est l'aptitude à une *forme supérieure de méta-conscience*, que j'estime être la fine fleur de la prise en charge de soi-même. Comme il m'a été donné de le montrer récemment encore dans ce que j'ai appelé une méditation épistémologique sur les avatars de la conscience<sup>28</sup>, la métaconscience exige un long apprentissage par lequel l'individu devient de plus en plus capable, par exemple, non seulement de s'engager activement dans sa vie personnelle ou sociale, mais aussi d'anticiper et d'affronter les conséquences de ses actes, de démasquer les raisons non conscientes, pas toujours reluisantes, qui peuvent motiver des comportements ou des engagements en apparence inoffensifs ou généreux, et même de découvrir parfois — comme la psychologie a pu le montrer si souvent — qu'il peut être porté, par exemple, à des gestes de violence ou de mesquinerie qu'il répudie pourtant et dont il n'aurait lui-même jamais pu soupçonner être capable. Bref, à mon avis, c'est cette métaconscience qui peut permettre à un individu — pour employer la profonde expression que Schafer<sup>29</sup> appliquait à la psychanalyse — de « devenir un historien de sa vie plus compréhensif et plus efficace », expression que j'interpréterai comme une invitation, non pas à devenir le simple narrateur ou spectateur de sa vie, ni à vivre dans le passé et à entrer pour ainsi dire à reculons dans l'avenir, mais à vivre dans un présent perpétuel par la régénération continue que seule peut procurer une autogestion expresse de sa vie cognitive, affective et sociale.

Ces divagations banales sur le cheminement qui m'a conduit de la psychométrie à la métacognition se résument à proposer que le développement intellectuel n'est jamais terminé. Il a la pérennité du « Connais-toi toi-même » de Socrate, aphorisme dont on devrait dire qu'il n'était pas seulement une invitation *cognitive* à prendre modestement la mesure de soi-même, mais déjà une invitation *métacognitive* à prendre en charge son propre fonctionnement cognitif. ■

## Note

Cet article est une version légèrement modifiée d'une allocution intitulée « De la psychométrie à la métacognition », présentée devant l'Académie des lettres et des sciences humaines de la Société royale du Canada le 31 octobre 1986.

## Références

1. BARBEAU, G.L. et PINARD, A. *Épreuve individuelle d'intelligence générale*, Montréal, Institut de recherches psychologiques, 1951.
2. PINARD, A., BARBEAU, G., LAURENDEAU, M. et PARANT, C. *Tests différentiels d'intelligence*, Montréal, Institut de recherches psychologiques, 1954.
3. LAURENDEAU, M. et PINARD, A. *La pensée causale : étude génétique et expérimentale*, Paris, Presses universitaires de France, 1962.
4. LAURENDEAU, M. et PINARD, A. *Les premières notions spatiales de l'enfant*, Neuchâtel et Paris, Delachaux et Niestlé, 1968.
5. LEFÈVRE, M. et PINARD, A. « Apprentissage de la conservation des quantités par une méthode de conflit cognitif », *Revue canadienne des sciences du comportement*, 1972, vol. 4, p. 1-12.
6. LEFÈVRE-PINARD, M. et PINARD, A. « Influence du niveau initial de sensibilité à la contradiction sur l'apprentissage de la conservation par une méthode de conflit cognitif », *Revue canadienne des sciences du comportement*, 1974, vol. 6, p. 398-413.
7. PINARD, A. *The Conservation of Conservation*, Chicago, University of Chicago Press, 1981.
8. PINARD, A., MORIN, C. et LEFÈVRE, M. « Apprentissage de la conservation des quantités liquides chez des enfants rwandais et canadiens-français », *Journal international de psychologie*, 1973, vol. 8, p. 16-23.
9. LEFÈVRE-PINARD, M. « Existe-t-il des changements cognitifs chez l'adulte ? », *Revue québécoise de psychologie*, 1980, vol. 7, p. 58-69.
10. LEFÈVRE-PINARD, M. et PINARD, A. « Taking Charge of One's Own Cognitive Activity : a moderator of competence », *Moderators of competence*, E. Neimark, R. Delisi, J. Newman (ed.), Hillsdale (N.J.), Erlbaum, 1985, p. 191-212.
11. FLAVELL, J.H. « Cognitive Monitoring », *Children's Oral Communication Skills*, W.P. Dickson (ed.), New York, Academic Press, 1981.
12. LEFÈVRE-PINARD, M., BOUFFARD-BOUCHARD, T. et DÉCARY, D. « Reading to Understand and Remember : the Role of Metacognitive Awareness About Strategies », communication présentée à la biennale de la Society for Research in Child Development, Détroit, 1983.
13. PINARD, A., DÉCARY, D., BIBEAU, M., BOUFFARD-BOUCHARD, T. et LEFÈVRE-PINARD, M. « What Should We Know About Adult Readers' Metacognitive Knowledge in Order to Foster Their Comprehension ? », conférence présentée au VIII<sup>e</sup> congrès de l'International Society for the Study of Behavioral Development, Tours (France), 1985.
14. REID, L. et PINARD, A. « Influence de l'induction des processus d'autorégulation sur le rendement dans une tâche cognitive », *Revue canadienne des sciences du comportement*, 1985, vol. 17, p. 315-326.
15. PINARD, A., MELOT, A.M., VEZEAU, C. et BOUFFARD-BOUCHARD, T. « Construction et validation d'un instrument pour l'étude de l'autorégulation d'une démarche cognitive », communication présentée au congrès annuel de l'Association de psychologie scientifique de langue française, Toulouse (France), 1987.
16. BOUFFARD-BOUCHARD, T. *Auto-efficacité et autorégulation dans une tâche cognitive*, thèse de doctorat inédite, Département de psychologie, Université du Québec à Montréal, 1987.
17. BOUFFARD-BOUCHARD, T., PINARD, A., BASTIEN, N. et DÉCARY, D. « Self-Efficacy and Taking Charge of One's Cognitive Activity », communication présentée à la rencontre annuelle de l'Association canadienne de psychologie, Toronto, 1986.
18. PINARD, A. « "Prise de conscience" and Taking Charge of One's Cognitive Functioning », *Human Development*, 1986, vol. 29, p. 341-354.
19. LEFÈVRE-PINARD, M. *La régulation de la communication de l'enfance à l'âge adulte*, Paris, Presses universitaires de France, 1985, p. 107-136.
20. VYGOTSKY, L.S. *Thought and Language*, E. Hanfman et G. Vakar (éditeurs et traducteurs), Cambridge (Mass.), MIT Press, 1962/1934.
21. FLETCHER, J.L. « The Outer Limits of Human Educability : A Proposed Research Program », *Educational Researcher*, 1978, p. 13-18.
22. PIAGET, J. *La prise de conscience*, Paris, Presses universitaires de France, 1974.
23. PIAGET, J. *Réussir et comprendre*, Paris, Presses universitaires de France, 1974.
24. KUHN, D. « On the Dual Executive and its Significance in the Development of Developmental Psychology », *On the Development of Developmental Psychology*, D. Kuhn et J.A. Meacham (ed.), Basel, Karger, 1983.
25. BANDURA, A. *Social Foundations of Thought and Action : a Social Cognitive Theory*, Englewood Cliffs (N.J.), Prentice-Hall, 1986.
26. MORIN, E. *Science avec conscience*, Paris, Fayard, 1982.
27. HAUGELAND, J. « The Nature and Plausibility of Cognitivism », *Behavioral and Brain Sciences*, 1978, vol. 2, p. 215-260.
28. PINARD, A. « Les avatars de la conscience : méditation épistémologique », conférence prononcée au congrès de l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences, Ottawa, 1987.
29. SCHAFER, R. *A New Language for Psychoanalysis*, New Haven (Conn.), Yale University Press, 1976, p. 176.

# LES ÉTALONS DE TEMPS ATOMIQUES : DERNIERS DÉVELOPPEMENTS

PAR CLAUDE JACQUES

*N'importe quel phénomène périodique, comme la rotation de la Terre sur elle-même ou les oscillations d'un quartz, peut servir d'unité pour mesurer le temps. Toutefois, ces phénomènes n'ont pas tous la même stabilité et ne sont pas mesurables avec la même exactitude. En fait, seuls les étalons atomiques de temps, qui utilisent les transitions à l'intérieur des atomes, sont capables de satisfaire aux exigences des nouvelles technologies. Claude Jacques nous présente ici les derniers développements touchant ces gardiens du temps.*



Claude Jacques est agent de recherche au Laboratoire des étalons fondamentaux de la Division de physique du Conseil national de recherches du Canada. Il est responsable des recherches sur les étalons atomiques de temps à jet de césium pompé optiquement.

**T**oute mesure se réfère à un étalon, c'est-à-dire un appareil servant à la réalisation d'une unité de base telle que définie par la Conférence générale des poids et mesures (CGPM).

Pour ce qui concerne le temps, l'unité de base retenue est la seconde. Depuis la treizième Conférence générale des poids et mesures de 1967, la seconde est définie comme la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133 (encadré 1). Il s'agit d'une unité de temps atomique.

Avant que la communauté scientifique ne se soit mise d'accord sur cette définition, plusieurs étalons de temps atomiques avaient déjà été construits en Angleterre, aux États-Unis et au Canada. Trois atomes, ceux de l'hydrogène, du rubidium et du césium, ainsi que leurs transitions hyperfines, étaient particulièrement étudiés. C'est finalement le césium qui fut retenu. En effet, avec l'hydrogène on peut fabriquer un maser, un étalon d'une très grande stabilité, mais qui n'est malheureusement pas exact. Deux masers construits de façon identique n'oscilleront pas à la même fréquence, à cause de phénomènes physiques difficiles à cerner et à évaluer, donc à corriger. Un maser (*Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) fonctionne selon les mêmes principes physiques qu'un laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), mais dans les hyperfréquences. De son côté, l'étalon à rubidium peut être considéré comme un étalon de second ordre en termes de stabilité et d'exactitude. Sa popularité

par rapport à l'hydrogène et au césium tient essentiellement dans sa conception plus simple pour des performances somme toute impressionnantes. Place au césium donc! Celui-ci donne la fréquence la plus exacte et cet aspect est extrêmement important pour un étalon. Il est toutefois possible que dans un avenir plus ou moins rapproché, on puisse isoler d'autres phénomènes physiques permettant de mesurer des fréquences de façon beaucoup plus exacte. Il faudra alors se préparer à changer la définition de la seconde.

## LE PRINCIPE PHYSIQUE D'UN ÉTALON DE TEMPS ATOMIQUE

Le comportement ondulatoire des électrons est tel qu'ils ne peuvent se trouver que dans des états discrets à l'intérieur de la structure de l'atome. À chaque état correspond une énergie définie. Tout changement d'un état à un autre se fait par l'émission ou l'absorption d'un quantum d'énergie, soit un

photon. L'énergie du photon est la différence d'énergie entre les deux niveaux, à laquelle correspondent une fréquence et une longueur d'onde.

L'état fondamental  $6s^2S_{1/2}$  de l'atome de césium, celui dont l'énergie est la plus basse, se divise en fait en deux états hyperfins d'énergies légèrement différentes qu'on distingue par leur valeur respective du nombre quantique  $F$ , soit  $F=3$  et  $F=4$  (figure 1a). Le nombre quantique  $F$  représente le moment angulaire total de l'atome de césium. La transition entre ces deux états hyperfins correspond à un photon dont la fréquence est 9 192 631 770 Hz. C'est cette fréquence dans les hyperfréquences qui sert à définir la seconde.

Le principe de l'étalon atomique à jet de césium est schématisé à la figure 2. Un jet collimaté d'atomes de césium sort d'un four, passe par une première série d'aimants sélecteurs

## 1. PETITE HISTOIRE DE LA SECONDE

### 1. 1960

Le vendredi 14 octobre 1960, la onzième Conférence générale des poids et mesures ratifie la définition suivante : « La seconde est la fraction 1/31 556 925,974 7 de l'année tropique pour 1900 janvier 0 à 12 heures de temps des éphémérides » (c'est-à-dire le 31 décembre 1899 à 12 heures des éphémérides).

### 2. 1967

Le vendredi 13 octobre 1967, la treizième Conférence générale des poids et mesures décide que l'unité de temps du Système international d'unités (SI) est la seconde, définie dans les termes suivants : « La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133 ».

Par ailleurs, la Conférence, considérant que l'étalon de fréquence à césium est encore perfectible et que des expériences en cours permettent de croire qu'on pourra bientôt fabriquer des étalons de meilleure qualité devant servir à définir la seconde, invite les organisations et laboratoires spécialisés dans le domaine des étalons atomiques de fréquences à poursuivre activement leurs recherches.

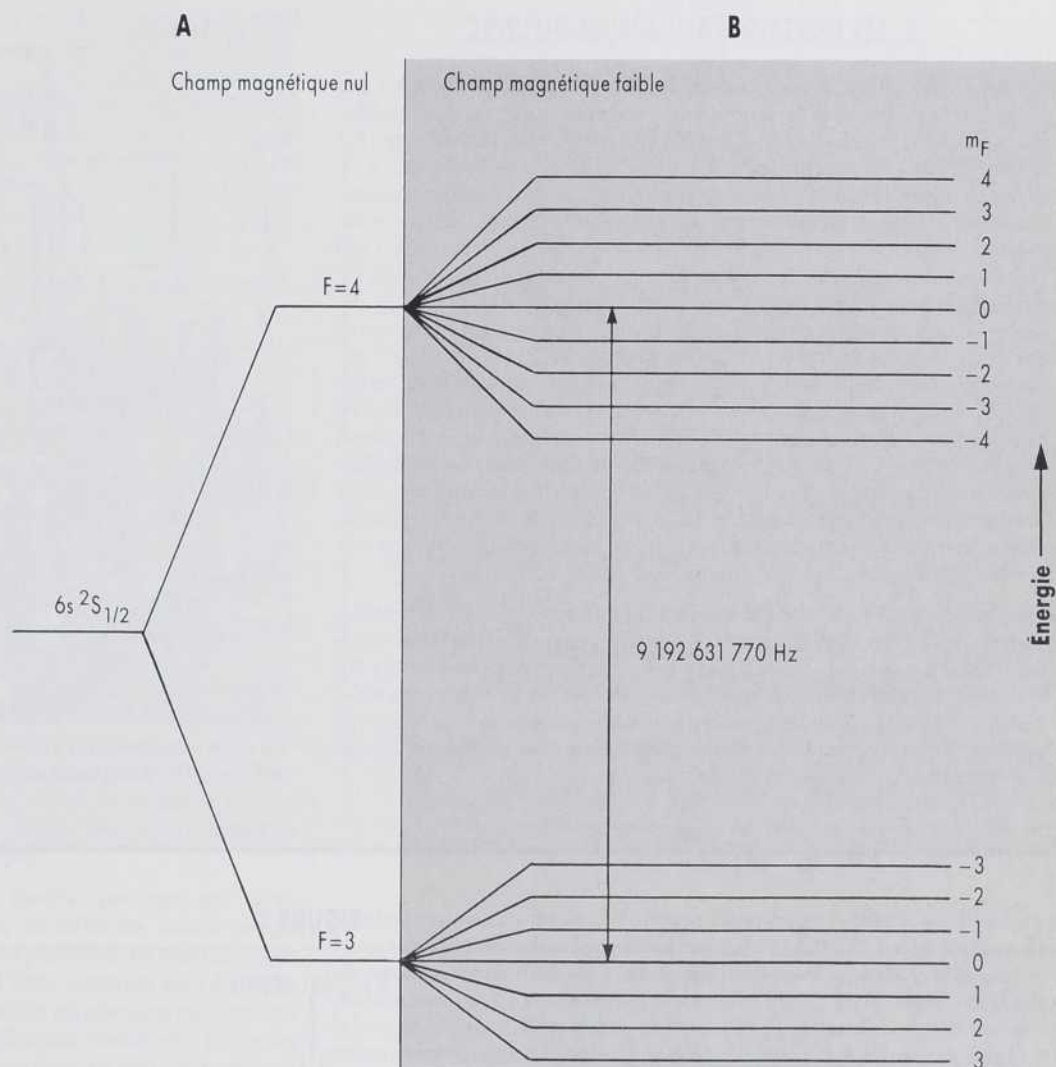
d'états puis dans une cavité où règne, dans un champ magnétique uniforme, un champ hyperfréquence oscillant à 9 192 631 770 Hz qui est chargé d'induire la transition entre les deux états  $F=3$  et  $F=4$ . Le jet traverse ensuite une deuxième série d'aimants sélecteurs et atteint finalement un détecteur à fil chaud.

Les aimants sélecteurs, par leur champ magnétique non uniforme, dévient la trajectoire de l'atome de césium selon l'état dans lequel il est. Les champs magnétiques des deux ensembles d'aimants sont orientés dans le même sens, si bien qu'ils ont le même effet sur le jet de césium. Une autre particularité tient dans la déviation des trajectoires respectives des états  $F=3$  et  $F=4$  : elles sont opposées et de même valeur. Ainsi, si un atome de césium dans l'état  $F=3$  est dévié vers le bas par les aimants sélecteurs, il le sera deux fois par les deux ensembles d'aimants. Toutefois, si la transition de  $F=3$  à  $F=4$  a lieu, l'atome de césium sera dévié vers le haut par le deuxième ensemble d'aimants sélecteurs et pourra atteindre le détecteur à fil chaud. Le même raisonnement s'applique si l'on intervertit les niveaux  $F=3$  et  $F=4$ . Un signal maximal au détecteur indique donc que la fréquence du champ hyperfréquence dans la cavité est bien à 9 192 631 770 Hz. Plus exactement, on obtient le patron d'interférence de la figure 3.

Le fil chaud du détecteur ionise les atomes de césium qui l'atteignent. L'ionisation, dans ce cas, consiste à enlever un électron. On brise ainsi la neutralité électrique de l'atome pour en faire un ion positif. Cet ion est capté et enregistré comme une charge supplémentaire dans le détecteur. La charge crée un courant électrique et la valeur de ce courant indique la présence ou l'absence de césium atteignant le détecteur.

La construction et le maintien d'étaçons de temps et de fréquence au césium fait partie des recherches entreprises par la Section des étalons de longueur et de temps du Conseil national de recherches du Canada (CNRC) à Ottawa. Le CNRC possède actuellement l'un des étalons atomiques les plus exacts, sinon le plus exact au monde (encadré 2). Celui-ci donne la possibilité de mesurer des fréquences avec une exactitude de 13 chiffres significatifs. Utilisé comme horloge, cela correspond à une seconde d'erreur par million d'années. Toutefois, une telle horloge doit être régulièrement ajustée pour tenir compte de

FIGURE 1



a. En l'absence de champ magnétique, l'état fondamental  $6s\ 2S_{1/2}$  de l'atome de césium se divise en fait en deux états hyperfins d'énergies légèrement différentes, qu'on distingue par leur valeur respective du nombre quantique  $F$ , soit  $F=3$  et  $F=4$ . La transition entre ces deux états hyperfins correspond à un photon dont la fréquence est 9 192 631 770 Hz. C'est cette fréquence dans les hyperfréquences qui sert d'étalon pour la seconde.

b. Sous l'effet d'un champ magnétique faible, les états  $F$  du césium se subdivisent en sous-états caractérisés par leur projection  $m_F$  sur l'axe du champ magnétique. Ces sous-états ont des énergies légèrement différentes selon la valeur de cette projection. Les valeurs possibles de  $m_F$  ne peuvent être qu'entières si  $F$  est entier, ou demi-entières si  $F$  est demi-entier. Elles doivent, de plus, être comprises entre  $-F$  et  $+F$ , pour un total de  $2F + 1$  sous-états. L'existence de ces sous-états complique la mesure car les transitions entre  $F=3$  et  $F=4$  se font à des fréquences différentes de 9 192 631 770 Hz ; la transition entre  $F(3,0)$  et  $F(4,0)$  n'est que très peu perturbée. Il faut donc mettre tous les atomes de césium dans l'un ou l'autre des états  $F(3,0)$  et  $F(4,0)$ , ce que permet le pompage optique.

l'effet relativiste dans un champ gravitationnel (encadré 3).

Il existe plusieurs domaines où une très grande exactitude dans la mesure du temps est requise. Par exemple, dans les communications, l'amélioration du synchronisme des composantes (émetteur-médium de transmission-récepteur) permet d'augmenter la densité d'information et de diminuer les

coûts d'infrastructure. En astronomie, un réseau d'antennes pour ondes radio interstellaires doit être synchronisé de façon exacte pour donner la résolution permise par l'instrument. Dans la navigation, où on utilise les horloges atomiques pour la localisation, un intervalle de temps de  $10^{-9}$ s représente 0,3 m, ce qui constitue une distance appréciable dans certaines conditions critiques.

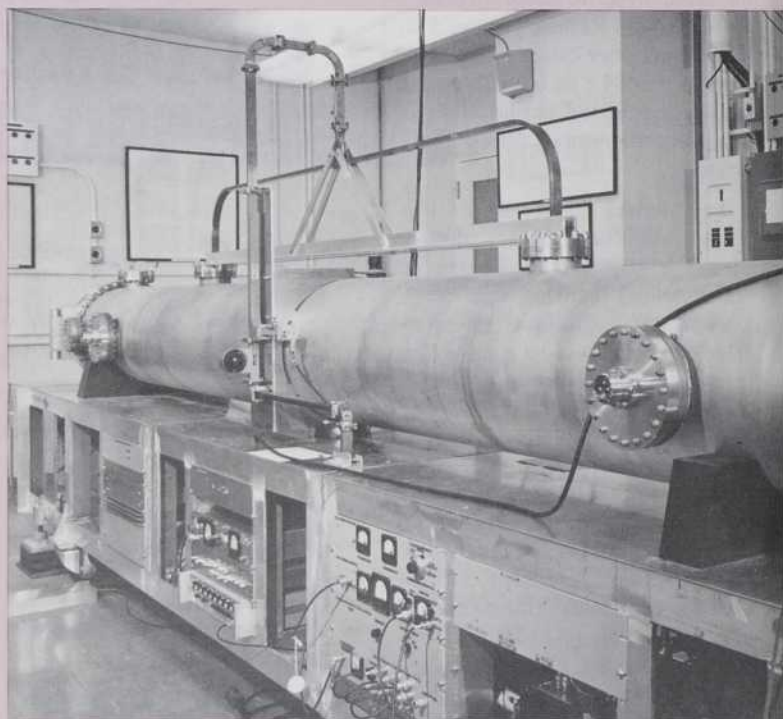
### LE POMPAGE OPTIQUE

Comme on vient de le voir, pour réaliser la transition entre les niveaux  $F=3$  et  $F=4$ , il est nécessaire d'appliquer un champ magnétique faible. Or, sous l'action de ce champ, les états  $F$  du césium se subdivisent en sous-états caractérisés par leur projection  $m_F$  du moment angulaire  $F$  sur l'axe du champ magnétique. Ces sous-états ont des

## 2. LES HORLOGES ATOMIQUES DU CNRC

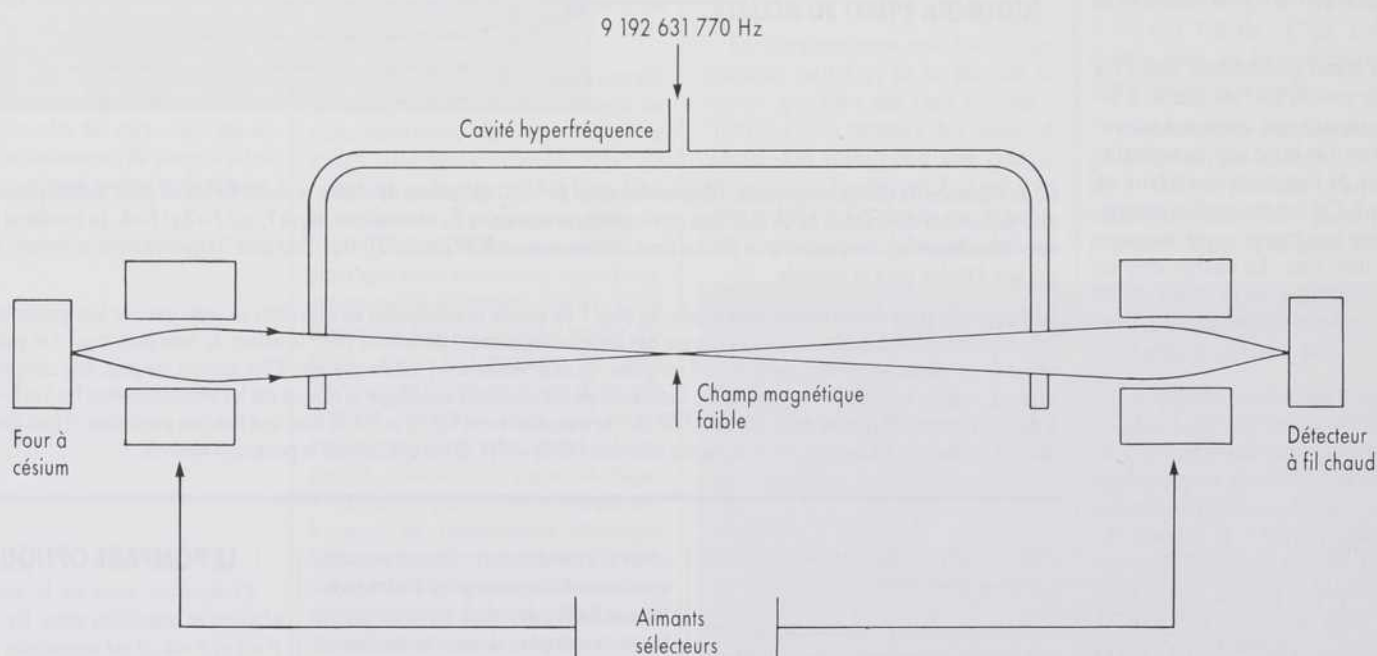
L'expérience acquise dans la conception d'étalons de temps à jet de césium par l'équipe du Conseil national de recherches du Canada dans les années 60 et au début des années 70, a mené à la construction de Cs V (le cinquième concept développé par le Conseil). En 1975, après plusieurs mois de fonctionnement très stable de Cs V, on décida de le faire fonctionner comme une horloge, c'est-à-dire de lui faire additionner les secondes, les minutes et les heures, et ce le plus longtemps possible. Ce fut une première mondiale en ce qui concerne les étalons de temps de laboratoire. Ceux-ci sont d'abord conçus de façon à être continuellement ajustés pour donner une mesure de fréquence et de temps la plus exacte et la plus précise possible, généralement pour des temps relativement courts (de moins de quelques jours). À priori, le fonctionnement en continu exigé par une horloge impose une contrainte que Cs V peut heureusement supporter. La stabilité de cette horloge est telle qu'on peut l'utiliser comme étalon de fréquence pour des mesures à court terme et comme horloge pour des mesures à plus long terme ; très peu d'ajustements peuvent altérer son fonctionnement. Avec un chargement complet de césium, Cs V peut fonctionner de 9 à 10 ans sans interruption. Sa stabilité est de l'ordre d'une partie dans  $10^{13}$  (13 chiffres significatifs dans la mesure). Cette caractéristique en fait l'instrument le plus exact au monde. En termes d'erreur possible, cela représente environ 1 microseconde par année ou, si Cs V pouvait fonctionner avec la même stabilité pour... l'éternité, 1 seconde par million d'années !

Entre temps, on a construit trois nouveaux étalons de temps, les Cs VI. Leurs performances sont légèrement moindres que celles de Cs V, mais ils n'ont pas été conçus au départ pour le supplanter. On les destine plutôt à remplacer temporairement Cs V si ce dernier tombe en panne ou a besoin d'entretien. Les trois Cs VI, bien que moins bons que l'horloge Cs V, font quand même partie des meilleurs étalons de temps à jet de césium au monde. Ils fonctionnent aussi comme horloges, leur stabilité à long terme le permettant.



L'horloge atomique Cs V du CNRC : le tube de l'horloge fait 5 m et la longueur de la cavité hyperfréquence est de 2 m.

FIGURE 2



Dans un étalon atomique à jet de césium, un jet collimaté d'atomes de césium sort d'un four, passe par une première série d'aimants sélecteurs d'états puis dans une cavité où règne, dans un champ magnétique uniforme, un champ hyperfréquence oscillant à 9 192 631 770 Hz et qui est chargé d'induire la transition entre les deux états  $F=3$  et  $F=4$ . Le jet traverse ensuite une deuxième série d'aimants sélecteurs pour atteindre enfin

un détecteur à fil chaud. Grâce à l'action conjuguée des deux séries d'aimants sélecteurs, seuls les atomes de césium qui ont subi une transition arrivent au détecteur. Un signal maximal à ce dernier indique donc que la fréquence du champ hyperfréquence dans la cavité est bien 9 192 631 770 Hz.



énergies légèrement différentes selon la valeur de la projection. Les valeurs possibles de  $m_F$  ne peuvent être qu'entières si  $F$  est entier, ou demi-entières si  $F$  est demi-entier. Elles doivent de plus être comprises entre  $-F$  et  $+F$  pour un total de  $2F+1$  sous-états. Ainsi, dans l'état  $F=3$ , la projection  $m_F$  du moment angulaire de césium ne peut prendre qu'une des valeurs suivantes :  $-3, -2, -1, 0, 1, 2$  ou  $3$ ; dans l'état  $F=4$ , les valeurs possibles de  $m_F$  sont :  $-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$  ou  $4$  (figure 1b). Lorsqu'un atome de césium est dans un champ magnétique nul, toutes les projections  $m_F$  d'un même  $F$  correspondent à des états de même énergie : il y a dégénérescence. Mais, comme on vient de le mentionner, ces états ont des énergies légèrement différentes dans un champ magnétique non nul, ce qui complique les choses car les transitions entre  $F=3$  et  $F=4$  se font à des fréquences légèrement différentes de  $9\,192\,631\,770$  Hz. Seule la transition entre les niveaux  $F=3$   $m_F=0$  et  $F=4$   $m_F=0$ , ou, pour simplifier la notation, entre les niveaux  $F(3,0)$  et  $F(4,0)$ , est examinée, parce qu'elle n'est que très peu perturbée par le champ magnétique faible (perturbation du  $2^\circ$  degré).

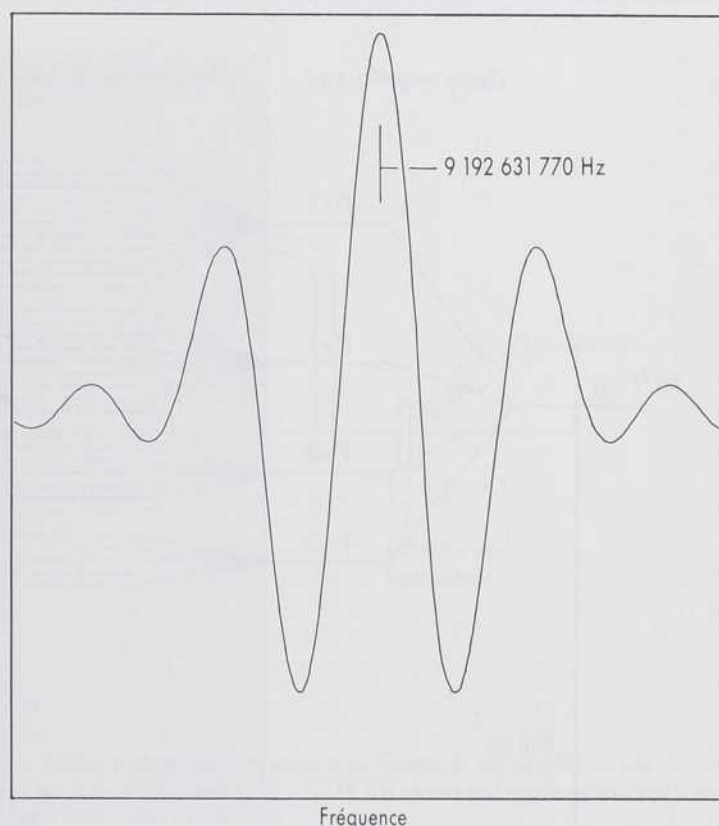
Si l'on considère l'ensemble des possibilités pour  $F=3$   $m_F = -3, -2, \dots, 2, 3$  et  $F=4$   $m_F = -4, -3, \dots, 3, 4$ , il y a seize états possibles pour les atomes de césium. À l'équilibre thermodynamique dans lequel ils sont, les atomes de césium sont répartis également entre ces seize états. La transition entre  $F(3,0)$  et  $F(4,0)$  ne peut alors avoir lieu que sur un huitième des atomes.

Il faudrait donc pouvoir mettre tous les atomes de césium dans l'un ou l'autre des états  $F(3,0)$  ou  $F(4,0)$ . On peut le faire à l'aide du pompage optique. Ce dernier permet en plus d'éliminer certains inconvénients liés à l'utilisation d'aimants sélecteurs. En effet, le fait que la trajectoire du jet de césium ne soit pas rectiligne, à cause des déviations produites par les aimants sélecteurs, peut créer des asymétries qui nuisent à l'exactitude de la mesure. De plus, les champs magnétiques de ces aimants sont très forts et peuvent « fuir » dans la région hyperfréquence de la cavité, où doit régner un champ magnétique faible et très uniforme. Ces fuites nuisent à l'uniformité du champ et elles peuvent provoquer des transitions indésirables dites transitions Majorana.

Le modèle quantique qui décrit l'atome en différents états d'énergie avec des possibilités de transitions d'un état à l'autre, comprend aussi des règles de sélection qui autorisent ou interdisent les différentes transitions. En jouant avec ces règles, on peut créer pour certains états des portes d'entrée ouvertes permettant à un grand nombre d'atomes de s'y rendre et, du même coup, fermer toutes les portes de sortie. On tend ainsi un piège où, après un certain temps, tous les atomes se retrouvent. C'est là le principe de fonctionnement du pompage optique.

Heureusement, les états  $F(3,0)$  et  $F(4,0)$  de l'état fondamental du césium se prêtent au pompage optique. On utilise pour cela les transitions entre deux états : l'état fondamental  $6s\ ^2S_{1/2}$  et un autre plus élevé,  $6p\ ^2P_{3/2}$  (figure 4). Ces transitions se font à la longueur d'onde de  $852$  nm dans l'infrarouge. L'état  $6p\ ^2P_{3/2}$  se divise en états  $F'=2, 3, 4$  et  $5$ , qui à leur tour se subdivisent en sous-états  $F'=2$   $m_F = -2, -1, 0, 1, 2$ ,  $F'=3$   $m_F = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$ ;  $F'=4$   $m_F = -4, -3, \dots, 3, 4$  et  $F'=5$   $m_F = -5, -4, \dots, 4, 5$ . Bien que  $F$  et  $F'$  aient la même signification, on les distingue en fonction de leur appartenance

FIGURE 3



Signal au détecteur : le maximum du patron d'interférence indique que la fréquence du champ hyperfréquence dans la cavité est bien à  $9\,192\,631\,770$  Hz. La précision d'une telle mesure est proportionnelle à la longueur de la cavité hyperfréquence. Ainsi, pour l'horloge atomique Cs V actuellement en service au CNRC, dont la cavité a deux mètres de long, la largeur à mi-hauteur du pic central est de  $60$  Hz. Cette finesse permet une mesure de la fréquence maximale à trois décimales près, ce qui donne un total de 13 chiffres significatifs.

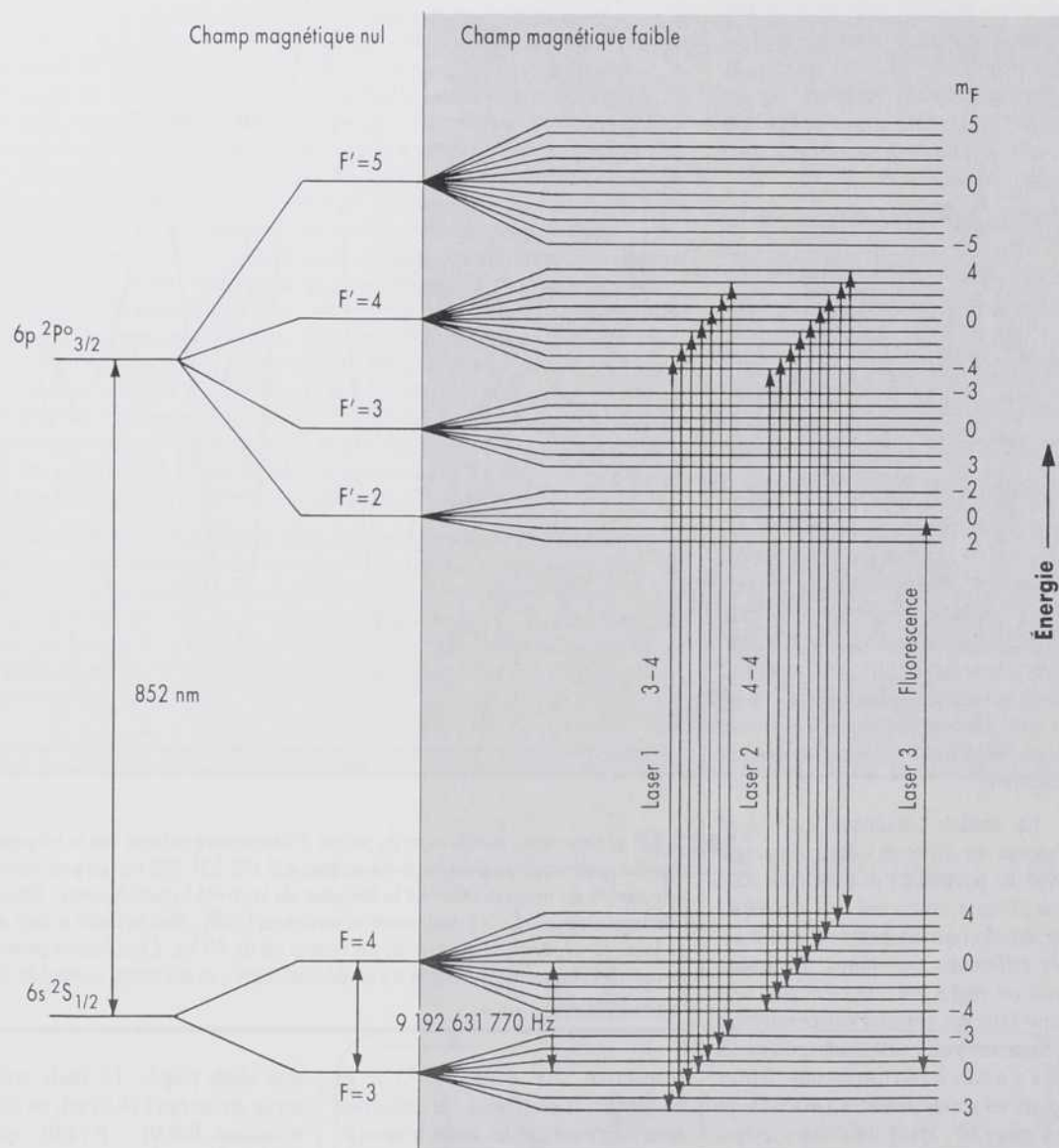
respectivement aux états  $6s\ ^2S_{1/2}$  et  $6p\ ^2P_{3/2}$ . Les règles de sélection nous informent que les seules transitions permises sont  $F'-F=1, 0$  ou  $1$  et  $m_F' - m_F = 1, 0$  ou  $1$ , mais que, parmi celles-ci,  $F'-F=0$  et, en même temps, que  $m_F' = m_F = 0$  est interdite. C'est cette dernière règle qui piège les atomes dans l'état voulu.

On illumine les atomes de césium avec deux lasers à  $852$  nm (figure 5). L'un est accordé sur les transitions  $F=3 - F'=4$  et l'autre sur les transitions  $F=4 - F'=4$ . Les lasers sont polarisés de telle sorte qu'ils stimulent seulement les transitions  $m_F' - m_F = 0$ . Les atomes absorbent les photons pour passer de l'état  $6s\ ^2S_{1/2}$  à l'état  $6p\ ^2P_{3/2}$ . Certains sont ensuite redistribués, avec émission d'un photon, sur les différents sous-états de  $F=4$  et cette distribution est maximale pour l'état  $F(4,0)$ , où ils

sont alors piégés. La seule porte de sortie du niveau  $F(4,0)$  est, en effet, la transition  $F(4,0) - F'(4,0)$ , qui est interdite ! Donc, après un certain temps, tous les atomes de césium se trouvent dans cet état. On peut se demander s'il y a des atomes dans l'état supérieur  $6p\ ^2P_{3/2}$ , mais comme ils n'y demeurent que durant un temps très court,  $30$  ns, on peut considérer comme négligeable la population de cet état (après  $30$  ns, les atomes retournent à l'état fondamental par émission spontanée).

Une fois pompés optiquement dans l'état  $6s\ ^2S_{1/2}$   $F(4,0)$ , les atomes de césium entrent dans la région hyperfréquence où règne un champ magnétique uniforme. Là, si les conditions de fonctionnement de cette région sont bien ajustées (bonne fréquence, valeur optimale du champ magnétique), la majorité des atomes de césium subissent une

FIGURE 4



Le pompage optique est un procédé qui permet de changer les valeurs des populations des états quantifiés des atomes. Pour le césium, on utilise les transitions permises et interdites entre deux états : l'état fondamental  $6s\ 2S_{1/2}$  et un autre plus élevé,  $6p\ 2P_{3/2}$ . Ces transitions se font à la longueur d'onde de 852 nm dans l'infrarouge. Comme l'état  $6s\ 2S_{1/2}$ , l'état  $6p\ 2P_{3/2}$  se divise en états  $F'$ , subdivisés à leur tour en sous-états suivant la valeur de  $m_F$ . Les règles de sélection indiquent que les seules transitions permises sont  $F'-F=1, 0$  ou  $-1$  et  $m_F'-m_F=0$  ou  $\pm 1$ , mais que parmi celles-ci,  $F'-F=0$  en même temps que  $m_F'-m_F=0$  est interdite. C'est cette dernière règle qui piège les atomes dans l'état voulu. On illumine les atomes de césium avec deux lasers à 852 nm. L'un est accordé sur les transitions  $F=3 \rightarrow F'=4$  et l'autre sur les transitions  $F=4 \rightarrow F'=4$ . Les lasers sont polarisés de telle sorte qu'ils stimulent seulement les transitions  $m_F'-m_F=0$ . Les atomes absorbent les photons pour passer de l'état  $6s\ 2S_{1/2}$  à l'état  $6p\ 2P_{3/2}$ . Certains sont ensuite redistribués, avec émission d'un photon, sur les différents sous-états de  $F=4$  et cette distribution est maximale pour l'état  $F(4,0)$ , où ils sont alors piégés. La seule porte de sortie du niveau  $F(4,0)$  est, en effet, la transition  $F(4,0) \rightarrow F'(4,0)$ , qui est interdite.

transition pour se retrouver dans l'état  $6s\ 2S_{1/2}\ F(3,0)$ . Comme il n'y a plus d'aimants sélecteurs déviant le jet d'atomes, celui-ci est presque rectiligne et atteint toujours le détecteur à fil chaud, peu importe ce qui s'est passé auparavant. Il faut donc trouver un autre type

de détection pour contrôler le fonctionnement de l'étalon à la bonne fréquence. La fluorescence se révèle être une solution. Il s'agit en principe de faire absorber des photons par un atome qui passe alors d'un état de basse énergie à un autre de plus haute énergie.

Lorsqu'il revient à son état initial, il émet un photon ; c'est le signal de fluorescence. Si l'atome n'est pas dans le bon état, il n'absorbe pas de photon ; il n'y a donc pas de fluorescence. Dans le cas du césium, il s'agit d'ajuster la longueur d'onde d'un troisième laser de

telle sorte que seuls les atomes dans l'état  $6s\ 2S_{1/2}\ F=3$  absorbent des photons. De plus, si l'état supérieur choisi est  $6p\ 2P_{3/2}\ F'=2$ , les seules transitions vers le bas permises selon les règles de sélection sont celles qui ramènent à l'état original  $6s\ 2S_{1/2}\ F=3$ . L'atome peut alors subir la même transition à nouveau, ce qui augmente le signal de fluorescence. C'est ce qu'on appelle une transition cyclante.

On peut utiliser d'autres procédures pour pomper optiquement les atomes de césium dans l'un ou l'autre des états  $6s\ 2S_{1/2}\ F(3,0)$  ou  $F(4,0)$  et pour faire la détection par fluorescence. Nous n'en avons décrite qu'une, parmi les plus prometteuses, mais elles fonctionnent toutes selon le même principe. Les chercheurs doivent d'ailleurs faire beaucoup d'expériences en vue d'identifier la procédure optimale.

L'idée d'utiliser le pompage optique dans les étalons de temps à jet de césium remonte déjà à plusieurs années, à la fin des années 60, en fait. À cette époque, les sources lasers se résument aux lasers à colorant et aux diodes lasers dans un cryostat, deux sources lumineuses dont l'entretien nécessitait des arrêts quotidiens. Elles étaient par conséquent inutilisables dans un étalon atomique, qui doit être arrêté le moins souvent possible. Le récent regain d'intérêt est dû au développement de diodes lasers fonctionnant à température ambiante et ayant des durées de vie utile de plusieurs années (encadré 4). Toutefois, toutes les diodes lasers émettant dans la région de 852 nm n'émettent pas toutes à la bonne longueur d'onde. Les diodes peuvent être syntonisées finement autour de modes particuliers, mais pas entre des modes. Si, pour une diode particulière, 852 nm tombe entre deux modes, cette diode ne peut être utilisée pour un étalon à jet de césium. Il faut donc faire une sélection. Les diodes lasers demeurent quand même la source laser la plus commode et la plus facile à utiliser. Il vaut la peine d'essayer d'en maîtriser tous les paramètres de fonctionnement. Il est possible, par exemple, de varier la largeur de la raie d'émission par l'ajout d'une cavité externe, ainsi que l'intensité lumineuse. Il appert, d'un point de vue théorique, que ces deux paramètres influent beaucoup sur l'efficacité du pompage. Il faut réussir à identifier les conditions optimales de fonctionnement des diodes lasers pompant un jet de césium.

FIGURE 5



Étalon atomique à jet de césium avec pompage optique : après avoir été pompé optiquement dans l'état  $6s\ ^2S_{1/2} F(4,0)$  par les lasers 1 et 2, tous deux à 852 nm, les atomes de césium entrent dans la région hyperfréquence où règne un champ magnétique uniforme. Là, si les conditions de fonctionnement sont bien ajustées (bonne fréquence et valeur opti-

male du champ magnétique), la majorité des atomes de césium subissent une transition pour se retrouver dans l'état  $6s\ ^2S_{1/2} F(3,0)$ . Ces atomes sont ensuite détectés par fluorescence à l'aide d'un troisième laser.

### 3. EFFET RELATIVISTE DANS UN CHAMP GRAVITATIONNEL

Dans un champ gravitationnel, une horloge retarde. Ainsi, la seconde étant définie implicitement au niveau de la mer, une horloge située au-dessus de ce niveau avance. C'est le cas de l'horloge Cs V, une des horloges les plus exactes, sinon la plus exacte au monde qui, étant située à une centaine de mètres au-dessus du niveau de la mer, doit être retardée d'environ une nanoseconde (un milliardième de seconde) par jour.

### 4. POURQUOI UTILISE-T-ON DES DIODES LASERS ?

L'utilisation de diodes lasers plutôt que de toute autre sorte de lasers syntonisables est justifiée par leur durée de fonctionnement sans interruption. Si on a besoin d'un étalon de temps qui fonctionne pendant une durée appréciable, il faut avoir recours à des sources lasers fiables à long terme en fonctionnement continu. Les diodes lasers offrent cet avantage, contrairement à d'autres lasers comme, par exemple, les lasers à colorant. Sur le plan technologique, l'amélioration des diodes lasers a été telle que leur fiabilité est en quelque sorte garantie pour plusieurs années. Toutefois, la longueur d'onde de 852 nm nécessaire aux étalons à jet de césium est à la frontière des longueurs d'onde permises par le type de diodes lasers que nous utilisons. Or, il n'est pas certain qu'on puisse s'en procurer indéfiniment. Tout dépend essentiellement de l'industrie des communications. Le hasard a fait que certaines diodes lasers développées pour cette industrie pouvaient émettre à 852 nm, mais des changements peuvent se produire et on pourrait cesser de fabriquer ce type de diodes. On devra alors trouver une autre source laser qui réponde à nos besoins.

### DE L'ÉTALON À L'HORLOGE

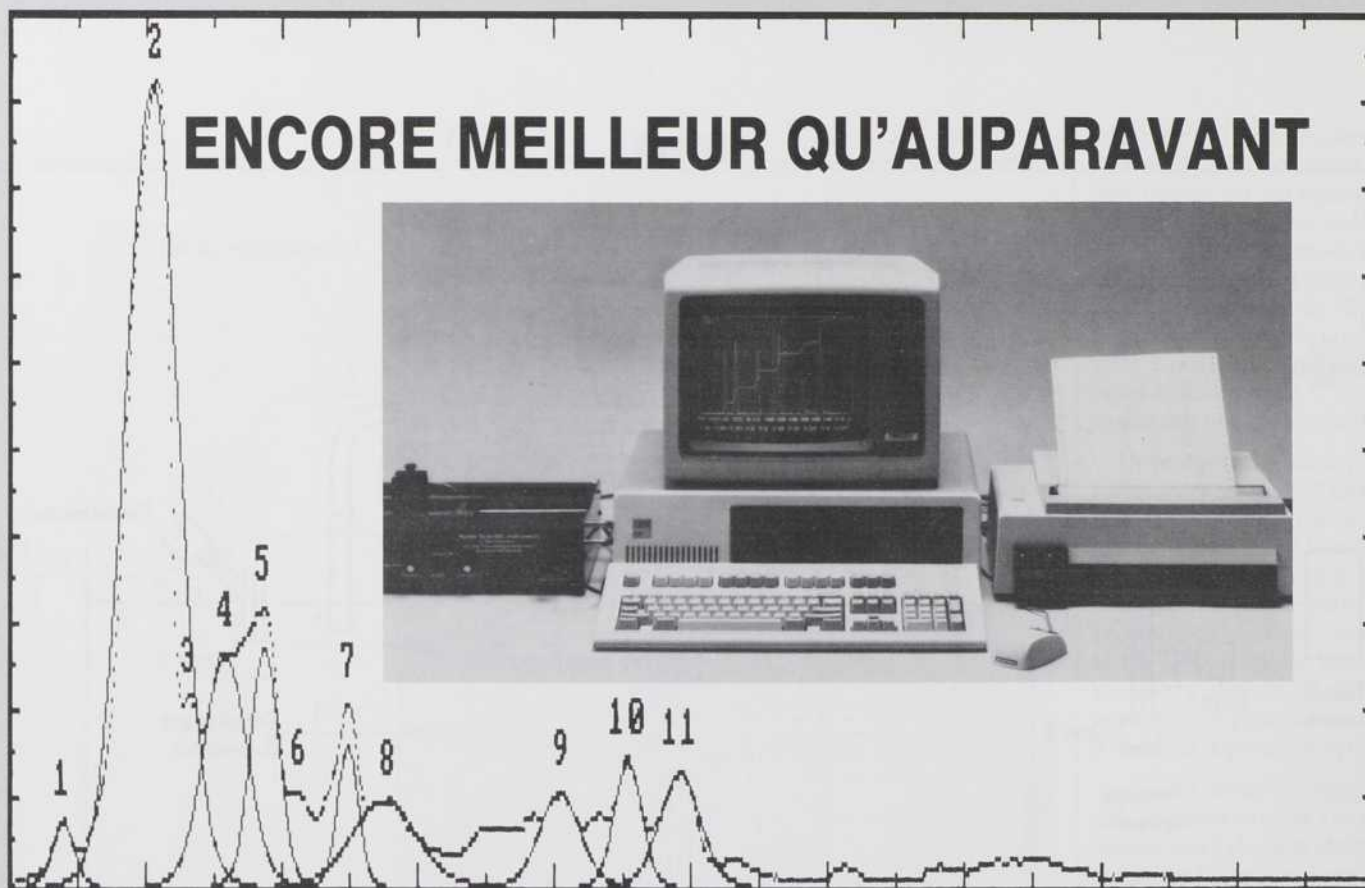
L'état de la recherche dans le domaine des étalons de temps à jet de césium pompé optiquement par des diodes lasers, en est encore à des étapes intermédiaires. Le principe de fonctionnement a été démontré et des étalons ont déjà fonctionné pendant une période très courte, mais plusieurs améliorations sont encore possibles. L'étape ultime à franchir : fabriquer une horloge à partir d'un étalon de temps. Ce qui différencie les deux appareils est lié à l'utilisation : l'horloge est un étalon de temps qui additionne les secondes, les minutes et les heures. Pour ce faire, elle doit pouvoir fonctionner pendant une très longue période de temps ; elle doit aussi rivaliser en exactitude et en stabilité avec les meilleurs étalons de temps à jet de césium actuels, qui utilisent les aimants sélecteurs.

L'intérêt de l'étude du pompage optique d'un jet de césium par des diodes lasers ne se limite d'ailleurs pas à la seule amélioration d'un concept déjà maîtrisé. Toutes les techniques développées en rapport avec les diodes lasers peuvent servir à opérer le ralentisse-

ment d'un jet de césium. On a constaté qu'un atome lent passant plus de temps dans une zone d'interrogation où règne un champ hyperfréquence, permet une mesure plus exacte de la fréquence de transition entre ses états hyperfins. Perfectionner les techniques de pompage optique, explorer d'autres avenues, voilà autant de façons de faire avancer les recherches sur les étalons en vue d'obtenir une plus grande exactitude et une plus grande stabilité. L'utilité de telles recherches n'est plus à démontrer. ■

### Références

1. ARDITI, M., HIRANO, I. et TOUGNE, P. « Optical Pumping of a Caesium Beam and Detection of the O-O "Clock" Transition », *J. Phys. D.*, 1978, vol. 11, p. 2465-2475.
2. AVILA, G., GIORDANO, V., CANDELIER, V., DE CLERCQ, E., THEOBALD, G. et CERZ, P. « State Selection in a Caesium Beam by Laser Diode Optical Pumping », *Phys. Rev. A*, 1987, sous presse.
3. JESPERSEN, J. et FRITZ-RANDOLPH, J. « From Sundials to Atomic Clocks », *Understanding Time and Frequency*, National Bureau of Standards, monographie n° 155, 1977.
4. MOCKLER, R.C. « Atomic Beam Frequency Standards », *Advances in Electronics and Electron Physics*, 1961, vol. 15, p. 1-71.



## HOEFER VOUS OFFRE UN NOUVEAU SUPER-LOGICIEL DE DENSITOMÉTRIE

Hoefer a encore amélioré son merveilleux logiciel de densitométrie qui permet d'effectuer, en quelques secondes, l'analyse poussée des balayages.

À l'aide du nouveau logiciel de densitométrie GS 360, d'un densitomètre à balayage du type Hoefer GS 300 et d'un ordinateur personnel IBM\*, HT\*, AT\* ou d'un ordinateur compatible,\*\* il est possible:

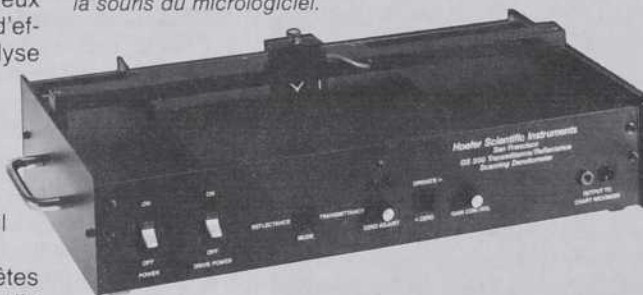
- d'identifier et de numéroter 30 crêtes par balayage, en commande manuelle ou automatique;
- d'intégrer les crêtes au moyen de trois modes, depuis une simple intégration sur un balayage à une intégration gaussienne pour les balayages complexes;
- de rajuster les lignes de base, d'arrondir les courbes et d'étendre les balayages dans le sens des X et des Y;
- d'afficher trois balayages instantané-

ment pour les comparer ou les soustraire l'un de l'autre;

- d'afficher, de mémoriser et d'imprimer les données sous forme de balayage ou de tableau.

Et pour faciliter le tout, le GS 360 se vend avec l'option d'une commande «souris»!

*\*\*L'ordinateur doit avoir au moins 512 K de RAM, une unité de disque, un logement de carte pleine grandeur et libre pour le convertisseur, une carte d'adaptation graphique et couleur ou l'équivalent et une porte série libre pour la souris du micrologiciel.*



**Utilisez votre logiciel de densitométrie GS 360 avec le densitomètre à balayage GS 300.**

- Le GS 300 a deux modes de fonctionnement, par transmission et réflexion, permettant de balayer un support transparent ou opaque coloré au moyen d'une teinture visible.

- Une fente fixe de 0,25 mm assure une excellente définition.
- Les deux vitesses permettent de balayer un gel de 20 cm en 1½ ou 3 minutes.
- Et, le GS 300 est vendu des centaines de dollars moins cher que la plupart des autres densitomètres!

\*Marque déposée



**HOEFER  
SCIENTIFIC  
INSTRUMENTS**  
P.O. Box 77387  
San Francisco, CA 94107



**Technical Marketing  
Associates Limited**

Head Office  
6620 Kitimat Road  
Unit 6  
Mississauga, Ontario  
L5N 2B8  
Telephone 416 826 7752

MONTREAL  
119 Place Frontenac  
Pointe-Claire, Québec  
H9R 4Z7  
514-695-2860

# Le point de vue d'une université

PAR MICHEL GERVAIS

Lorsqu'ils ont conçu et créé les collèges d'enseignement général et professionnel, la Commission Parent et le législateur ont voulu constituer un réseau d'établissements post-secondaires accessibles à la grandeur du Québec et qui seraient essentiellement voués, soit à la formation pré-universitaire, soit à la formation technologique et professionnelle. À aucun moment, ils n'ont envisagé la création d'établissements voués à la recherche. D'où vient donc qu'on se pose aujourd'hui la question de la place de la recherche dans les collèges ?

À mon avis, cela tient en grande partie à la valorisation récente de la recherche et à la prise de conscience en notre milieu du lien étroit qui relie le développement économique à l'innovation scientifique et technologique.

Cette évolution est à l'origine d'un fort mouvement de promotion des activités de recherche et développement (R-D) et d'appui au rapprochement entre l'enseignement supérieur et l'industrie. Conscients de leur potentiel à ce plan, les cégeps ne veulent pas rester à l'écart d'un mouvement aussi prometteur et ils acceptent difficilement de se voir cantonnés dans leur fonction traditionnelle d'enseignement. Ont-ils tort ou raison ?

## DES RÉPONSES INSUFFISANTES

Il serait certainement insuffisant de s'en tenir à une réponse d'ordre juridique et de dire que la recherche ne fait pas partie du mandat légal des cégeps. Car une loi, ça se change !

Serait-il plus satisfaisant de référer au fait que même le premier cycle universitaire n'a pas une vocation de recherche et d'en conclure *a fortiori* qu'il serait prétentieux pour l'ordre collégial de revendiquer une place dans le monde de la recherche ? Je ne le crois pas.

## UNE MISSION PREMIÈRE À NE PAS PERDRE DE VUE

Certes, la mission première des cégeps en est une de formation. Là-dessus, leur cas ne diffère pas de celui des ordres antérieurs du système d'éducation. Mais il ne diffère pas non plus des universités, qui ont la formation supérieure des personnes comme vocation première.

Seulement, dans le cas des universités, le lien entre recherche et formation est essentiel, puisqu'il n'est pas possible de former une personne au niveau avancé sans la faire participer elle-même au développement de nouvelles connaissances. Tel n'est pas le cas des cégeps, qui n'ont pas à dispenser une formation par la recherche, mais à assurer la formation fondamentale des étudiants ou leur spécialisation dans un domaine technologique ou professionnel.

Cela ne règle pas le problème de la place de la recherche au cégep, mais montre du moins que le rapport du cégep à la recherche ne sera jamais le même que celui de l'université. Cela fait ressortir aussi que les préoccupations nouvelles touchant la recherche au cégep ne doivent jamais faire oublier ou reléguer au second plan le souci d'assurer aux étudiants une formation de haute qualité à un moment crucial de leur évolution intellectuelle et personnelle.

## UN POTENTIEL ÉNORME À DÉVELOPPER

Ceci dit, il reste que si l'on se situe dans la perspective d'un objectif national de promotion de la recherche et de l'innovation scientifique et technologique, les cégeps recèlent un potentiel énorme qui n'est que trop peu exploité, malheureusement pour le Québec.

Quand on examine, par exemple, nos performances sur le plan national et, notamment, aux concours des grands organismes subventionnaires fédéraux, on constate, au moins pour certains de ces concours, que les chercheurs québécois ont un taux de succès comparable à celui de leurs collègues des autres provinces et spécialement de l'Ontario. La faiblesse de notre performance lors de ces concours vient de ce que le nombre de chercheurs québécois faisant des demandes de subvention est relativement inférieur à celui de nos voisins. Cela s'explique en grande partie par le fait que notre premier cycle universitaire est privé d'une année qui se trouve au cégep et que le nombre de professeurs d'université s'en trouve réduit d'autant. Comme les professeurs de cégep n'ont pas accès aux subventions des grands organismes comme le CRSNG, le nombre de demandeurs de subventions est donc diminué par rapport à celui de l'Ontario et notre performance relative se trouve affaiblie du même coup.

Ce n'est là qu'un aspect, mais un aspect important du manque d'exploitation du potentiel de recherche des cégeps. À l'Université Laval, nous avons tenté de pallier cet inconvénient, d'une part, en encourageant la participation de professeurs de cégep au sein d'équipes universitaires de recherche et, d'autre part, en introduisant dans nos statuts la catégorie de « professeur associé » qui permet, entre autres, au professeur de cégep ayant obtenu ce titre de devenir lui-même un demandeur de subventions.

Il importe de réaliser que, parmi les 12 000 professeurs de collège, 378 étaient détenteurs d'un doctorat selon les données de 1983-1984, alors que 833 autres poursuivaient des études de 3<sup>e</sup> cycle. S'ajoutent à cela les 1 576 détenteurs d'un diplôme de maîtrise et les 1 919 autres qui poursuivent des études à ce niveau. Le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science prévoit qu'en 1988-1989, si ceux qui ont entrepris des études les complètent, « près de 5 000 enseignants des collèges seraient maîtres ou docteurs, soit près de 40 p. cent du corps enseignant des collèges publics. »<sup>1</sup>

Le Québec peut-il se permettre de se priver d'un tel potentiel ? Il me semble, au contraire, que tout en assurant l'excellence de l'enseignement collégial, il y aurait moyen de tirer davantage parti de ces ressources humaines qualifiées pour la recherche.

## DES RESSOURCES PHYSIQUES IMPORTANTES

En plus de pouvoir compter sur un personnel de plus en plus compétent dont une part croissante semble apte à faire de la recherche, les cégeps disposent bien souvent d'équipements scientifiques de grande valeur qui font même l'envie de nombreux départements universitaires. Ils ont su, en effet, profiter au maximum d'importants programmes gouvernementaux.



Michel Gervais est recteur de l'Université Laval.

PHOTO LOUISE LEBLANC

## LA RECHERCHE DANS LES COLLÈGES

comme ceux de la Caisse d'accroissement des compétences professionnelles, des Centres spécialisés ou du Centre québécois pour l'informatisation de la production. Il n'est pas pensable que de l'équipement de si grande valeur et qui se situe à la fine pointe du développement technologique ne soit pas utilisé au maximum.

### UN RÉSEAU DE RELATIONS AVEC LES ENTREPRISES

On sait en outre que, par le biais de leurs spécialités sur le plan de l'enseignement technologique et professionnel, les cégeps sont bien insérés dans l'économie des régions qu'ils desservent. Plusieurs programmes professionnels comportent d'ailleurs des activités se déroulant en milieu de travail, au sein des entreprises régionales. À travers ces spécialités, ces programmes et ces activités, se sont tissés des réseaux de relations fécondes entre les cégeps et les entreprises régionales, notamment les PME. En plusieurs cas, l'entreprise est devenue un lieu de formation, tandis que le cégep devenait le centre de compétence auquel on se réfère pour résoudre des problèmes techniques qui se posent à l'entreprise dans sa vie quotidienne.

### UTILITÉ DE CERTAINES PRÉCISIONS SÉMANTIQUES

Ceci m'amène à suggérer dans toute cette question ce que Valéry appelait un « nettoyage de la situation verbale ». Je ne suis pas sûr que certaines précisions sur les divers sens du mot « recherche » n'aideraient pas à vaincre bien des résistances dans ce dossier.

La revue *Les Affaires*<sup>2</sup> rapportait récemment les propos d'un coordonnateur de centre spécialisé qui aurait déclaré que la recherche appliquée devrait être confiée au cégep et non à l'université, celle-ci ayant avantage à s'en tenir à la recherche fondamentale. Pris au pied de la lettre, de tels propos sont certainement excessifs et ne tiennent pas compte de la place essentielle de la recherche appliquée dans maints programmes universitaires non plus que des réalisations majeures des universités à ce chapitre.

Il convient cependant d'aller plus loin et de porter attention à la suite des propos de ce responsable et aux raisons qu'il invoque : « Il faut plutôt développer les applications, trouver le procédé qui va permettre de faire telle ou telle pièce au meilleur coût. Nous croyons que le réseau collégial est mieux placé pour faire de la recherche appliquée, car nous sommes plus près des besoins spécifiques des entreprises et nous sommes implantés dans les régions. »

Il est clair que par « recherche appliquée », ce qui est ici visé, c'est une démarche de solution de problèmes que l'on range habituellement sous le vocable « développement ». Et il est bien possible que, pour les raisons invoquées, le cégep soit mieux placé que l'université pour réussir ce type de démarche et pour répondre à certains besoins de la petite et moyenne entreprise régionale. Il n'en demeure pas moins qu'une certaine précision sémantique s'impose pour mieux articuler, le cas échéant, les différents types de collaboration sur le plan de la recherche.

### CONCLUSION

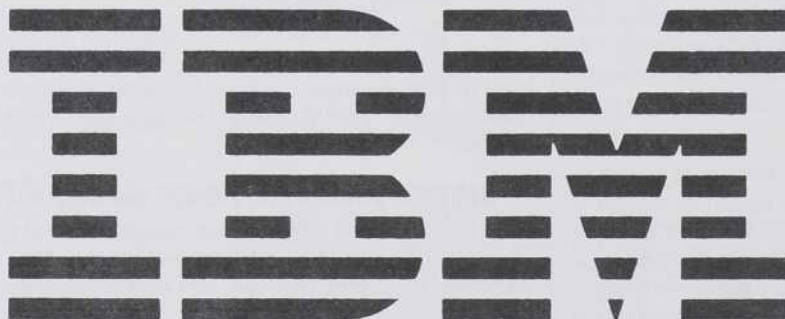
Je conclurai en proposant ce qui a été l'attitude de l'Université Laval dans ce dossier sur lequel nous réfléchissons encore.

Fondamentalement, nous estimons que l'avenir de l'enseignement supérieur au Québec appelle un rapprochement des universités et des cégeps.

Dans cet esprit, nous avons donc choisi la voie de l'association et du partenariat avec les cégeps, spécialement ceux de la région 03, et ce, entre autres, au nom du développement et de la recherche. Pour modestes qu'ils soient, les résultats obtenus jusqu'ici sont positifs et prometteurs, et nous pensons qu'au-delà des bénéfices que peuvent en retirer l'université et les cégeps, c'est surtout la société qui sortira gagnante d'une telle coordination. ■

### Sources

1. *Fine Pointe*, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science, septembre 1987, vol. 3, n° 2.
2. *Les Affaires*, septembre 1987.



# Le groupe ECOBES : un témoin de la recherche subventionnée dans les collèges

PAR MICHEL PERRON, SUZANNE VEILLETTE, GILLES HÉBERT ET BURKHARD ORTMANN

Le groupe d'étude sur les conditions de vie et les besoins en santé (ECOBES) du Collège de Jonquière a été formé en 1982 et il aura fallu la convergence de plusieurs facteurs pour en assurer le développement. D'abord, c'est à la suite d'une demande formelle d'un organisme régional, la Corporation de recherche et d'action sur les maladies héréditaires (CORAMH)<sup>1</sup>, que deux sociologues du Collège de Jonquière entreprirent les premières démarches en vue de former une équipe de recherche. Heureux concours de circonstances, le Fonds FCAR (Fonds pour la formation de chercheurs et l'aide à la recherche) annonça au même moment la création d'ACSAIR<sup>2</sup>, un nouveau programme de subventions spécifiquement destiné aux chercheurs de collèges. Stimulé et encouragé par l'obtention d'une première subvention, le groupe ECOBES se lança dans une vaste étude sur la dystrophie myotonique, maladie héréditaire incurable très fréquente au Saguenay—Lac-Saint-Jean.

Les travaux se sont poursuivis au cours des cinq dernières années, grâce notamment à l'appui très significatif du Fonds FCAR. Pendant la même période, la Fondation Asselin<sup>3</sup> de Jonquière a subventionné principalement l'achat de tous les équipements informatiques nécessaires à l'implantation du laboratoire de recherche. Le groupe a pu ainsi élargir ses activités, entreprendre d'autres travaux et intégrer de nouveaux chercheurs.

À la lumière de cette expérience concrète vécue dans un collège situé loin des grands centres, nous voulons témoigner ici des conditions réservées aux chercheurs du réseau collégial. En prenant pour exemple le cheminement et les réalisations d'ECOBES, nous décrirons d'abord l'essentiel du défi que le groupe cherche à relever. Nous dégagerons ensuite un certain nombre d'observations touchant la pratique de la recherche subventionnée dans le réseau collégial. Soulignons qu'une telle réflexion, dans la mesure où elle est alimentée par notre propre expérience, a essentiellement une valeur de référence. Pour prolonger ce débat, amorcé il y a quelques années par la publication du Livre blanc sur la recherche scientifique<sup>4</sup>, il faudra donner la parole à d'autres chercheurs du réseau.

## LE GROUPE ECOBES : RÉALISATIONS ET DÉFI

Le groupe ECOBES réunit actuellement quatre professeurs du Collège de Jonquière, un neurologue de l'Hôpital de Chicoutimi et un technicien en informatique. Notre équipe s'intéresse tout particulièrement à la sociologie médicale, à la géographie de la santé et à la cartographie assistée par ordinateur. À l'aide d'une approche multidisciplinaire, nous voulons contribuer à améliorer la connaissance de certains problèmes de santé qui affectent la population de notre région, par exemple les maladies héréditaires. À cette fin, nous travaillons en étroite collaboration avec certains établissements de santé et avec les différents organismes oeuvrant auprès des populations malades.

Déjà, nous avons obtenu des résultats concrets. Ainsi, nous avons publié, en décembre 1986, un rapport de recherche intitulé « La dystrophie myotonique : étude épidémiologique et socio-géographique au Saguenay—Lac-Saint-Jean ».

La réalisation de cette étude a nécessité l'élaboration d'un cadre théorique original conduisant à ce que nous appelons une « approche sociogénétique ». Une autre contribution de notre projet est de définir la place et l'utilité des enquêtes sur le terrain menées auprès de populations malades, dans le vaste effort scientifique consenti pour étudier le fardeau génétique humain.

Au cours de l'année 1986, nous avons entrepris un nouveau projet : l'étude sociogéographique de trois maladies neuromusculaires héréditaires au Saguenay—Lac-Saint-Jean. Ces travaux constituent un prolongement et un élargissement du rapport déjà publié. De plus, nous nous sommes associés à un groupe de chercheurs du Collège de Chicoutimi en vue de mener une recherche sur l'éthique et les interventions sociogénétiques. Subventionnée par le Conseil de recherches en sciences humaines du Canada (une subvention de 163 000 \$ vient d'être octroyée dans le cadre du programme de recherche stratégique sur la science, la technologie et les valeurs humaines), la recherche porte tout particulièrement sur le dépistage à l'aide de marqueurs génétiques. Par ailleurs, le groupe mène actuellement une étude commanditée, visant à connaître le profil sociospatial de la population d'un centre local de services communautaires (CLSC) en implantation. Les chercheurs du groupe collaborent enfin à un autre projet de recherche : le projet IMAGE de l'INRS-Santé, portant sur la maladie d'Alzheimer.

*Michel Perron et Suzanne Veillette dirigent le groupe ECOBES du Collège de Jonquière. Gilles Hébert et Burkhard Ortmann font aussi partie du groupe.*



*Les chercheurs du groupe ECOBES : (de gauche à droite) Guy Gravel, technicien en informatique ; Burkhard Ortmann, géographe ; Suzanne Veillette, sociologue ; Dr Jean Mathieu, neurologue ; Gilles Hébert, mathématicien-analyste ; Michel Perron, sociologue.*

## LA RECHERCHE DANS LES COLLÈGES

### LA RECHERCHE DANS LES COLLÈGES : UNE PRATIQUE À CONSOLIDER

La recherche n'étant pas encore reconnue comme faisant partie intégrante de la mission des collèges<sup>5</sup>, le premier défi que le groupe ECOBES doit relever est de prouver que la recherche subventionnée, portant par exemple sur des questions reliées à la santé, est possible dans le réseau des collèges. Nous voulons aussi démontrer qu'en dépit de moyens relativement modestes, les travaux réalisés peuvent avoir une véritable portée sociale et des retombées scientifiques importantes. Ces questions ont d'ailleurs été maintes fois soulevées au cours des dernières années lors de colloques et dans plusieurs publications<sup>6</sup>.

Rappelons d'abord certaines des principales difficultés rencontrées par les chercheurs. Au risque de simplifier un peu la situation, on serait tenté de la résumer ainsi : les recherches en cours sont menées par des chercheurs qui n'ont pas de statut officiel et qui disposent de peu de ressources matérielles et financières. La question du statut de la recherche est fondamentale et elle renvoie à plusieurs dimensions : l'accès limité et difficile aux organismes subventionnaires québécois et fédéraux, la reconnaissance publique à l'égard des travaux réalisés, la concertation et la collaboration avec les chercheurs du milieu universitaire. La question des ressources, quant à elle, permet de souligner d'autres difficultés liées intimement au développement de la recherche au collégial : le coût de la libération<sup>7</sup> d'une partie suffisante de la tâche d'enseignement des professeurs affectés à un projet, l'absence de budgets spécifiques consacrés à ce type d'activités, la

difficulté de rallier la communauté de pairs et les réseaux facilitant la diffusion des résultats de recherche.

Le contexte n'est donc pas toujours favorable, il faut l'admettre. Nous avons néanmoins choisi, contrairement à plusieurs autres chercheurs du collège, de rester maîtres d'oeuvre de nos travaux et de poursuivre le développement de notre laboratoire. Nous tenons à sauvegarder l'autonomie de l'équipe, pour avoir un meilleur contrôle sur le contenu et sur le déroulement de nos travaux. Pour y parvenir, nous avons dû mettre en place un ensemble de moyens essentiels à notre production scientifique. Il a fallu voir à l'implantation d'un comité de déontologie, s'abonner à certaines revues, chercher du financement pour l'achat des ordinateurs et des logiciels. De plus, la diversification des sources de financement pour les dépenses de fonctionnement a été une préoccupation constante depuis le début. Au soutien financier provenant d'organismes subventionnaires, s'est ajouté le support d'organismes privés et l'obtention de contrats de recherche. L'édition et l'impression de notre rapport de recherche, par exemple, ont été entièrement subventionnées par la Fondation Asselin et notre collège.

En cours de route, nous nous sommes bâti un réseau de collaborateurs dans les milieux médicaux et universitaires<sup>8</sup>. L'expérience nous a appris que c'est un défi considérable de chercher à obtenir le support de la communauté scientifique, et par là, l'accès aux subventions et aux réseaux de publication, tout en cherchant à éviter l'assimilation aux équipes déjà bien implantées. C'est en faisant la démonstration de l'originalité de nos travaux qu'il a été possible de trouver les ajustements nécessaires.

## Une garantie de développement

PAR ANGÈLE GRÉGOIRE

*Angèle Grégoire est directrice des Affaires pédagogiques et étudiantes à la Fédération des cégeps.*

**L**e potentiel et les spécialisations de recherche dans les collèges assurent une garantie favorisant le développement de l'enseignement collégial. Plus encore, la recherche au collégial, si elle est encouragée et soutenue, se révèle un important facteur d'émulation auprès de l'ensemble du personnel. Au tournant de leur 20 ans, les cégeps sont conscients de la force de leur expérience ; ils tablent sur les assises de la recherche et du perfectionnement pour se donner un nouvel élan et consolider les acquis de l'enseignement collégial.

Dans cette perspective, la Fédération des cégeps adoptait en janvier 1987 des recommandations sur l'orientation et le développement de la recherche dans les collèges. La Fédération entend poursuivre et renforcer ses anciens objectifs et ajouter de nouvelles demandes axées sur l'expansion des activités de recherche dans les collèges.

La reconnaissance et l'officialisation de la recherche dans la législation des collèges de même que l'intégration des activités de recherche dans la tâche d'enseignement sont et continueront d'être un cheval de bataille pour le réseau collégial. L'appartenance à l'enseignement supérieur, l'intégration du cégep à son milieu, la nécessité d'assurer un niveau d'excellence à cet ordre d'enseignement sont autant de raisons pour reconnaître de droit et non seulement de fait une mission de recherche aux collèges.

Bien qu'un nombre restreint d'enseignants soit engagé activement dans des projets de recherche, le nombre des chercheurs et la qualité des recherches ne cessent de s'accroître. Cette émergence des dernières années a permis de mettre en lumière le potentiel du personnel des collèges ayant la compétence virtuelle pour se consacrer à des activités de recherche.

Nos recherches, bien qu'elles débouchent également sur des apports disciplinaires, sont avant tout appliquées. Ainsi notre intérêt pour des problèmes régionaux, par exemple les maladies neuromusculaires au Saguenay—Lac-Saint-Jean, est un atout majeur dans la démonstration de l'originalité et de la pertinence de nos travaux. La recherche appliquée et le développement technologique<sup>9</sup> génèrent certainement des activités reliées à l'expansion des collèges et à leur mission, tout particulièrement dans les régions situées loin des grands centres.

Le colloque ayant pour thème « La recherche au collégial », tenu en juin dernier, a d'ailleurs pavé la voie à de nouveaux horizons pour la recherche scientifique dans les cégeps. À cette occasion, les discussions ont porté sur les conditions de développement de la recherche dans le réseau des cégeps. Une retombée concrète : ce colloque s'est ajourné sur la création d'une association de chercheurs et de chercheuses, qui devra veiller à la reconnaissance de ses membres et au soutien de leurs activités.

Ce rapide tour d'horizon de l'expérience du groupe ECOBES permet, nous l'espérons, de jeter un peu de lumière sur la situation des chercheurs en milieu collégial et de questionner le milieu scientifique sur la place à réserver aux collèges en matière de recherche. Loin d'épuiser le sujet, nous avons cherché surtout à mieux poser le problème à partir de notre propre cheminement. Si notre propos visait à attirer l'attention sur les conditions concrètes du métier de chercheur, il est loin d'épuiser un sujet aussi vaste et complexe que celui de la recherche subventionnée dans le réseau des collèges. Compte tenu qu'il y a plus de 10 000

enseignants et enseignantes dans les collèges, dont au moins 20 p. cent détiennent une maîtrise ou un doctorat, une question fondamentale se pose : dans le vaste effort consenti pour faire émerger le potentiel scientifique québécois, peut-on vraiment se passer de la contribution des chercheurs et chercheuses du réseau collégial ? ■

### Références

1. À la suite d'un dépistage génétique, CORAMH souhaitait la réalisation d'une enquête pour connaître les conditions de vie et les besoins des malades.
2. Programme d'aide aux chercheurs des collèges et aux chercheurs sans affiliation institutionnelle reconnue.
3. Fondation pour l'avancement de l'éducation et de la recherche inc.
4. GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, *Un projet collectif*, énoncé d'orientation et plan d'action pour la mise en œuvre d'une politique québécoise de la recherche scientifique, livre blanc, 1980, 106 pages.
5. Pourtant des recommandations du Conseil des collèges et de la Fédération des cégeps ont été formulées pour modifier la mission des collèges en ce sens (voir *L'orientation de la recherche dans les collèges*, avis au ministre de l'Enseignement supérieur et de la Science, Conseil des collèges, mai 1987, 55 pages ; *La recherche au collégial*, recommandations sur l'orientation et le développement de la recherche dans les collèges, Fédération des cégeps, janvier 1987, 31 pages).
6. Plusieurs chercheurs de collège ont déjà fait connaître leur point de vue. Voir à ce sujet la revue *Prospectives*, avril-octobre-novembre 1985 et la revue *Cégepropos*, Fédération des cégeps, mars 1987, n° 186.
7. La tâche moyenne d'enseignement dépasse actuellement 15 heures/semaine sur une base annuelle, au Collège de Jonquière.
8. Notamment à l'Université Laval, à l'Université de Montréal et à l'Université du Québec à Chicoutimi.
9. Un centre de production automatisée est également implanté au Collège de Jonquière.

Ces constats mettent en évidence la nécessité d'augmenter les postes garantis à des fins de recherche, d'élargir et de diversifier l'accès aux différents programmes de recherche. Au niveau gouvernemental autant qu'au niveau local, il est recommandé que l'on favorise « l'environnement-recherche ». Différents moyens sont suggérés. Mentionnons l'octroi d'une subvention aux collèges qui leur permettrait de mieux épauler les chercheurs à l'intérieur d'infrastructures de recherche. Il faut souligner l'importance accordée aux recommandations touchant la diffusion et la publication des résultats de recherche, l'information sur l'inventaire des chercheurs et des projets de recherche, de même que l'accès aux répertoires d'organismes subventionnaires et aux répertoires de recherche. La responsabilité du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science, comme maître d'œuvre de la recherche collégiale, est indubitable. Au niveau institutionnel, on suggère aux collèges un engagement plus large dans le domaine des politiques de recherche, des plans de développement et des fonctions d'encadrement.

Les chercheurs des collèges se sont affirmés dans trois types de recherche : pédagogique, technologique et disciplinaire. On recommande de maintenir ces trois grands axes du développement de la recherche au collégial. Incidemment, la Fédération des cégeps a aussi fourni des avis circonstanciés sur le programme ACSAIR (Aide aux chercheurs des collèges et aux cher-

cheurs sans affiliation institutionnelle reconnue) et sur le plan de développement du fonds FCAR (Fonds pour la formation des chercheurs et pour l'aide à la recherche).

L'interaction entre le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science et la Fédération des cégeps, de même que des collaborations accrues avec les universités et les centres de recherche, se présentent comme des atouts indispensables qui contribueront à l'essor et au dynamisme de la recherche. Dans la même foulée, les centres spécialisés des collèges seront appelés de plus en plus à jouer un rôle important dans le domaine de la recherche technologique, de concert avec leur milieu régional.

En juin dernier, un colloque sur la recherche au collégial réunissait près de 400 personnes. Nous avons entendu là les désirs des chercheurs, leur impatience d'être mieux soutenus, leur foi dans leurs projets et leur détermination à les poursuivre, malgré le contexte de l'isolement. Même si le ministre de l'Enseignement supérieur et de la Science s'est montré prudent dans ses engagements et dans ses orientations quant à la recherche au collégial, il faudra que les cégeps réitèrent leurs positions et assurent un suivi aux différentes recommandations qu'ils ont adoptées. Les cégeps doivent agir de façon que la recherche poursuive son évolution et que ses retombées provoquent un impact réel sur le développement du réseau collégial. ■

# Spar Aérospatiale: les divisions de Sainte-Anne-de-Bellevue

PAR RAYNALD PÉPIN

L'idée était brillante. En 1945, Arthur C. Clarke, l'auteur de « 2001, l'Odyssée de l'espace », suggérait l'utilisation de satellites géostationnaires alimentés à l'énergie solaire pour assurer les communications radio entre des endroits éloignés sur la surface de la Terre. Toutefois, la technologie nécessaire n'était pas disponible à cette époque. Elle l'est aujourd'hui, grâce aux progrès dans les domaines de l'électronique et des lanceurs spatiaux. Cette technologie fait même la prospérité de Spar Aérospatiale, chef de file canadien dans le secteur des télécommunications par satellite.

Spar est née en 1967, en Ontario. Elle était issue de la division *Special Projects and Applied Research* (SPAR) dont voulait se départir De Havilland Aircraft. La jeune entreprise achetait dix ans plus tard des installations à Sainte-Anne-de-Bellevue, de la compagnie RCA. Possédée aujourd'hui à 100 p. cent par des partenaires canadiens, Spar comprend six filiales au Canada et deux aux États-Unis. Les divisions ontariennes oeuvrent dans les secteurs de l'aéronautique, de la défense et de la robotique (c'est à Toronto qu'a été construit le bras télémanipulateur de la navette spatiale). Les divisions de Sainte-Anne-de-Bellevue, celle des

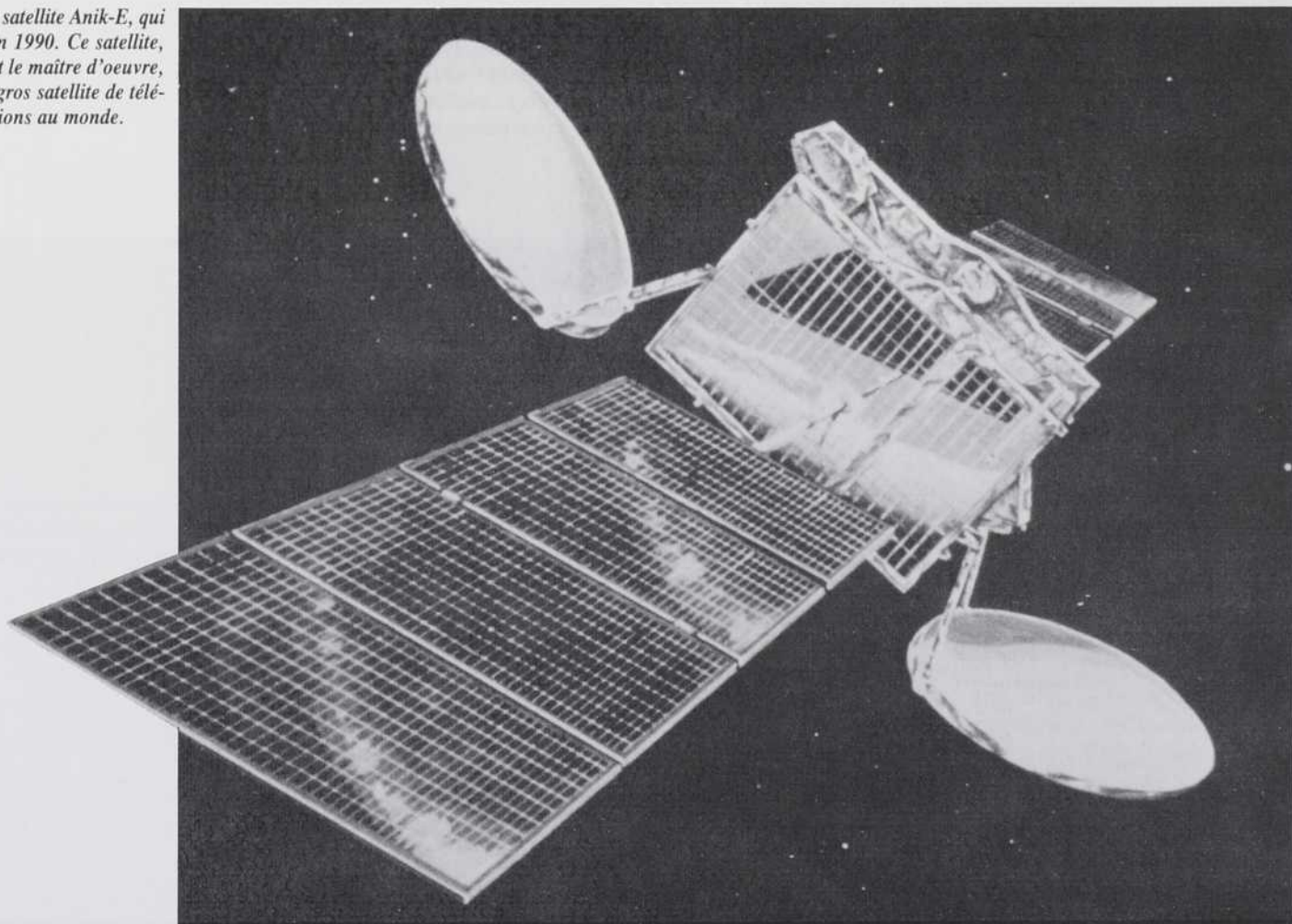
satellites et systèmes spatiaux ainsi que celle des communications, s'occupent toutes deux de télécommunications. Elles regroupent le tiers des 2 000 employés de la compagnie et réalisent près de la moitié du chiffre d'affaires total (80 millions sur 190 millions de dollars en 1986). La première division réalise des systèmes destinés à voyager dans l'espace tandis que la seconde fabrique des systèmes qui restent sur la Terre.

## TOUJOURS MIEUX !

« Ici, nous ne faisons pas de la recherche pure, explique Réal Poitras, chef du programme de R-D pour la Division des satellites et systèmes spatiaux. Notre recherche doit répondre aux besoins du marché et elle doit même prévoir ces besoins. Pour obtenir les contrats dans ce secteur très compétitif, il faut non seulement rester dans la course, mais aussi devancer les autres. » Les autres, ce sont les compagnies américaines Hughes Aircraft et RCA, l'Agence spatiale européenne, etc.

La recherche chez Spar repose sur un leitmotiv constant : toujours mieux. On cherche sans cesse à concevoir des émetteurs plus puissants, de meilleures antennes, des systèmes électroniques plus performants, des composantes plus légères, plus dura-

Maquette du satellite Anik-E, qui sera lancé en 1990. Ce satellite, dont Spar est le maître d'oeuvre, sera le plus gros satellite de télécommunications au monde.



bles, plus fiables. Il faut aussi construire de meilleurs satellites ou stations terrestres, à moindre prix et mis en exploitation plus rapidement.

C'est en raison de la complexité des systèmes de télécommunications que les recherches dans ce secteur couvrent plusieurs domaines. La prochaine fois que vous téléphonerez à un ami à Vancouver, pensez-y... ou plutôt, vous n'y penserez pas, car tout semble se faire si naturellement ! Votre appel est d'abord acheminé par un faisceau hyperfréquence du central téléphonique à une station terrestre hors de la ville. Là, le signal module, comme pour la radio, une onde porteuse ; celle-ci est d'abord amplifiée avant de passer dans un convertisseur de fréquences qui en hausse la fréquence à 6 000 MHz, la fréquence d'émission. Un amplificateur de grande puissance alimente alors l'antenne qui, au moyen de son réflecteur parabolique, dirige le signal vers le satellite. Celui-ci (un Anik-D, par exemple) capte le signal affaibli par l'une de ses antennes, en abaisse la fréquence à 4 GHz avant l'étape d'amplification (source d'énergie : les panneaux solaires du satellite) et réémet ce signal vers la Terre par une autre antenne. À Vancouver, le réflecteur d'une autre station capte le signal, dont la puissance est maintenant très faible (de l'ordre du milliardième de watt). Ce signal est amplifié, filtré, démodulé et enfin restitué au système téléphonique. Suivent des filtres, d'autres amplificateurs et enfin un démodulateur qui restitue le signal original au système téléphonique et... à votre correspondant !

La réalité est encore un peu plus complexe. Par exemple, vous n'êtes sûrement pas la seule personne qui est en train de téléphoner à Vancouver. Si chaque conversation était transmise par des ondes porteuses différentes, il y aurait des problèmes d'interférence. Le multiplexage, qui constitue la solution à ce problème, consiste à regrouper les différents signaux sur une « bande porteuse » ou canal ayant une largeur de 36 MHz. Une telle bande peut transmettre deux canaux de télévision, des centaines de conversations ou plusieurs canaux de données numériques. La bande dite de 6 GHz, utilisée pour les signaux allant de la Terre au satellite, s'étend de 5925 à 6425 MHz et peut contenir plusieurs bandes de 36 MHz. Elle est couplée à une bande de 4 GHz pour éviter que les signaux reçus et émis par le satellite n'interfèrent. On utilise la fréquence de 4 GHz pour la transmission satellite-Terre parce que les signaux de plus faible fréquence sont moins susceptibles d'être atténués par la pluie. En effet, un satellite ne peut émettre qu'avec une faible puissance, de 10 à 50 W par canal, contrairement aux stations terrestres, dont la puissance se chiffre en kilowatts.

Deux bandes de fréquence sont actuellement réservées internationalement aux télécommunications, au sol ou dans l'espace : la bande C, la plus utilisée, correspond aux fréquences 6 et 4 GHz ; la bande KU monopolise les 14 et 12 GHz. Le satellite canadien Anik-E, dont Spar est le maître d'oeuvre et qui sera le plus gros satellite de télécommunications au monde quand il sera lancé en 1990, comprendra 24 canaux dans la bande C et 16 dans la bande KU.

## LES STATIONS AU SOL

« Spar a déjà vendu des réseaux complets de stations terrestres à des pays comme la Chine et l'Indonésie. Toutefois, nous

concevons, mettons au point et produisons surtout de l'équipement pour le traitement du signal ou le contrôle du réseau, souligne Bill Corless, directeur des projets spéciaux à la Division des communications. Nous nous occupons, en fait, de tout ce qui concerne l'électronique des stations terrestres (modems, convertisseurs de fréquence, amplificateurs, filtres, contrôles, etc.). Les items spécialisés, comme les amplificateurs de puissance ou les antennes au sol (dont le diamètre peut atteindre 32 m, comme à la station de Weir dans les Laurentides), sont produits par des firmes extérieures selon nos spécifications. »

Les travaux de recherche en cours dans cette division visent à rendre possible l'adaptation des télécommunications par satellite au plus grand nombre de situations possible. Par exemple, les signaux numériques vont tranquillement supplanter les signaux analogiques actuellement utilisés. Au lieu de multiplexage de fréquences, les signaux numériques doivent utiliser la technologie de communication à accès multiple par répartition dans le temps (AMRT). Celle-ci permet à plusieurs stations terrestres de partager un même canal du satellite. Chaque station émet ses données ou signaux durant un certain intervalle de temps bien précis. Spar a ainsi mis au point des équipements AMRT fonctionnant à 120 Mbits/s pour Intelsat, le consortium international qui gère les communications internationales effectuées par satellite. « Nous développons ainsi, ajoute Bill Corless, un nouveau produit appelé TSAT (pour *TI Small Aperture Terminal*), une station terrestre de petite taille adaptée aux besoins des banques, chaînes de magasins, etc., qui désirent transmettre des données numériques rapidement. »

Spar s'intéresse beaucoup aux petites stations. « Nous savons qu'il y a une importante demande pour des stations peu coûteuses, fonctionnant avec un ou deux canaux seulement, explique Bill Corless. De telles stations exploitées dans la bande C (diamètre de l'antenne : 3 à 5 m) seraient fort utiles pour assurer les communications dans les pays en voie de développement. En Amérique du Nord, si ces stations utilisaient la bande KU (diamètre de l'antenne : 1 à 2 m), elles pourraient être installées au coeur même des villes sans problèmes d'interférence. »

Spar travaille aussi à la conception et au développement de sous-systèmes du programme MSAT (*Mobile Satellite System*), entrepris conjointement par les États-Unis et le Canada. MSAT assurera les communications avec les véhicules, avions et navires en régions éloignées. Le système fonctionnera à une fréquence plus basse que celle de la bande C (la technologie est ainsi plus simple et plus économique), avec un nouveau type d'antenne non parabolique qui fait actuellement l'objet de recherches.

## DES RELAIS HAUT PLACÉS

« Dans un avenir prochain, poursuit Bill Corless, le satellite traitera et régénérera les signaux avant de les amplifier, réduisant ainsi le coût des stations au sol. » Pour le moment, le satellite n'est qu'un intermédiaire plus ou moins passif entre les diverses stations terrestres. Il reste quand même un dispositif complexe et coûteux qui doit être extrêmement fiable. « Pour éviter les défaillances dans l'espace, nous effectuons des tests intensifs sur toutes les composantes », souligne Réal Poitras de la Division des satellites et systèmes spatiaux. Ces tests sont efficaces : la plu-

part des satellites mettent fin à leurs opérations par manque de carburant (celui qui alimente les fusées servant à repositionner le satellite sur son orbite de temps en temps) et non à cause de déficiences électroniques ou autres. La durée de vie d'un satellite de télécommunications varie de sept à dix ans.

Chez Spar, la recherche sur les satellites porte surtout sur les antennes et l'électronique. « *Les antennes doivent être redessinées pour être adaptées à chaque satellite, explique Réal Poitras, selon sa position, la forme des faisceaux d'ondes et les régions à couvrir.* » Ici aussi, chaque progrès compte : sur le satellite INMARSAT, par exemple, Spar a pu éliminer tout guide d'onde à l'intérieur des antennes, d'où un gain de masse appréciable.

L'amplification dans les répéteurs à bord du satellite s'effectuait jusqu'à récemment avec des tubes à ondes progressives (ressemblant aux lampes des anciennes radios), éléments lourds et de fiabilité médiocre. « *Depuis quelques années, nous avons développé des amplificateurs de puissance électronique, rapporte Roger Bélanger, responsable des systèmes de communications pour Anik-E. Ce progrès a été rendu possible par la mise au point (faite ailleurs) de transistors efficaces aux fréquences micro-ondes.* » Ces amplificateurs seront utilisés pour la première fois au Canada sur Anik-E.

Spar participe, avec d'autres partenaires gouvernementaux et privés, à la mise au point et à la fabrication de divers satellites : MSAT, qui devrait être lancé en 1992 ; SARSAT (*Search and Rescue Satellite*), qui fait partie d'un système de repérage et de sauvetage lors d'accidents (avions, bateaux, etc.) ; RADAR-SAT, qui effectuera de la télédétection radar ; etc. Anik-D, Brazilsat (fourni au Brésil) et Anik-E sont les premiers satellites dont Spar supervise d'un bout à l'autre la mise au point.

Par ailleurs, il y a un an, Spar et l'École polytechnique de Montréal ont conclu une entente visant la formation d'ingénieurs en technologie spatiale (de telles ententes existaient déjà avec l'Université McGill et l'Université de Waterloo). Durant leurs deux dernières années d'études, les candidats suivront quelques cours et feront un stage de quatre mois chez Spar. Heureuse conséquence : on parlera sûrement un peu plus français dans les ateliers de Sainte-Anne-de-Bellevue...

Le gouvernement fédéral et Spar se sont entendus l'an dernier pour injecter chacun plusieurs dizaines de millions de dollars, d'ici cinq ans, dans des projets de R-D visant à renforcer la position de Spar sur les marchés internationaux et aussi à favoriser l'émergence de sous-traitants canadiens dans le domaine des télécommunications par satellites. Voilà qui va assurer, si besoin était, un bel avenir aux installations de l'ouest de l'île. ■

## Conseil de la science et de la technologie

### publications récentes

*Science et technologie - CONJONCTURE 1985* (avril 1986)  
Vol. 1 : Les enjeux (63 p.) ; Vol. 2 : La situation (125 p.)

*L'emploi des diplômés en sciences sociales et humaines dans l'entreprise, Avis au ministre de l'Enseignement supérieur et de la Science* (64 p., mars 1986)

*La diffusion de la culture scientifique et technique au Québec, par Jean-Marc Gagnon et Lise Morin* (123 p., mars 1986)

*La collaboration université-entreprise et le financement de la recherche universitaire, Mémoire à la Commission de l'éducation* (30 p., septembre 1986)

*La participation des femmes en science et technologie au Québec, Avis au ministre de l'Enseignement supérieur et de la Science* (102 p., septembre 1986)

*Recherche et formation en biologie végétale au Québec, par Pierre Morisset et Rose-Marie Pelletier* (130 p., novembre 1986)

*L'organisation de la politique scientifique et technologique du Québec, document de réflexion* (31 p., novembre 1986)

*Les conséquences de la décentralisation régionale des activités de R-D, par Robert Lacroix et Fernand Martin* (157 p., juin 1987)

*Sciences sociales et transformations technologiques, les Actes d'un colloque* (305 p., juin 1987)

**On peut se procurer ces publications gratuitement au :**

Conseil de la science et de la technologie  
2050, boulevard St-Cyrille Ouest, 5<sup>e</sup> étage  
Ste-Foy (Québec) G1V 2K8

**Pour tout renseignement :**  
Québec : (418) 643-6179

Québec 

# La recherche en Suède : l'exemple d'un petit pays

PAR MICHEL GROULX

**S**i on vous demandait d'associer les mots « science » et « Suède », l'image qui vous viendrait probablement à l'esprit serait celle des prix Nobel. Quel chercheur n'a jamais rêvé de se voir décerner un jour l'illustre distinction !

Pourtant, vous vous feriez ainsi une idée bien sommaire de la contribution de la Suède à l'effort de recherche mondial. Car ce petit pays d'une superficie équivalant au vingtième de celle du Canada et d'une population de 8,5 millions d'habitants fait preuve d'un dynamisme surprenant en matière de recherche scientifique. La proportion du produit intérieur brut (PIB) affectée à la R-D atteint 2,5 p. cent. La Suède occupe ainsi le quatrième rang au monde, après les É.-U., le Japon et l'Allemagne de l'Ouest (au Canada, la proportion est de 1,4 p. cent). Patrie de Linnée, d'Angström et d'Arrhénius, la Suède a vu s'édifier bien des fondements de la chimie et de la biologie modernes. L'ultracentrifugeuse, l'électrophorèse et la chromatographie, dont bien peu de laboratoires pourraient aujourd'hui se passer, ont été inventées en Suède. On doit à ce pays l'une des découvertes les plus prometteuses de la pharmacologie, celle des prostaglandines, ainsi que la mise au point des robots industriels probablement les plus avancés au monde et plusieurs autres réalisations.

## SECTORISATION, DÉCENTRALISATION ET PLURALITÉ DES SOURCES DE FINANCEMENT

Ces succès, la Suède les doit sans doute en partie à sa population, qui est la plus instruite d'Europe (35 p. cent des Suédois détiennent un diplôme universitaire, contre 25 p. cent des Français), et en partie aussi à une économie prospère ; le niveau de vie des Suédois se trouve souvent, en effet, en tête des statistiques mondiales. Mais elle les doit aussi à une politique scientifique élaborée, bien articulée, constamment réévaluée et étroitement imbriquée dans une charpente politique qui est devenue le modèle même de la social-démocratie.

Pour ce qui touche la coordination de cette politique, le Parlement (le Riksdag) ainsi que le gouvernement élu jouent tous deux un rôle important et ils coopèrent étroitement (figure 1). Le premier a principalement pour tâche de répartir les crédits entre les grands secteurs : les universités ; les centres de recherche publics et privés ; et, depuis quelques années, les industries. Le Parlement peut même à l'occasion octroyer directement des subventions spéciales à certaines équipes qui les méritent particulièrement. Afin d'informer régulièrement les décideurs au sujet des derniers développements de la recherche et des besoins des chercheurs, un organisme subventionné par l'État, établissant un contact permanent entre l'ensemble de la communauté scientifique et les parlementaires, a été mis sur pied : l'Association des députés et chercheurs (RIFO).

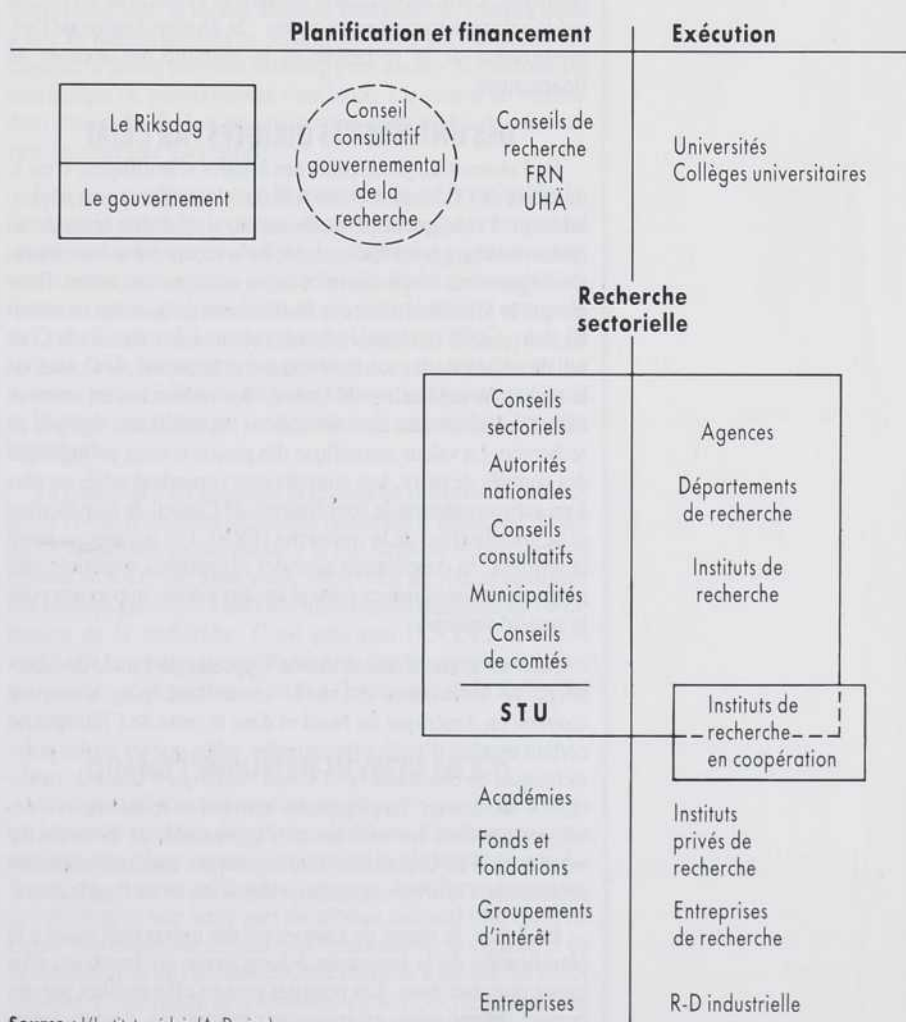
Le gouvernement, quant à lui, a pour tâche de définir les politiques de recherche et de veiller à leur application. Mais en Suède, les activités de recherche ne sont pas, comme dans la plupart des pays industrialisés, regroupées au sein d'un même ministère. Depuis longtemps, en effet, les Suédois estiment que les questions scientifiques sont trop vastes pour être confiées à une seule administration. Aussi la coordination de questions scientifiques et techniques est-elle placée sous l'égide du premier minis-

tre : celui-ci préside le Conseil gouvernemental consultatif de la recherche scientifique, un autre organisme formé de représentants du gouvernement et de scientifiques qui se réunissent périodiquement pour discuter des politiques de recherche à long terme. Depuis 1982, celles-ci font l'objet d'une réévaluation périodique, présentée au Riksdag sous forme d'un projet de loi. Le dernier de ces projets a été soumis en 1984 et le prochain est attendu incessamment.

Le gouvernement a donc l'autorité en matière d'orientation générale de la recherche, mais ce n'est pas lui qui prend la plupart des décisions concernant la mise en oeuvre de la recherche. En effet, le gouvernement suédois est constitué de ministères généralement petits (et, paraît-il, efficaces...) dont relèvent les universités et une multitude d'établissements publics indépendants, chacun intéressé par un domaine particulier (santé, environnement, développement industriel, éducation, défense...).

FIGURE 1

### LE SYSTÈME SUÉDOIS DE R-D



Source : L'Institut suédois (A. Dyring)



PHOTO GÖSTA GLASE

Le centre de Stockholm

Selon un principe propre à la politique de recherche suédoise, soit celui de la sectorisation, chacun de ces organismes doit assurer lui-même la R-D dont il a besoin pour ses activités futures. Non seulement ces établissements administrent eux-mêmes leurs activités de R-D et définissent leurs objectifs en la matière, mais ils sont aussi responsables d'obtenir les fonds nécessaires à leur poursuite. Cette sectorisation confère au système de recherche suédois deux autres caractéristiques : la décentralisation de l'administration de la recherche et la pluralité des sources de financement.

### DES UNIVERSITÉS DIRIGÉES PAR L'ÉTAT

En l'absence de portefeuille des affaires scientifiques, c'est le ministère de l'Éducation et des Affaires culturelles qui est responsable de l'enseignement supérieur ainsi que des conseils de recherche chargés du financement de la recherche universitaire. Ces organismes fonctionnent de façon analogue aux nôtres. Tandis que le Ministère assure le financement de base des universités, les conseils (au nombre de trois comme au Canada : le Conseil de recherche des sciences sociales et humaines, le Conseil de la recherche médicale et le Conseil des recherches en sciences naturelles) accordent des subventions au mérite aux équipes de recherche. La valeur scientifique des projets soumis est jugée par des comités de pairs. Les conseils sont cependant reliés en plus à un autre organisme de coordination, le Conseil de planification et de coordination de la recherche (FRN). Cet organisme lance et soutient, en coopération avec des organismes sectoriels, des projets interdisciplinaires portant sur des thèmes importants pour la société suédoise.

Aux six grandes universités d'Uppsala, de Lund, de Göteborg, de Stockholm, d'Umeå et de Linköping s'ajoutent (comme en Amérique du Nord et dans le reste de l'Europe) un certain nombre d'écoles spécialisées, telles que les écoles polytechniques de Stockholm et d'Umeå ainsi que l'École de médecine de Stockholm. La plupart des activités de recherche et d'enseignement dans les secteurs de l'agronomie, de la médecine vétérinaire et de la foresterie sont regroupées dans une institution spécialisée, l'Université suédoise des sciences de l'agriculture.

En Suède, la marge de manoeuvre des universités quant à la planification de la recherche à long terme est beaucoup plus mince que chez nous. Les priorités sont en effet établies par des comités disciplinaires extérieurs aux institutions, dont les mem-

bres représentent non seulement les milieux de la recherche et de l'enseignement, mais aussi (social-démocratie exige !) les syndicats, les groupes d'intérêts, les autorités publiques et le monde des affaires.

Les professeurs-chercheurs sont par ailleurs, avec l'ensemble du personnel des universités, des employés de l'État, soit des fonctionnaires. Ce statut affecte-t-il le dynamisme de la recherche ? On ne peut l'affirmer, mais il a au moins une importante conséquence : ce sont le gouvernement et le Riksdag qui créent les chaires professorales et redéfinissent le domaine couvert par celles devenues vacantes. Voilà une juridiction gouvernementale qui ne serait guère tolérée chez nous... Néanmoins, la planification des projets concrets de recherche demeure entièrement sous la responsabilité des départements (au nombre de 700 environ) et de leurs équipes.

### UNE POPULATION ÉTUDIANTE EN BAISSÉ

La recherche universitaire suédoise est certainement efficace et plutôt encouragée (on lui a octroyé en 1985 près de 7 milliards de couronnes, soit 42 p. cent des dépenses gouvernementales totales en matière de R-D), mais dans le renouvellement des équipes de recherche, on fait face depuis plusieurs années à de graves difficultés. En effet, même si les études supérieures sont gratuites, de moins en moins d'étudiants s'y inscrivent, et seule une fraction de ceux-ci obtiennent leur diplôme. Sur 13 000 étudiants inscrits annuellement aux « cours de formation à la recherche » menant en principe à l'obtention d'un doctorat (il n'y a pas de diplôme de maîtrise), 700 seulement obtiennent leur titre de docteur.

Selon une équipe de l'OCDE qui a récemment fait l'analyse de la politique de recherche en Suède, cette situation s'explique par le régime des prêts aux étudiants qui est, paradoxalement, peu généreux. Il n'existe pas de bourses de doctorat comme telles ; les étudiants du troisième cycle continuent de recevoir des prêts qu'ils doivent commencer à rembourser deux ans après la fin de leurs études. Cette politique a pour objectif, dans une perspective bien social-démocrate, de rendre les études supérieures accessibles à tous. Mais elle a l'effet inverse : il n'est pas rare que les diplômés doivent à l'État des sommes atteignant 200 000 couronnes (40 000 dollars) ! La moitié des étudiants travaillent à temps partiel et on en compte même 4 000 qui, tout en étant inscrits, ont interrompu leurs études pour occuper un emploi à plein

temps. La plupart des étudiants ont donc besoin de plus de quatre ans (norme établie) pour compléter leurs études de doctorat.

Un autre facteur fait hésiter nombre de jeunes chercheurs à opter pour une carrière universitaire : le salaire peu élevé des professeurs-chercheurs. Selon une estimation de l'OCDE, le traitement net d'un directeur de département n'est guère supérieur à celui d'un concierge ! On comprend que beaucoup de diplômés se tournent vers l'entreprise privée, qui est plus généreuse.

### LES ORGANISMES SECTORIELS

Les universités suédoises font pour l'essentiel de la recherche fondamentale, coutume peut-être issue de la longue tradition intellectuelle de ce pays. Il est étonnant de constater à quel point le gouvernement accorde de l'importance à ce type de recherche. Par contre, la recherche appliquée est du ressort des organismes sectoriels. Ceux-ci ont obtenu un financement de l'ordre d'un milliard de couronnes en 1985, soit 11 p. cent des dépenses du secteur public en R-D.

Selon une conception dérivée sans doute aussi du système politique suédois, les organismes sectoriels accordent une grande place aux recherches dans les domaines à forte incidence sociale (tableau 1). Par exemple, une administration publique spéciale, l'Administration nationale de la protection de l'environnement, assume la majeure partie des responsabilités de la recherche dans ce secteur qui préoccupe beaucoup les Suédois. Le Fonds pour l'environnement du travail appuie la recherche, la formation et l'information en vue de réduire les risques d'accidents du travail et de maladies professionnelles. Cet organisme est partiellement subventionné par des cotisations patronales. Une aide importante est également accordée à la recherche dans le domaine de la coo-

pération au développement international, recherche qu'effectue l'Agence suédoise de coopération scientifique de concert avec les pays en développement.

Depuis quelques années, on a vu croître l'importance de la recherche technique. Elle accapare à présent une part notable de la recherche sectorielle. C'est un autre organisme gouvernemental, la Direction nationale du développement technique (STU), qui supervise les activités dans ce domaine. Avec un budget de 700 millions de couronnes (140 millions de dollars), c'est une des administrations publiques les plus importantes du pays. En plus de coordonner et de financer en partie les activités des organismes sectoriels, elle lance des projets de recherche dite collective, que mènent des instituts financés conjointement par les entreprises privées et l'État.

Un des thèmes les plus importants de cette recherche collective est celui de l'énergie. La Suède n'est pas un pays producteur de pétrole et ce secteur revêt pour elle une importance particulière. De 1984 à 1987, on a affecté 1,2 milliard de couronnes à une vaste étude interdisciplinaire sur les problèmes sociaux, économiques et techniques suscités par la crise de l'énergie. Une entreprise d'État, la société Studsnik Energiteknik, soutient quant à elle la recherche dans le secteur de l'énergie nucléaire, sur laquelle la Suède compte beaucoup pour assurer son autonomie énergétique (le gouvernement s'est lancé, à la suite d'un référendum tenu en 1980, dans un programme considérable de construction de centrales nucléaires).

Une des conséquences de la sectorisation de la recherche en Suède est la rareté des « centres de recherche » qui se consacrent uniquement à des travaux de R-D. La plupart des organismes sectoriels ont en effet, en plus de la recherche, un large éventail d'activités. Il existe quelques instituts qui pourraient être comparés au Conseil national de recherches du Canada (CNRC), mais ils sont de taille beaucoup plus petite et leur mandat couvre un domaine précis. L'Institut de recherches sur la physique nucléaire et l'Institut géophysique de Kiruna sont au nombre des plus importants.

La qualité et l'efficacité de la recherche sectorielle font toutefois l'objet d'un débat. Plusieurs personnes s'inquiètent du fait qu'un organisme public puisse à la fois financer et exécuter ses travaux de R-D ; on risque ainsi, selon elles, de voir se constituer des chasses gardées à l'abri des mécanismes habituels de l'évaluation de la recherche. C'est pourquoi l'OCDE, dans son analyse de la politique scientifique de la Suède, recommandait au gouvernement de mettre un frein à l'expansion de la recherche sectorielle.

### QUAND L'INDUSTRIE INVESTIT EN R-D

En dépit de l'orientation politique de centre-gauche qu'a choisie la société suédoise depuis plus de 50 ans, l'industrie occupe toujours une place centrale au sein de la vie économique. La Suède est, comme le Canada, un pays dont les exportations comptent pour une large part du produit national brut (plus du tiers). Son économie dépend donc beaucoup de la vigueur et de la compétitivité de l'industrie. Cette dernière a investi, en 1985, quelque 12 milliards de couronnes en R-D — 55 p. cent des dépenses totales en R-D au pays. La part du lion !

TABLEAU 1

#### Financement public de la R-D par objectif socio-économique en 1986-1987

| Objectif                                           | %    |
|----------------------------------------------------|------|
| Agriculture, sylviculture, chasse et pêche         | 2,5  |
| Industrie, etc.                                    | 5,7  |
| Approvisionnement en énergie et en eau             | 6,2  |
| Transport et télécommunications                    | 3,8  |
| Habitat et aménagement du territoire               | 1,4  |
| Environnement naturel et préservation de la nature | 1,6  |
| Santé publique et hôpitaux                         | 0,7  |
| Bien-être social, environnement social et sécurité | 0,4  |
| Culture, moyens d'information et loisirs           | 0,4  |
| Éducation                                          | 0,6  |
| Cadre de travail et protection des travailleurs    | 2,5  |
| Administration publique et services sociaux        | 2,0  |
| Exploration de la terre et de l'atmosphère         | 0,3  |
| Progrès général des connaissances                  | 2,5  |
| Recherche spatiale                                 | 2,9  |
| Défense                                            | 25,9 |

Source

Statistique de Suède

L'industrie pharmaceutique est sans doute pour beaucoup dans cette vitalité : elle consacre 17 à 18 p. cent de son budget à la R-D. Suivent de près l'industrie du transport (en particulier celle de l'automobile, avec Volvo en tête), celle de l'électricité et l'industrie mécanique, notamment celle des robots. La Suède est le troisième producteur de robots industriels après le Japon et les É.-U., et elle en est le premier utilisateur (on en comptait 30 par 10 000 travailleurs en 1981 ; la proportion n'était que de 4 aux États-Unis et de 14 au Japon). Dans plusieurs secteurs qui ne relèvent pas des technologies de pointe, comme celui des pâtes et papiers (la Suède est le deuxième exportateur de papier après le Canada), la recherche suédoise a également suscité des innovations marquantes.

En plus du développement rapide de la coopération université-industrie (une mode à laquelle la Suède n'échappe pas), de nombreux mécanismes gouvernementaux d'aide à la R-D dans l'industrie sont apparus ces dernières années. La Direction nationale du développement technique accorde des prêts aux départements de R-D des entreprises, en particulier à celles de taille petite ou moyenne. Ces prêts ne doivent être remboursés qu'en cas de succès commercial. Un autre organisme, le Fonds suédois de développement industriel, fournit quant à lui du capital de risque aux grandes entreprises. Près d'un milliard de couronnes (200 millions de dollars) ont été ainsi injectées dans l'industrie suédoise en 1985.

Un secteur particulièrement névralgique de la R-D n'a pas encore été mentionné : celui de la défense. Il ne s'agit pas du moindre, puisqu'il gruge à lui seul 25 p. cent des dépenses totales en R-D (et hausse ainsi le pourcentage du PIB consacré à la R-D). En vertu de sa politique de neutralité, la Suède est en effet tenue d'assurer sa propre défense. La plupart des contrats de recherche militaire sont accordés à des organismes de recherche sectorielle, souvent spécialisés. Le plus important d'entre eux est le

Centre de recherches sur la défense (FOA) : créé en 1945, il constitue, avec ses 1 400 employés, le plus grand institut de recherche du pays. Plusieurs entreprises privées profitent de cette manne ; il en va de même pour les universités, dans une moindre mesure.

Il est difficile, en un si bref tour d'horizon, de dresser un tableau complet et fidèle de la structure complexe de la recherche en Suède. D'ailleurs, on ne peut attribuer les excellents résultats de la recherche et le bien-être économique du pays à la seule politique scientifique du gouvernement. Des institutions privées plus que centenaires, comme l'Académie royale des sciences et certaines fondations très riches, y contribuent aussi. La coopération active qu'entretient la Suède avec les autres pays, notamment avec l'Europe dans le cadre du Programme spatial européen, du Laboratoire européen de biologie moléculaire, du CERN, et tout particulièrement avec la Scandinavie par l'intermédiaire de l'Organisme internordique de coopération pour la recherche appliquée (Nordforsk), joue aussi un grand rôle dans le rayonnement à l'étranger de la science suédoise. Le modèle suédois de la recherche n'est sans doute pas exportable dans son entier, pas plus que la social-démocratie à la suédoise. Mais nous gagnerions peut-être beaucoup à nous en inspirer ! ■

#### Sources

1. INSTITUT SUÉDOIS. *Organisation et planification de la recherche en Suède*, feuillet de documentation sur la Suède, 1986.
2. LEDERMAN, L. L. « Science and Technology Policies and Priorities : a Comparative Analysis », *Science*, 1987, vol. 237, p. 1125-1133.
3. ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE. *Politiques nationales de science et de technologie : Suède*, Paris, 1986.
4. SWEDISH INFORMATION SERVICE. « University/Industry Cooperation to Promote Economic Development in Sweden », *Working Life in Sweden*, 1987, n° 33.

## VOICI CANBIOCON'88

Conférences et exposition en BIOTECHNOLOGIE.

**Dates: 12 au 14 avril 1988**

**Endroit: Le Palais des Congrès Montréal**

Afin de recevoir une documentation complète veuillez remplir le coupon ci-dessous et l'expédier à :



**BIOTECH CANADA INC.**

100 Alexis-Nihon, suite 875, Montréal, Qc, H4M 2P4 (514) 738-1826

☐ **Conférences**

Nom \_\_\_\_\_

Compagnie \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

Ville \_\_\_\_\_

☐ **Espace d'exposition**

Dept \_\_\_\_\_

Province \_\_\_\_\_

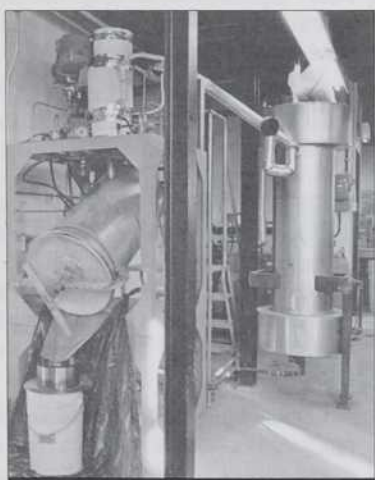
Code postal \_\_\_\_\_

PAR LOUISE DESAUTELS

## PAPIER, FORMULE RAPIDE

Un procédé de mise en pâte à papier conçu à Trois-Rivières vient d'être vendu à la compagnie albertaine Northec, qui bâtira un moulin de petite dimension afin de mettre à l'essai cette technique à l'échelle industrielle.

Le procédé de la mise en pâte, dite d'explosion, est le fruit des travaux d'une équipe du Centre de recherche en pâtes et papiers de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Il se distingue des procédés traditionnels par le fait qu'il rend possible l'utilisation d'une grande proportion d'arbres feuillus tout en assurant une bonne qualité au produit fini. Il a également l'avantage de requérir de 3 à 6 minutes de cuisson seulement, au lieu des 30, 60 ou 110 minutes habituelles. Les problèmes d'oxydation, qu'une cuisson rapide à haute température entraîne, ont été contournés en effectuant cette première transformation en absence d'air (saturation des vapeurs) et en ajoutant un agent anti-oxydant.

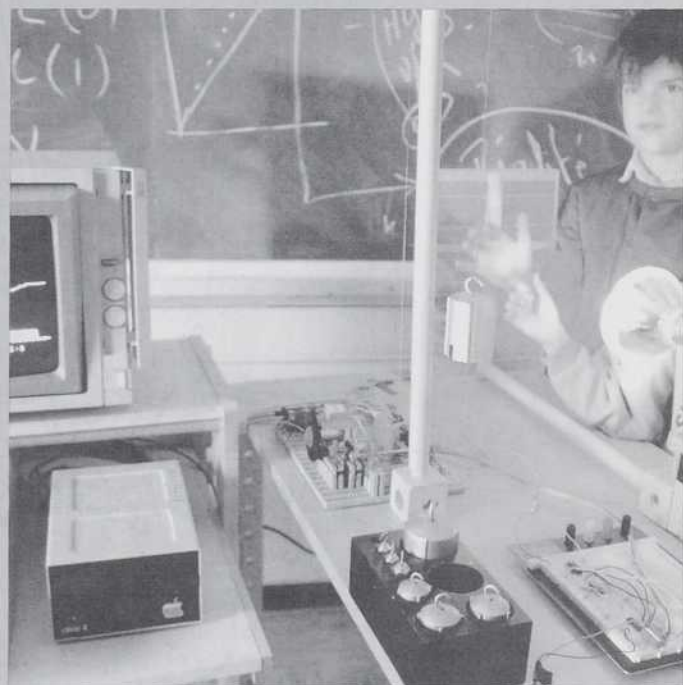


Northec a acheté la licence pour l'Alberta, l'Amérique latine et la Chine. Une compagnie française a aussi acquis la licence et compte percer les marchés européen et japonais.

## LE TRAIN DES SCIENCES

Une équipe du Laboratoire de robotique pédagogique de l'Université de Montréal a mis au point récemment un logiciel qui enregistre en temps réel et révèle sous forme de graphiques les variations de diverses variables physiques, telles que la vitesse, le temps, la résistance ou la température. Associé à un train électrique, à une usine miniature, à un treuil actionné par l'énergie solaire (photo) ou à l'un des 20 autres dispositifs conçus par le laboratoire, le logiciel est utilisé par les élèves des classes du primaire ou du secondaire, qui font ainsi l'apprentissage concret de la démarche expérimentale.

Le ministère de l'Éducation a déjà distribué dans les cégeps un logiciel semblable, conçu par le même laboratoire. Le programme informatique, couplé à un appareil de mesure des réponses psychogalvaniques, permet aux étudiants de mesurer les émotions de sujets humains. Lorsque l'étudiant fait varier une stimulation, les modifications des données de la



réaction physiologique apparaissent instantanément sur l'écran. L'objectif pédagogique est, ici aussi, l'acquisition d'un mode de raisonnement formel.

## LE FLAIR DU LASER

Pour déceler une présence trop élevée de thiol (mercaptan) dans leur usine de pâtes et papiers, les travailleurs se fiaient jusqu'à maintenant à leur odorat. Or l'efficacité de cette méthode chez un sujet est inversement proportionnelle au nombre d'années qu'il a passées dans l'usine. Le laser, lui, n'a aucune chance de développer une tolérance à ce gaz, qui est toxique même à des concentrations faibles. Grâce à une subvention de l'Institut de recherche en santé et sécurité du travail (IRSST), des chercheurs du Laboratoire d'optique et de laser de l'Université Laval travaillent à calibrer un appareil qui « balayera » les locaux des usines de pâtes et papiers et fournira une mesure exacte, en temps réel, de la concentration en thiol. Une équipe de l'Institut national d'optique construira ensuite un prototype

facile à installer et à utiliser. Cet appareil devrait être le premier d'une série, puisque plusieurs types d'usines éprouvent de la difficulté à repérer des gaz toxiques comme l'arsine, l'éthylène et l'ozone.

## COUPER DANS LE GRAS

La compagnie de spectromètres infrarouges Bomem cherche présentement à mettre au point un appareil capable de mesurer de façon continue et avec grande précision la teneur en matière grasse du lait concentré. Attendant impatiemment ce nouvel instrument, l'industrie laitière tolère pour l'instant une proportion bien plus élevée de matière grasse dans ses produits que le minimum. Des chercheurs de l'École polytechnique de Montréal et de l'Université Laval sont associés au projet, qui est subventionné par le CNRC. ■



ILLUSTRATION JACQUES GOLDSTYN

## LES NOBEL À LA HAUSSE

La Fondation Nobel offrira cette année des prix d'une valeur de 340 000 \$ US. Ces sommes sont de 15 p. cent plus élevées que les sommes offertes l'année dernière, elles-mêmes de 11 p. cent supérieures à celles de l'année précédente. Les investissements judicieux du directeur administratif de la Fondation, Stig Ramel, sont à l'origine de cette hausse qui vient compenser le montant peu élevé des prix durant les années de déclin. Les avoirs de l'illustre institution équivalent presque, maintenant, à ceux qu'elle détenait en

1900. Stig Ramel prévoit d'ailleurs transférer les valeurs immobilières de la Fondation dans une société à capital et vendre 50 p. cent de ces valeurs. Les profits de cette nouvelle société devraient éventuellement permettre d'offrir des prix de 30 p. cent supérieurs en 1989. Pour retrouver leur valeur initiale, les prix devraient équivaloir à près de 500 000 \$ US (on offre plus de prix Nobel actuellement qu'à l'origine). Un avis donc à tous les « nobélisables » : ne soyez pas si pressés ; spéculiez !

Source  
THE SCIENTIST, vol. 1, n° 22, octobre 1987, p. 4.

## DEUX NOUVEAUX PROGRAMMES DE DOCTORATS À L'UQAM

Un nouveau programme de doctorat en sciences de l'environnement, le premier du genre au Canada et le second en Amérique du Nord, vient d'être créé à l'Université du Québec à Montréal.

L'originalité de ce programme tient à son approche multidisciplinaire des problèmes de l'environnement. Il regroupe les compétences de six modules : sciences de la terre, chimie, sciences biologiques, géographie, mathématiques et informatique, physique. Au total, plus de trente professeurs et vingt personnes-ressources seront à la disposition des étudiants dans le cadre de ce programme.

Les champs de recherche interdisciplinaires du doctorat sont : l'écologie fonda-

mentale et appliquée ; la toxicologie de l'environnement ; les biotechnologies environnementales ; le cycle et la qualité de l'environnement et les méthodologies.

Par ailleurs, un nouveau programme de doctorat conjoint en communications vient d'être mis sur pied par l'Université du Québec à Montréal, l'Université de Montréal et l'Université Concordia. Ce programme d'études en communications, le troisième en son genre au Canada, sera géré tour à tour par chacune des universités. Les quatre axes de recherche du doctorat sont : les aspects sociaux et culturels des technologies d'information ; l'analyse des discours et des messages médiatisés ; l'organisation et les réseaux de communication ; la communication et le développement.

## LE FRANÇAIS FAIT SON CHEMIN EN ONTARIO

Les fonds affectés à l'expansion des programmes bilingues et des programmes en français dispensés par les établissements d'enseignement supérieur ontariens, augmenteront au cours des cinq prochaines années, à raison de 42 millions de dollars par an.

En 1986-1987, le ministère des Collèges et des Universités ontarien a consacré 24 millions de dollars à ces deux catégories de programmes. En 1987-1988, il accordera un supplément de 3 millions de dollars aux programmes d'enseignement en français ; de cette somme, 600 000 \$ s'ajouteront aux subventions habituelles versées aux universités et 1 million aux subventions de démarrage pour les nouvelles universités.

Les fonds supplémentaires augmenteront les subventions de fonctionnement et d'immobilisation normalement versées aux établissements d'enseignement supérieur. Ils les aideront à mettre en application une série de nouvelles initiatives qui permettront aux Franco-Ontariens de poursuivre des études postsecondaires dans leur langue maternelle.

Source  
AFFAIRES UNIVERSITAIRES, octobre 1987, p. 12.

## UNE NOUVELLE CHAIRE À L'UNIVERSITÉ D'OTTAWA

Une chaire Alcan-CRSNG de recherche industrielle en électrochimie de base et appliquée a été inaugurée en septembre dernier à l'Université d'Ottawa. Son premier titulaire est Brian E. Conway, du Département de chimie. Avec son équipe, M. Conway se consacrera au développement de nouvelles sources d'alimentation électrique, telles que les piles et les batteries.

## RADARSAT : C'EST PARTI

Le gouvernement fédéral a annoncé cet été la création du programme Radarsat pour la conception, la construction et l'exploitation du premier système canadien d'observation par satellite. Le coût de ce programme est évalué à près de 700 millions de dollars : 329 millions viendront du gouvernement fédéral, 112 millions des États-Unis, 197 millions du Royaume-Uni et 59 millions des gouvernements provinciaux.

Radarsat est un satellite d'observation de la Terre, construit, géré et exploité par le Canada. Les États-Unis en assureront gratuitement le lancement, tandis que le Royaume-Uni fournira la structure de base du vaisseau spatial. Le Canada, pour sa part, administrera le programme, fournira le radar à ouverture synthétique et les stations au sol, et se chargera de l'analyse des données.

Le lancement du satellite est prévu pour 1994 et son exploitation devrait durer cinq ans.

## DEUX CHERCHEURS DE L'U. DE M. CHOISIS PAR L'ICRA

Deux professeurs de l'Université de Montréal, le biochimiste Robert Cedergren et le mathématicien David Sankoff, viennent d'être nommés membres du programme « Biologie de l'évolution » de l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA). L'Institut assumant leur salaire pendant cinq ans, ces scientifiques pourront se consacrer entièrement à leurs travaux sur l'analyse de l'ADN par voie informatique.

L'Institut canadien de recherches avancées est un organisme privé sans but

lucratif, conçu pour regrouper des ressources intellectuelles et financières dans les domaines de recherches à long terme essentiels pour l'avenir du Canada. L'Institut met en oeuvre des programmes pour lesquels il crée des réseaux formés d'éminents chercheurs travaillant dans diverses institutions au Canada et à l'étranger. Les programmes actuels portent sur la biologie de l'évolution, la santé des populations, la cosmologie, l'intelligence artificielle et la robotique. D'autres programmes sont en phase de développement.

## R-D : QUELQUES CHIFFRES

En 1985, 52 p. cent des dépenses en R-D au Canada ont été engagées en Ontario, contre 22 p. cent pour le Québec, 21 p. cent pour les provinces de l'Ouest et 5 p. cent pour les provinces de l'Atlantique.

Cette prééminence de l'Ontario s'explique par la concentration d'établissements scientifiques fédéraux dans la capitale : 50 p. cent des coûts de la R-D fédérale intra-muros sont, en effet, attribués à cette province.

Source  
STATISTIQUE CANADA, STATISTIQUE DES SCIENCES, vol. 11, n° 8, juillet 1987.

## Vers un service d'excellence



**Canlab**

Travenol Canada Inc.

**Montréal**  
6800, route Trans-Canada  
Pointe Claire, Québec H9R 5L4  
Tél.: (514) 694-9843

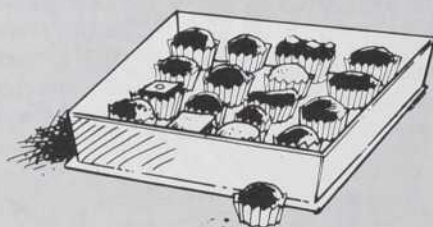
**Ailleurs en Province**  
Tél.: 1-800-361-4460

# TESTEZ VOTRE TALENT DE PÈRE NOËL

Parmi les objets ci-dessous, cochez  
le cadeau intelligent



A ☐ Une bouteille de vin



B ☐ Une boîte de chocolats



C ☐ Un stylo



D ☐ Un abonnement  
d'un an à INTERFACE,  
le *génial* magazine de la recherche,  
comprenant cinq *super-numéros*,  
plus l'*indispensable* Bottin de la recherche.

Réponse au prochain numéro

partenaires industriels intéressés aux applications des travaux de R-D. Le financement conjoint devrait s'élever à 2,4 millions de dollars au cours des trois prochaines années.

## CRÉATION D'UN CONSORTIUM INTERNATIONAL À L'UQAC

Un protocole d'entente a été signé cet automne entre l'Université du Québec à Chicoutimi et la firme d'ingénieurs-conseils LMB de Jonquière. Ce protocole conduit à la création d'un consortium qui permettra aux deux partenaires de réaliser sur le plan international des projets d'intérêt commun financés par des agences d'aide au développement.

L'Université du Québec à Chicoutimi pourra ainsi participer à des projets de développement et de coopération. Pour sa part, LMB mettra à contribution ses compétences particulières dans le transfert de la technologie canadienne aux pays en voie de développement.

## APPELS AUX CONFÉRENCIERS (IÈRES)

Du 9 au 11 mars 1988 se tiendront les assises de l'Association québécoise des techniques de l'eau (AQTE). Regroupées sous le thème « Dix ans d'assainissement », les conférences porteront sur la conception, la réalisation, l'exploitation ou le contrôle d'équipement de traitement des eaux potables ou usées, particulièrement celles que touchent la recherche de nouveaux procédés ou les perspectives d'avenir dans le domaine. Les communications ayant pour sujet le traitement des effluents industriels sont spécialement bienvenues. Les auteurs sont invités à soumettre un résumé de leur communication avant le 18 décembre à Normand Trempe, AQTE-Conférences Assises 1988, 6290, rue Périnault, bureau 102, Montréal, Québec, H4K 1K5.

## CQVB : LE PETIT DERNIER S'APPELLE BIO-PRO

Le Centre québécois de valorisation de la biomasse (CQVB) possède depuis septembre dernier un quatrième laboratoire

associé appelé BIO-PRO. Ce laboratoire, fruit d'une association avec l'École polytechnique de Montréal, servira à des recherches, à la mise à l'échelle de procédés et au développement d'équipement dans des secteurs comme le biotraitement des pollutions industrielles, la microbiologie appliquée et l'ingénierie des biosystèmes. Il sera financé conjointement par le CQVB, l'École polytechnique et des

# L'expertise exceptionnelle de CANMET nous aide à augmenter notre rentabilité en nous permettant d'optimiser la récupération du minerai sous terre.

Michel Rodrigue, directeur, La Mine Niobec, SAINT-HONORÉ (Québec)



CANMET, une direction d'Énergie, Mines et Ressources Canada, offre des technologies innovatrices et des services de recherche d'avant-garde aux industries canadiennes d'exploitation des ressources et aux manufacturiers de produits tirés des minéraux et des combustibles fossiles.

La Mine Niobec, une des nombreuses sociétés bénéficiant de l'aide de CANMET, se classe au deuxième rang dans le monde pour la production du niobium. Comme l'acier allié au niobium est hautement résistant, on utilise cet alliage principalement pour la construction de pipelines, d'ouvrages architecturaux spécialisés, ainsi que dans les industries aéronautique et automobile. Grâce à ses exportations élevées au Japon, aux États-Unis et au Luxembourg, Niobec s'est approprié 15 % du marché mondial du niobium.

Niobec a travaillé de pair avec CANMET dans les domaines du génie géomécanique et de la recherche en métallurgie. CANMET, en collaboration avec le Centre de recherches minérales du gouvernement du Québec, a entrepris une série d'études géomécaniques à La Mine Niobec. Les ingénieurs de Niobec consultent fréquemment leurs collègues de CANMET qui, au dire de M. Michel Rodrigue, sont «des experts les plus fiables dans le domaine et ont la meilleure réputation professionnelle au Canada et partout dans le monde».

La collaboration entre CANMET et Niobec remonte à 1980; elle a contribué à faire un succès de cette remarquable entreprise dans le secteur minier. «Avec l'aide de CANMET, qui fournit les meilleurs spécialistes, aucun défi technique n'est impossible à relever», affirme M. Rodrigue.



Énergie, Mines et  
Ressources Canada

Energy, Mines and  
Resources Canada

L'Hon. Marcel Masse,  
Ministre

Hon. Marcel Masse,  
Minister

Canada

## CANMET

La technologie au service de l'industrie.

Pour plus de renseignements sur la façon dont CANMET peut contribuer aux progrès de votre technologie, veuillez communiquer avec :

M. Jim Kanasy, CANMET  
555, rue Booth, OTTAWA (Ontario)  
K1A 0G1 (613) 995-4059

CARTE D'INFORMATION N° 111



POUR LA SCIENCE... UNE SCIENCE D'AVANCE

Prenez 3 ans d'avance  
et économisez 34 %  
sur un abonnement  
de 3 ans

EN CADEAU aux nouveaux abonnés :  
UN "CLEPSYDRE HÉLICOÏDAL"



### Les précurseurs écrivent dans **POUR LA SCIENCE**

Bien avant l'attribution des prix Nobel, les lecteurs de POUR LA SCIENCE ont pris connaissance des travaux de Rita Lévi-Montalcini sur le facteur de croissance du nerf, de Stanley Cohen sur les éléments génétiques transposables, de Rohrer et Binnig sur le microscope à balayage à effet tunnel, de David Hubel sur les mécanismes cérébraux de la vision, de Brown et Goldstein sur les récepteurs des LDL, le cholestérol et l'athérosclérose...

Edition française de *Scientific American*, POUR LA SCIENCE est destinée aux scientifiques et aussi à tous ceux qui ne se contentent pas d'une vision superficielle des connaissances nouvelles. De par le monde, plus de 1 200 000 personnes achètent régulièrement les différentes éditions de la "revue des Nobel". En France, plus de 52 000 personnes la lisent chaque mois. Nous vous invitons à faire partie de notre lectorat **dans les meilleures conditions** grâce à notre offre spéciale.

GREY DIRECT

## BULLETIN D'ABONNEMENT

A renvoyer avec votre règlement sous enveloppe affranchie à POUR LA SCIENCE - 8, rue Férou - 75006 PARIS

☐ **OUI**, je désire m'abonner à **POUR LA SCIENCE**  
pour 3 ans (12 numéros par an dont 1 n° spécial).

Je ne réglerai que 650 F (au lieu de 987 F)\*  
... une économie de 34 %

Je préfère m'abonner pour :

- ☐ 2 ans à 465 F (au lieu de 658 F)\*  
☐ 1 an à 265 F (au lieu de 329 F)\*

\* Prix de vente au numéro

**Quelle que soit la durée de mon  
abonnement je recevrai un clepsydre hélicoïdal**

☐ Ci-joint mon règlement :

Carte Bleue n°

Date d'expiration

Signature (obligatoire)

☐ A défaut, je règle par chèque à l'ordre de POUR LA SCIENCE

M., Mme, Mlle, Prénom

Nom

Adresse complète

Code postal  Ville

PAR FRANÇOISE BRAUN

Période couverte : du 21 novembre 1987 au 30 janvier 1988

### AMERICAN ASSOCIATION OF UNIVERSITY WOMEN (AAUW)

#### • Bourses

Bourses offertes aux étudiantes non américaines pour poursuivre des études de 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles aux États-Unis

Date de soumission : 1<sup>er</sup> décembre 1987

#### Renseignements : AAUW

2401, Virginia Av. N.W.  
Washington, D.C.  
20037 USA

### ASSOCIATION CANADIENNE-FRANÇAISE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES (ACFAS)

#### • Prix Acfas-Northern Telecom

Prix d'enseignement des sciences destiné aux enseignants de tous les niveaux

Date de soumission : 31 décembre 1987

#### • Prix de la recherche scientifique

Prix destinés à récompenser une contribution exceptionnelle dans différentes disciplines :

Prix Léo-Pariseau : sciences biologiques et sciences de la santé  
Prix Urgel-Archambault : sciences physiques, mathématiques et génie

Prix Marcel-Vincent : sciences sociales

Prix André-Laurendeau : études humaines

Prix J.-Armand-Bombardier : innovation technologique

Prix Jacques-Rousseau : interdisciplinarité

Prix Michel-Jurdant : sciences de l'environnement

Date de soumission : 20 janvier 1988

#### • Prix d'excellence étudiant-chercheur

Prix destinés aux étudiants commençant leur maîtrise

Date de soumission : 15 janvier 1988

#### Renseignements : Acfas

2730, Côte-Sainte-Catherine  
Montréal (Québec)  
H3T 1B7  
(514) 342-1411

### CENTRE DE RECHERCHES POUR LE DÉVELOPPEMENT INTERNATIONAL (CRDI)

#### • Bourse John G. Bene

Bourse de recherche en foresterie sociale dans les pays du Tiers monde. Sont admissibles les étudiants inscrits dans une université canadienne à des études de maîtrise ou de doctorat.

Date de soumission : 31 décembre 1987

#### • Programme de jeunes chercheurs canadiens

Bourses de recherche pour étudiants canadiens inscrits en maîtrise ou en doctorat

Champs d'études : (maîtrise) sciences de la santé, communications, journalisme, sciences de l'information, finances et administration ; (doctorat) agriculture, sciences de la terre, nutrition, sciences de la nature, communications, informatique, énergie et architecture

Date de soumission : 1<sup>er</sup> janvier 1988

#### Renseignements : CRDI

C.P. 8500  
Ottawa (Ontario)  
K1G 3H9

### COMPAGNIE PÉTROLIÈRE IMPÉRIALE LTÉE

#### • Subventions à la recherche universitaire

Subventions accordées à des recherches universitaires dans des domaines intéressant les industries pétrolière, pétrochimique et énergétique

Date de soumission : 15 janvier 1988

#### Renseignements : Coordonnateur

Subventions à la recherche universitaire  
Compagnie Pétrolière Impériale Ltée  
111, av. Saint-Clair Ouest  
Toronto (Ontario)  
M5W 1K3  
(416) 968-4111

### CONSEIL DE RECHERCHES MÉDICALES DU CANADA (CRM)

#### • Bourses de stagiaire de recherche

Bourses offertes en vue de l'obtention d'une maîtrise ou d'un doctorat dans les sciences de la santé

#### • Bourses de recherche

Bourses offertes aux chercheurs indépendants en vue de poursuivre une formation en recherche dans les sciences de la santé

#### • Bourses en recherche dentaire

Bourses ayant pour but de former des cliniciens-enseignants capables d'effectuer des recherches autonomes

#### • Bourses du centenaire

Bourses de recherche à plein temps dans les sciences de la santé, offertes aux scientifiques désirant entreprendre des recherches cliniques ou multidisciplinaires comme chercheurs indépendants

#### • Subventions de voyage

Subventions accordées aux scientifiques pour poursuivre leurs

### NOTES

• Seuls les concours à date fixe sont répertoriés.

• Pour plus d'information, contacter les organismes eux-mêmes ou les universités. Vérifier l'exactitude des dates, car elles peuvent être modifiées en cours d'année.

recherches dans un laboratoire pendant une courte période  
**Date de soumission :** 1<sup>er</sup> décembre 1987

**Renseignements :** CRM

Immeuble Jeanne-Mance, 20<sup>e</sup> étage  
 Rue de l'Églantine, parc Tunney's  
 Ottawa (Ontario)  
 K1A 0W9  
 (613) 954-1959

**CONSEIL DE RECHERCHES EN SCIENCES HUMAINES DU CANADA (CRSH)**

• **Renouvellements, bourses de doctorat**

Bourses de doctorat pour études à plein temps dans une université canadienne

**Date de soumission :** 15 janvier 1988

**Renseignements :** (613) 992-0525

• **Aide aux sociétés savantes et subventions de voyage aux sociétés savantes**

Contribution pour défrayer les coûts d'organisation ou les frais de déplacements et séjour des membres pour assister à leur réunion annuelle

**Date de soumission :** 20 janvier 1988

**Renseignements :** (613) 992-3131

**Renseignements généraux :** CRSN

255, rue Albert  
 Ottawa (Ontario)  
 K1P 6G4  
 (613) 992-0682

**CONSEIL DE RECHERCHES EN SCIENCES NATURELLES ET EN GÉNIE DU CANADA (CRSNG)**

• **Bourses en sciences et en génie 1987**

Bourses offertes aux étudiants exceptionnels pour entreprendre des études de doctorat au Canada ou à l'étranger

**Date de soumission :** 8 décembre 1987

• **Bourses d'études supérieures**

Bourses offertes aux étudiants en vue de l'obtention d'un diplôme supérieur

**Date de soumission :** 1<sup>er</sup> décembre 1987

• **Bourses en bibliothéconomie et documentation scientifique**

Bourses offertes aux diplômés du 1<sup>er</sup> cycle en sciences et en génie pour poursuivre des études supérieures en bibliothéconomie ou documentation scientifique

**Date de soumission :** 1<sup>er</sup> décembre 1987

• **Bourses postdoctorales**

Bourses offertes à des chercheurs venant d'obtenir un docto-

rat, afin de poursuivre des recherches spécialisées

**Date de soumission :** 1<sup>er</sup> décembre 1987

• **Bourses de recherche dans les laboratoires du gouvernement canadien**

Bourses offertes aux jeunes scientifiques en vue de travailler avec des groupes de recherche hautement qualifiés

**Date de soumission :** 15 décembre 1987

• **Bourses et subventions de recherche de la Fondation du Bouclier canadien**

Bourses et subventions offertes pour favoriser la recherche sur la flore et la faune du Bouclier canadien

**Date de soumission :** 31 janvier 1988

• **Bourses en sciences de l'Otan**

Bourses offertes dans le but d'encourager les échanges internationaux de boursiers postdoctoraux en sciences pures et appliquées

**Date de soumission :** 1<sup>er</sup> décembre 1987

**Renseignements :** CRSNG

200, rue Kent  
 Ottawa (Ontario)  
 (613) 995-5521

**FÉDÉRATION CANADIENNE DES FEMMES DIPLÔMÉES DES UNIVERSITÉS (FCFDU)**

• **Bourses de formation professionnelle**

Bourses d'études supérieures offertes en vue d'acquérir une formation professionnelle

• **Bourse Margaret-McWilliams**

Bourse d'études doctorales

• **Bourses Alice-E.-Wilson et de formation professionnelle**

Bourses de recyclage ou de spécialisation

**Date de soumission :** 15 décembre 1987

**Renseignements :** FCFDU

55, av. Parkdale  
 Ottawa (Ontario)  
 K1Y 1E5

**FONDS DE LA RECHERCHE EN SANTÉ DU QUÉBEC (FRSQ)**

• **Subventions aux centres et instituts de recherche**

Subventions accordées aux établissements du réseau du MSSS et reconnus par le FRSQ

**Date de soumission :** 15 janvier 1988

• **Subventions à la recherche évaluative en santé**

Subventions offertes aux chercheurs autonomes pour la réali-

## L'UNIVERSITÉ DE MONCTON au coeur de l'Acadie

L'Université de Moncton sera heureuse de vous accueillir à l'occasion du 56e congrès de l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences (ACFAS) du 9 au 13 mai 1988 au centre universitaire de Moncton.

*Viens voir l'Acadie,  
viens à la mer!*

**L'Université de Moncton**  
constituantes à  
Edmundston, Moncton et Shippagan

CARTE D'INFORMATION N° 113

sation d'un projet de recherche ou la formation

**Date de soumission :** 1<sup>er</sup> décembre 1987

- **Subventions à la recherche en santé mentale**  
Subventions offertes aux chercheurs autonomes pour la réalisation d'un projet de recherche ou la formation  
**Date de soumission :** 1<sup>er</sup> décembre 1987
- **Subventions à la recherche évaluative et épidémiologique en santé communautaire**  
Subventions offertes aux chercheurs oeuvrant en collaboration avec des DSC : volet subvention à la formation, volet subvention à la réalisation du projet de recherche  
**Date de soumission :** 1<sup>er</sup> décembre 1987
- **Bourses de perfectionnement pour chercheurs autonomes en biotechnologie du secteur de la santé**  
Bourses offertes aux chercheurs autonomes voulant oeuvrer en recherche biotechnologique  
**Date de soumission :** 1<sup>er</sup> décembre 1987

**Renseignements :** FRSQ

550, rue Sherbrooke Ouest  
Bureau 1950  
Montréal (Québec)  
H3A 1B9  
(514) 873-2114

### ORGANISATION DU TRAITÉ DE L'ATLANTIQUE NORD (OTAN)

- **Programme de bourses de recherches**  
Bourses instituées pour promouvoir les études qui pourraient intéresser les pays de l'Otan. Ce programme s'adresse aux diplômés universitaires.  
**Date de soumission :** 31 décembre 1987

**Renseignements :** Comité des distinctions  
Société Royale du Canada  
344, rue Wellington  
Ottawa (Ontario)  
K1A 0N5  
(613) 992-3468

### SANTÉ ET BIEN-ÊTRE SOCIAL CANADA

- **Programme national de recherche et de développement en matière de santé (PNRDS)**  
Subventions couvrant les frais de projets de recherche en santé  
**Date de soumission :** 1<sup>er</sup> décembre 1987

**Renseignements :** Santé et Bien-être social Canada  
Division de l'administration  
de la recherche  
Immeuble Jeanne-Mance  
Parc Tunney's  
Ottawa (Ontario)  
K1A 1B4  
(613) 954-8548

## NOVEMBRE

Les 13 et 14 novembre, **Le patrimoine, significations et usages**, colloque organisé par la Faculté d'aménagement de l'Université de Montréal.

**Renseignements :**  
Denys Marchand  
Faculté d'aménagement  
5620, avenue Darlington  
Montréal (Québec)  
(514) 343-6835

Du 13 au 15 novembre, **Congrès de l'Association des biologistes du Québec**, à l'hôtel Les Quatre Saisons, à Montréal.

**Renseignements :**  
Pierre André  
ABQ

45, rue Jarry Est  
Montréal (Québec)  
(514) 387-2368

Du 15 au 17 novembre, **La structure des marchés et les mesures fiscales**, colloque sur l'avenir énergétique, à Vancouver.

**Renseignements :**  
Éric Devlin  
(613) 954-7777

Le 16 novembre, **Conférence de Robert Bourassa, premier ministre du Québec**, au Centre Sheraton, à Montréal.

**Renseignements :**  
Secrétariat  
Chambre de commerce de Montréal  
(514) 288-9090

Du 16 au 19 novembre, **Salon canadien de l'ordinateur**, à Toronto.

**Renseignements :**  
Industrial Trade Shows of Canada  
20, Butterick Road  
Toronto (Ontario)  
(416) 252-7791

Les 19 et 20 novembre, **Congrès de mise à jour en pédiatrie**, organisé par le Département de pédiatrie de l'Université de Montréal, à l'hôtel Sheraton Centre-Ville, à Montréal.

**Renseignements :**  
D<sup>r</sup> Robert L. Thivierge  
(514) 345-4931, poste 5564 ou 5565

Les 19 et 20 novembre, **L'hydrographie, dimension essentielle aux sciences de la mer**, colloque organisé par l'Association canadienne d'hydrographie.

**Renseignements :**  
Louise Brossard  
ACH

Section du Québec  
C.P. 1447  
Rimouski (Québec)  
G5L 8M3  
(418) 723-1831

Du 19 au 24 novembre, **Salon du livre de Montréal**, à la Place Bonaventure, à Montréal.

**Renseignements :**  
Secrétariat  
Bureau 207  
911, rue Jean-Talon Est  
Montréal (Québec)  
H2R 1V5  
(514) 277-2250

Du 23 au 27 novembre, **Spot 1, Utilisation des images, bilan, résultats**, colloque organisé par le Centre national d'études spatiales à Paris.

**Renseignements :**  
Sylvaine Jones ou Catherine Le Cochenec

*Spot Image*  
16 bis, avenue Édouard-Belin  
31030 Toulouse Cedex  
France

Le 24 novembre, **Vers une loi pour la protection des espèces menacées**, conférence de Léopold Gaudreau, organisée par la Société linnéenne du Québec, à l'Aquarium de Québec.

**Renseignements :**  
Société linnéenne du Québec  
(418) 653-8186

Du 25 au 29 novembre, **Trans-tech 1987, Marché international de l'innovation et des technologies nouvelles**, exposition organisée par le Centre d'innovation industrielle de Montréal, au Palais des congrès de Montréal.

**Renseignements :**  
Transtech 87  
Bureau 500  
6600, Côte-des-Neiges  
Montréal (Québec)  
H3S 2A9  
(514) 340-4266 ou 340-4647

Le 26 novembre, **Le bruit et la sécurité au travail**, conférence de M. Raymond Héty organisée par l'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail au 505, de Maisonneuve Ouest, salle 1201, à Montréal.

**Renseignements :**  
IRSST  
(514) 288-1551, poste 205

Du 29 novembre au 2 décembre, **Droits des réfugiés**, colloque organisé conjointement par la Fondation canadienne des droits humains et par le Département des sciences juridiques de l'UQAM, à Montréal.

**Renseignements :**  
André Riendeau  
(514) 282-4073

## DÉCEMBRE

Les 1<sup>er</sup> et 2 décembre, **Salon Expo Plast'87**, à la Place Bonaventure à Montréal.

**Renseignements :**  
Lilian Strutt  
Society of Plastics Industry  
1262, Don Mills Road  
Don Mills (Ontario)  
M3B 2W7

Les 2 et 3 décembre, **3<sup>e</sup> Conférence de biotechnologies industrielles**, organisée par le Conseil national de recherches du Canada, au Centre Sheraton, à Montréal.

**Renseignements :**  
L. Forget  
Bureau du Service des conférences  
CNRC  
Ottawa (Ontario)  
K1A 0R6  
(613) 993-9009

Du 7 au 9 décembre, **La confluence énergétique**, conférence finale de la série sur l'avenir énergétique, à Montréal.

**Renseignements :**  
Éric Devlin  
(613) 954-7777

Le 8 décembre, **conférence de Pierre Dansereau sur l'archipel des Galapagos**, organisée par la Société linnéenne du Québec, à l'Aquarium de Québec.

**Renseignements :**  
Société linnéenne du Québec  
(418) 653-8186

Le 10 décembre, **Les orientations stratégiques de l'IRSST**, conférence de Louis Berlinguet organisée par l'Institut de recherche en santé et sécurité du travail, au 505 de Maisonneuve Ouest, salle 1201, à Montréal.

**Renseignements :**  
IRSST  
(514) 288-1551, poste 205

## Onze cadeaux de Noël pour vos petits débrouillards

Un cadeau plein de surprises et de découvertes, qui se renouvelle onze fois l'an : voilà ce que représente un abonnement au magazine **Je me petit-débrouille**, le mensuel du Club des petits débrouillards.

**Je me petit-débrouille** offre à ses lecteurs et lectrices de 7 à 14 ans un menu varié, instructif et amusant. Jeux, expériences, bandes dessinées, articles sur le corps humain ou sur les ordinateurs, aventures au Pôle Nord ou au centre de la Terre, reportages sur les volcans ou sur les animaux d'ici et d'ailleurs, voilà seulement quelques-uns des sujets abordés par l'équipe des adjoints du professeur Scientifex.

Offrez à vos petits et petites débrouillard(e)s ce qu'il y a de mieux : un abonnement au **Je me petit-débrouille**.

Veuillez abonner le(la) petit(e) débrouillard(e) suivant(e) au magazine **Je me petit-débrouille** pour un an, et lui envoyer sa carte de membre du Club des petits débrouillards.



NOM : \_\_\_\_\_ ÂGE : \_\_\_\_\_  
ADRESSE : NO. \_\_\_\_\_ RUE \_\_\_\_\_ APP. \_\_\_\_\_ VILLE \_\_\_\_\_  
PROVINCE \_\_\_\_\_ CODE POSTAL \_\_\_\_\_ TEL. \_\_\_\_\_

— UN AN/11 NUMÉROS/15 \$ (UNE RÉDUCTION DE 7 \$ SUR LE PRIX EN KIOSQUE)  
— DEUX ANS/22 NUMÉROS/28 \$ (UNE RÉDUCTION DE 16 \$ SUR LE PRIX EN KIOSQUE)  
CI-JOINT MON CHÈQUE AU MONTANT DE \_\_\_\_\_ \$ FAIT À L'ORDRE DU CLUB DES PETITS DÉBROUILLARDS.

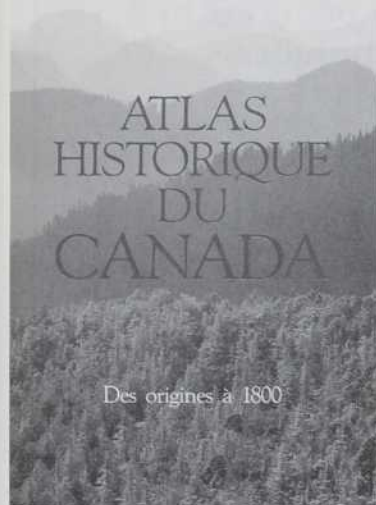
NOM DU DONATEUR \_\_\_\_\_

FAIRE PARVENIR À  
CLUB DES PETITS DÉBROUILLARDS  
4545, AVENUE PIERRE DE COUBERTIN  
CASE POSTALE 1000, SUCCURSALE « M »  
MONTRÉAL, QUÉBEC H1V 3R2  
TEL. : (514) 252-3027

## DERNIÈRES PARUTIONS REÇUES

SCIENCES HUMAINES  
ET SOCIALES

**ATLAS HISTORIQUE DU CANADA**, sous la direction de R. Cole Harris (Louise Dechêne pour l'édition française), Les Presses de l'Université de Montréal, 1987, 204 pages, 95 \$, ISBN 2-7606-0800-X.



**GLOSSAIRE DES GÉNÉRIQUES EN USAGE DANS LES NOMS GÉOGRAPHIQUES DU CANADA**, par le Comité permanent canadien des noms géographiques en collaboration avec le Bureau des traductions, Centre d'édition du gouvernement du Canada, 1987, 336 pages, 9,25 \$, ISBN 0-660-53764-8.

**SURVIVANCE ET MODÈLES DE DÉVELOPPEMENT**, numéro réalisé par Jacques Fisette, Mumpasi Lututala, Victor Piché et Denis Tognide, *Revue internationale d'action communautaire*, n° 17, Éditions Saint-Martin, 1987, 188 pages, 10 \$, ISSN 0707 9699.

**SCIENCES SOCIALES ET TRANSFORMATIONS TECHNOLOGIQUES**, sous la direction de Paul Bernard et Édouard Cloutier, Actes d'un colloque tenu à Montréal, le 25 avril 1986, Conseil de la science et de la technologie, 1987, 306 pages, gratuit, ISBN 2-550-17501-8.

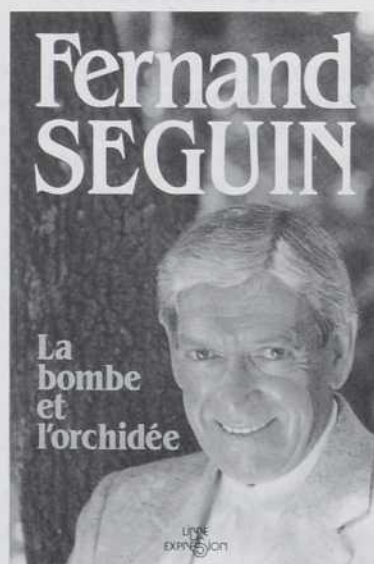
**UNE SOCIÉTÉ EN QUÊTE D'EXCELLENCE : pratiques socio-économiques**, par Marcel Laflamme et al., Les éditions de la Société nationale des Québécois Centre-Québec Inc., 1987, 182 pages, 8 \$, ISBN 2-9800650-05.

**LA PLANIFICATION ET L'ÉVALUATION DES APPRENTISSAGES**, par Françoise Burton et Romain Rousseau, Les éditions Saint-Yves Inc., 1987, 226 pages, 16,95 \$, ISBN 2-89034-026-0.

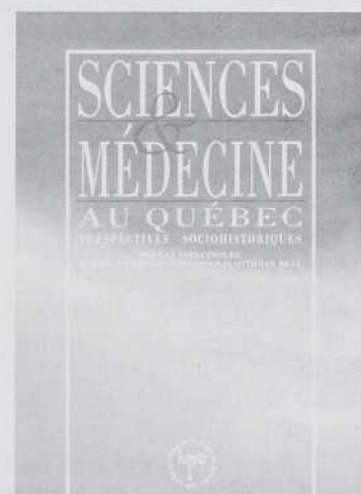
**LA PRODUCTION ET LES DÉPENSES DE FONCTIONNEMENT DE L'ENSEIGNEMENT COLLÉGIAL PUBLIC AU QUÉBEC**, par André Lemelin, INRS-Urbanisation, *Études et documents*, n° 55, 1987, 194 pages, 9 \$, ISBN 2-89228-066-4.

**LES CONSÉQUENCES DE LA DÉCENTRALISATION RÉGIONALE DES ACTIVITÉS DE R-D**, par Robert Lacroix et Fernand Martin, Conseil de la science et de la technologie, document n° 87-101, 1987, 158 pages, gratuit, ISBN 2-550-17187-X.

**LA BOMBE ET L'ORCHIDÉE**, par Fernand Seguin, Libre Expression, 1987, 208 pages, 16,95 \$, ISBN 2-89111-328-4.



**SCIENCE ET MÉDECINE AU QUÉBEC : perspectives sociohistoriques**, sous la direction de Marcel Fournier, Yves Gingras et Othmar Keel, Institut québécois de recherche sur la culture, 1987, 212 pages, 20 \$, ISBN 2-89224-091-3.



## SCIENCES DE LA SANTÉ

**NEUROPSYCHOLOGIE CLINIQUE ET NEUROLOGIE DU COMPORTEMENT**, sous la direction de Mihai Ioan Botez, Les Presses de l'Université de Montréal, 1987, 420 pages, 55 \$, ISBN 2-7606-0754-2.

**MANUEL DE NUTRITION CLINIQUE**, par la Corporation professionnelle des diététistes du Québec, 1987, 550 pages, membres CPDQ : 75 \$, non-membres : 85 \$, ISBN 2-9800892-0-6.

## URBANISME

**RÉANIMATION URBAINE ET POUVOIR LOCAL : les stratégies des municipalités de Montréal, Sherbrooke et Grenoble en quartiers anciens**, par Richard Morin, Presses de l'Université du Québec — INRS-Urbanisation, 1987, 200 pages, 18 \$, ISBN 2-7605-0451-4.

## Naissance d'une population

Les Français établis au Canada au XVII<sup>e</sup> siècle

H. Charbonneau, B. Desjardins, A. Guillemette, Y. Landry,

J. Légaré, F. Nault

Coll. : R. Bates, M. Boleda

L'ouvrage qui jette un éclairage nouveau sur le comportement démographique des pionniers de la souche canadienne-française.

Coédition : INED

232 p.

18\$

## Les Grèves au Canada

Causes et conséquences

R. Lacroix

Une nouvelle théorie explicative de l'activité de grève dans le cadre de l'économie canadienne.

290 p.

22\$

## Le Système politique des États-Unis

E. Orban et coll.

Le système politique américain dans sa dynamique interne et externe.

Coédition : Bruylant

360 p.

29\$

## Algorithmique

Conception et analyse

G. Brassard, P. Bratley

Techniques de conception et d'analyse d'algorithmes efficaces.

350 p.

39\$

## Pour une approche critique du droit de la santé

Droit et matérialisation des politiques sociales

A. Lajoie, P.A. Molinari et al.

Cheminement politique et social du droit de la santé.

332 p.

32\$

## Sociologie des phénomènes démographiques

Revue Sociologie et sociétés

L'analyse des structures sociales et des rapports sociaux dans leurs liens avec les phénomènes démographiques.

Vol. XIX, n° 1, 170 p. env.

10\$



Les Presses de l'Université de Montréal

C.P. 6128, Succ. «A», Montréal, QC H3C 3J7 Tél. : (514) 343-6321

CARTE D'INFORMATION N° 114

**SPATIALISATION DES COMPOSANTES ETHNIQUES, SOCIO-ÉCONOMIQUES ET FAMILIALES À MONTRÉAL EN 1981**, par C. Le Bourdais et C. Lefebvre, INRS-Urbanisation, *Études et documents*, n° 52, 1987, 79 pages, 7 \$, ISBN 2-89228-063-X.

**RESTAURATION RÉSIDENTIELLE ET COPROPRIÉTÉ AU CENTRE-VILLE DE MONTRÉAL**, par Marc Choko et Francine Dansereau, INRS-Urbanisation, *Études et documents*, n° 53, 1987, 184 pages, 9 \$, ISBN 2-89228-064-8.

**RÉANIMATION, RECONQUÊTE, CONVERSION**, revue de la documentation et bibliographie sélective annotée, par Francine Dansereau et Daniel L'Écuyer, INRS-Urbanisation, *Rapports de recherche*, n° 10, 1987, 274 pages, 15 \$, ISBN 2-89228-049-4.

**LES FLUX DE BIENS ET DE SERVICES DES INDUSTRIES MANUFACTURIÈRES DU CHAMP URBAIN DE MONTRÉAL**, par Yvon Martineau, INRS-Urbanisation, *Études et documents*, n° 54, 1987, 94 pages, 6 \$, ISBN 2-89228-065-6.

## LINGUISTIQUE ET TERMINOLOGIE

**LA FORMATION DES MOTS EN FRANÇAIS MODERNE**, par Johannes Thièle, traduit et adapté de l'allemand par André Clas, Les Presses de l'Université de Montréal, 1987, 160 pages, 28 \$, ISBN 2-7606-0762-3.

**VERS L'AN 2000, LA TERMINOLOGIE : BILAN ET PROSPECTIVES**, sous la direction d'André Clas, *Journal des traducteurs*, vol. 38, n° 2, Les Presses de l'Université de Montréal, 1987, 120 pages, 9 \$, ISBN 2-7606-0798-4.

**LEXIQUE DE LA MICRO-ÉLECTRONIQUE**, Office de la langue française, *Les Publications du Québec*, 1987, 45 pages, 5,95 \$, ISBN 2-551-08643-4.

**LEXIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ : PRINCIPES ET NOTIONS GÉNÉRALES**, Office de la langue française, *Les Publications du Québec*, 1987, 50 pages, 5,95 \$, ISBN 2-551-08644-2.

**VOCABULAIRE DE LOGICIEL**, Office de la langue française, *Les Publications du Québec*, 1987, 60 pages, 5,95 \$, ISBN 2-551-08642-6.

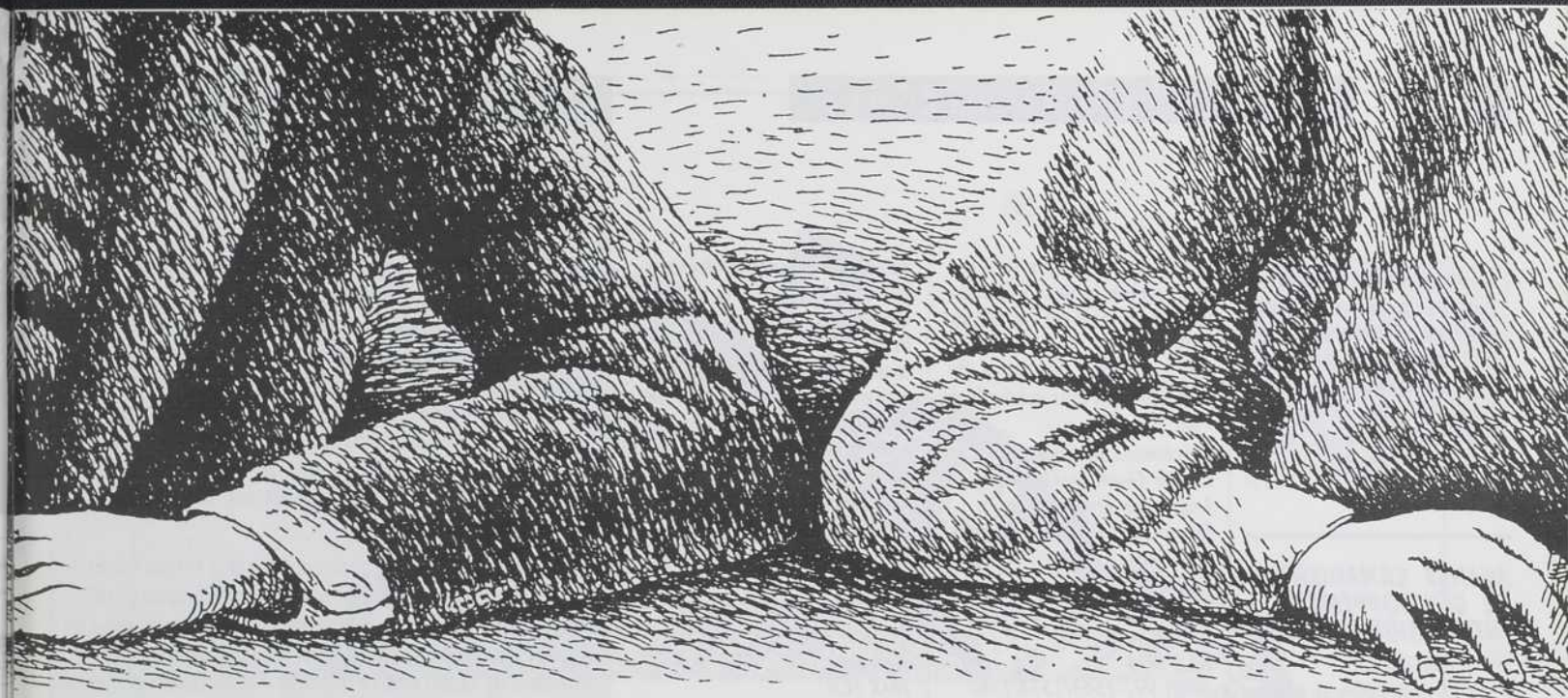
**VOCABULAIRE DU FOUR À MICRO-ONDES**, Office de la langue française, *Les Publications du Québec*, 1987, 47 pages, 5,95 \$, ISBN 2-551-08645-0.

**VOCABULAIRE DE L'ÉDITION ET DE LA RELIURE**, Office de la langue française, *Les Publications du Québec*, 1987, 54 pages, 5,95 \$, ISBN 2-551-08646-9.

**INVENTAIRE DES TRAVAUX EN COURS ET DES PROJETS DE TERMINOLOGIE**, Office de la langue française, *Les Publications du Québec*, 1987, 115 pages, gratuit.

## DIVERS

**RÉPERTOIRE DES MÉMOIRES ET DES THÈSES**, Université du Québec, 1987, 402 pages, gratuit, ISBN 2-7628-1079-5.



# PART... COMME PARTENAIRES

ET COMME **P**ROGRAMME D'**A**IDE À LA **R**ECHERCHE **T**ECHNOLOGIQUE

Vous travaillez dans un collège et vos compétences professionnelles pourraient bénéficier au milieu socio-économique? Le PART a été créé pour vous. Si vous avez de l'intérêt pour les simulateurs, si vous pouvez mettre au point des appareils ou des processus de production, si la conception et l'adaptation de logiciels n'a plus de secret pour vous, si vous pouvez développer un nouveau procédé d'enquête ou une nouvelle technique de marketing, bref, si vous avez un penchant pour les nouvelles techniques ou les nouvelles technologies, vous avez intérêt à connaître le PART.

Souple et accessible, le nouveau programme du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science propose de mettre en valeur les ressources humaines et technologiques des collèges en favorisant leur accès aux milieux local et régional. Tout en offrant la possibilité aux enseignants et aux enseignantes d'enrichir leur tâche, le programme vise à dynamiser la formation professionnelle en resserrant les liens entre les entreprises et les établissements d'enseignement et de recherche du réseau des collèges.

Cette initiative du Ministère encourage de plus les collaborations multidisciplinaires dans les collèges. Le **Programme d'aide à la recherche technologique** suscite également la participation des femmes en concédant un léger avantage aux projets

qui compteront au moins une enseignante dans leur équipe.

Les projets présentés peuvent se dérouler dans un collège, dans une entreprise ou dans tout autre laboratoire jugé pertinent. Les projets en cours peuvent être acceptés.

UN ÉLÉMENT ESSENTIEL: TROUVER UN OU DES PARTENAIRES PARMI DES ENTREPRISES QUI ACCEPTERAIENT DE S'ASSOCIER FINANCIÈREMENT À VOTRE PROJET.

## Bon déPART!

Pour tous renseignements, s'adresser, selon le cas, à la direction des services pédagogiques, aux responsables des centres spécialisés ou à ceux du Service de perfectionnement et de recherche de votre collège ou à la Direction de la recherche et du développement de la DGEC:

Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science  
Direction générale de l'enseignement collégial  
Direction de la recherche et du développement  
1033, rue De La Chevrotière  
Centre administratif G, 17<sup>e</sup> étage  
Québec (Québec)  
G1R 5K9

Tél.: (418) 643-6671 (avant le 26 octobre)

646-4494

646-4495 (après le 26 octobre)



Gouvernement du Québec  
Ministère de l'Enseignement supérieur  
et de la Science

Québec

**Conformément aux exigences prescrites en matière d'immigration au Canada, la priorité sera accordée, pour ces emplois, aux citoyens canadiens et aux résidents permanents.**

### AGENCE CANADIENNE DE DÉVELOPPEMENT INTERNATIONAL (ACDI) ÉCONOMISTES

L'ACDI désire étendre sa banque d'experts dans le but de combler des postes d'économistes affectés à des projets d'assistance technique dans le cadre de ses programmes de coopération internationale. Nous prévoyons avoir à répondre à un certain nombre de requêtes au cours des mois à venir. Nous voulons donc augmenter le nombre de personnes inscrites dans notre répertoire et qui possèdent des connaissances spécialisées en économie reliée à l'agriculture, à la foresterie, aux mines, aux pêcheries et à l'infrastructure. Les titulaires devront jouer un rôle de conseillers auprès de ministères ou auprès d'équipes de projet sur le terrain. En général, les tâches consistent à :

- réaliser des études en planification ou en programmation de projets de développement ;
  - faire des analyses micro ou macro économiques ; ex. : programmes d'ajustement structurel, politiques de commercialisation, études de rentabilité, comptabilité nationale, statistiques, etc. ;
  - appliquer une certaine connaissance de l'informatique reliée à la gestion de projets.
- Lieu d'affectation :** Afrique — Asie — Amérique latine  
**Durée de l'affectation :** 2 ans  
**Début de l'affectation :** dès que possible

**Exigences :** formation en sciences économiques, préférentiellement de niveau maîtrise ; minimum de cinq années d'expérience professionnelle à titre d'économistes et expérience dans un pays en développement souhaitable. La connais-

sance du français ou de l'anglais (selon le lieu d'affectation) parlé et écrit est essentielle.

Les candidats sont priés de faire parvenir leur curriculum vitae à :

Berchmans Arsenau,  
 Louise Guernon-Gauthier,  
 Jean-Yves Tremblay  
 Direction des ressources humaines  
 ACDI  
 200, Promenade du Portage  
 Hull (Québec)  
 K1A 0G4  
 (819) 997-1563/1574/1367

### UNIVERSITÉ LAVAL ÉCOLE DE PHARMACIE ASSISTANT DE RECHERCHE

L'École de pharmacie de l'Université Laval est à la recherche d'un assistant de recherche ayant terminé une maîtrise en chimie ou biochimie. Le travail consiste à synthétiser des N-nitrosamines dérivées de la nicotine et à caractériser leur mode d'alkylation de l'ADN. Ce poste est actuellement ouvert.

Le salaire est à discuter.

Les personnes intéressées sont priées de faire parvenir leur curriculum vitae à :

A. Castonguay  
 École de pharmacie  
 Université Laval  
 Sainte-Foy (Québec)  
 G1K 7P4

### UNIVERSITÉ MCGILL INSTITUT DE PARASITOLOGIE BOURSE POSTDOCTORALE

L'Institut de parasitologie offre une bourse postdoctorale pour l'étude des protéines de surface du protozoaire intestinal *Giardia lamblia* qui pourraient jouer un rôle dans les mécanismes d'adhérence aux mucines glycoprotéiniques ou aux cellules intestinales. Le travail consiste à purifier les protéines, à vérifier leur pouvoir d'attachement et à isoler les gènes codant pour ces protéines. Le (la) candidat(e) doit

détenir un diplôme de doctorat en biologie cellulaire, en biochimie ou en biologie moléculaire. Le poste est ouvert maintenant. La durée est de 2 ans et le salaire annuel, de 21 800 \$. Les candidat(e)s sont prié(e)s d'envoyer leur curriculum vitae et au moins deux lettres de référence au :

D<sup>r</sup> Kris Chadee  
 Institut de parasitologie  
 Université McGill  
 2111, Lakeshore Road  
 Sainte-Anne-de-Bellevue (Québec)  
 H9X 1C9  
 (514) 398-7721

### UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL DÉPARTEMENT DE COMMUNICATION PROFESSEUR

Le Département de communication de la Faculté des arts et des sciences cherche un professeur en communication.

**Fonctions :** enseignement aux trois cycles universitaires ; direction de mémoires et de thèses ; développement de projets de recherche.

**Exigences :** doctorat en communication ou dans une discipline connexe ; expérience de recherche et d'enseignement ; connaissance usuelle de la langue française ; spécialisation dans l'un des domaines de recherche suivants :

- communication organisationnelle dans les entreprises et les institutions contemporaines ou
- politiques nationales et internationales des communications

**Traitement :** selon la convention collective

**Date d'entrée en fonction :** le 1<sup>er</sup> juin 1988

Les candidat(e)s sont prié(e)s de faire parvenir leur curriculum vitae et tout autre document pertinent avant le 7 janvier 1988 à :

André H. Caron  
 Directeur  
 Département de communication  
 Université de Montréal  
 C.P. 6128, succursale A  
 Montréal (Québec)  
 H3C 3J7

## AVIS AUX AUTEURS

**INTERFACE** est une revue multidisciplinaire bimestrielle éditée par l'ACFAS pour les membres de la communauté scientifique. Elle contient des articles de recherche de même que des interviews, des opinions et des informations générales sur la recherche et les chercheurs. Il n'est pas nécessaire d'être membre de l'ACFAS pour y contribuer. L'été (numéro de juillet-août), un bottin des chercheurs regroupant les noms des membres de l'ACFAS, les institutions et les organismes de recherche est publié.

Les articles de fond doivent être des bilans destinés à diffuser l'état des recherches dans un domaine particulier. Clarté et accessibilité constituent également des critères d'acceptation. Le sujet de chaque article doit être introduit de façon à faire ressortir l'importance et l'intérêt des travaux effectués, en soulignant notamment les implications sociales, économiques et politiques de ceux-ci. Il est opportun de situer la recherche par rapport aux autres travaux scientifiques et d'indiquer, le cas échéant, les limites atteintes et les développements possibles. Tout texte reçu est d'abord soumis au comité de rédaction pour une évaluation de la forme puis, s'il est retenu, à deux arbitres (trois, en cas de litige) pour une évaluation du fond. Les articles refusés par le comité de rédaction peuvent être soumis à nouveau après avoir été modifiés.

La chronique **Modem** est ouverte à ceux et celles qui veulent commenter les affaires de politiques scientifiques et les questions de fond touchant la recherche.

La chronique **100 °C** est une tribune largement ouverte aux étudiants diplômés qui désirent communiquer leurs expériences ou préoccupations.

L'**Éditorial** est généralement rédigé sur invitation à partir des préoccupations du comité exécutif de l'ACFAS. Il ne représente pas nécessairement la position de l'Association. Toute personne peut toutefois proposer un projet d'éditorial.

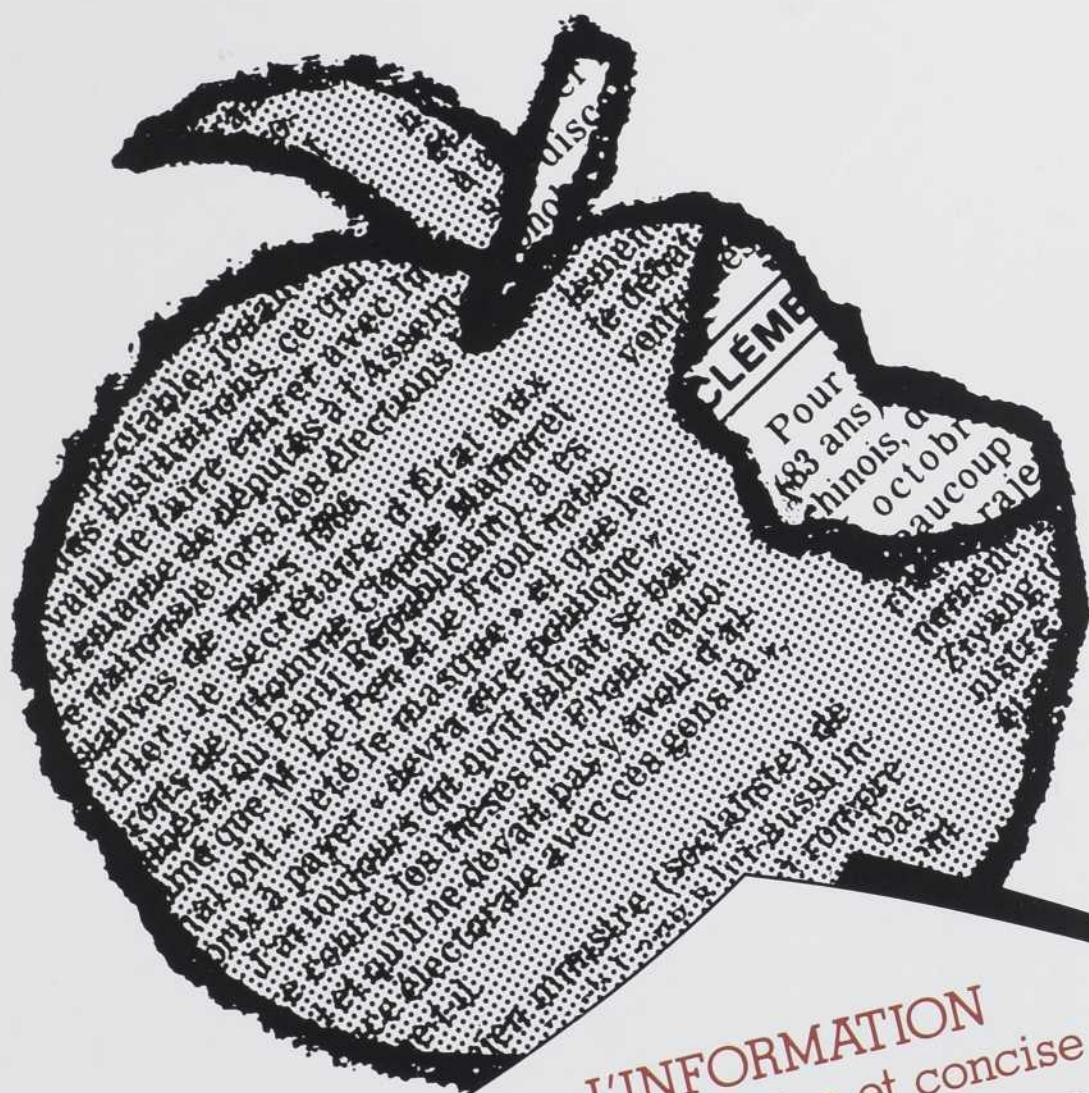
L'interview **Face à face**, la revue des livres **Sources**, les capsules d'information **Science-inter** et les chroniques **Gros Plan**, **Intermonde** et **Transferts** sont du ressort de l'équipe d'**INTERFACE**.

Les lettres des lecteurs sont publiées dans **Interligne** avec les réserves de circonstances touchant les propos diffamatoires ou non fondés.

Enfin, les chroniques **Subventions et bourses**, **À suivre** et **Chercheurs recherchés** sont ouvertes à toute personne ou organisme désireux de rejoindre la communauté scientifique.

Pour obtenir les normes de rédaction, veuillez vous adresser à :

Sophie Malavoy  
 ACFAS  
 Tél. : (514) 342-1411



L'INFORMATION  
Claire, précise et concise

Faut **LE DEVOIR**  
pour le croire!

Pour vous abonner: (514) 844-3361

# FAITES LE PLEIN DE CONNAISSANCES!

LES REVUES QUÉBÉCOISES D'INFORMATION SCIENTIFIQUE : UN CARBURANT ESSENTIEL



**1 QUÉBEC SCIENCE**, doyen des magazines scientifiques québécois (25 ans en novembre 87), s'adresse aux non-spécialistes, et traite une très grande variété de sujets d'actualité. Dans un monde de plus en plus scientifique, il faut lire chaque mois les articles accessibles et bien illustrés de **Québec Science** pour comprendre le présent et prévoir l'avenir. Un an, 11 numéros, 25 \$; 2 ans, 44 \$.

**2 JE ME PETIT-DÉBROUILLE**. Expériences « scientifiques », jeux, bandes dessinées, reportages et chroniques (astronomie, animaux, ordinateurs, etc.). Le magazine du Club des petits débrouillards est le rendez-vous des 7-14 ans qui veulent s'instruire en s'amusant. Un an, 11 numéros, 15 \$ (carte de membre incluse). Deux ans, 28 \$.

**3 LE QUÉBEC ASTRONOMIQUE**, la revue des astronomes amateurs du Québec. On y discute de l'astronomie, de l'aéronautique et des sciences connexes. Voyez comment utiliser un télescope, une carte du ciel ou des jumelles! Apprenez à découvrir les merveilles célestes et à retrouver les planètes... Pour tous ceux qui s'intéressent de près ou de loin à l'astronomie. Un an, 6 numéros, 16 \$.

**4 INTERFACE**. De l'astronomie à la zoologie, Interface vous fait parcourir le pays de la recherche. Quels sont les travaux importants effectués au Québec et au Canada? Qui sont nos chercheurs? Pour le savoir, lisez Interface. Cinq numéros par année, plus le Bâtin annuel de la recherche. Un an, 20 \$ (Étudiants : 10 \$, Institutions/Étranger : 40 \$).

**5 FRANC-NORD**, la vulgarisation scientifique « sauce nature ». Pour ceux qui s'intéressent à la conservation de l'environnement. On y traite de faune, de flore, d'environnement, de loisir et de sites naturels, le tout illustré de superbes photos couleurs. Un an, 4 numéros, 15 \$; 2 ans, 28 \$. Inclut le membership à l'Union québécoise pour la conservation de la nature (UQCN).

**6 FORÊT CONSERVATION**, le magazine de la forêt, de l'environnement et des sciences naturelles. Chroniques et reportages sur les réalités écologiques, économiques et sociales de la forêt, sur l'environnement, la faune et les sciences naturelles. Publié par l'Association forestière québécoise. Un an, 10 numéros, 25 \$ (inclut le membership à l'AFQ).

**7 HUMUS**, le magazine de l'écologie pratique, vous transporte des laboratoires de recherche à la vie quotidienne des paysans du Tiers-Monde, en passant par l'horticulture, la santé et l'alimentation, l'environnement. Rempli d'informations pratiques, Humus est le témoin de l'actualité écologique. Un an, 6 numéros 12 \$; 2 ans, 23 \$.

Oui, je veux faire le plein! Veuillez m'abonner au(x) magazine(s) suivant(s) :

- 1 QUÉBEC SCIENCE** ☐  
**2 JE ME PETIT-DÉBROUILLE** ☐  
**3 LE QUÉBEC ASTRONOMIQUE** ☐  
**4 INTERFACE** ☐  
**5 FRANC-NORD** ☐  
**6 FORÊT CONSERVATION** ☐  
**7 HUMUS** ☐

NOM \_\_\_\_\_

ADRESSE \_\_\_\_\_

CODE POSTAL \_\_\_\_\_ TÉL. : \_\_\_\_\_

Ci joint un chèque de \_\_\_\_\_ à l'ordre de : **AGENCE SCIENCE PRESSE**  
2730, Côte Sainte-Catherine  
Montréal (Québec) H3T 1B7

Prix en vigueur jusqu'au 1<sup>er</sup> juillet 1988.

Votre commande sera traitée rapidement... et scientifiquement.

IF 87