

**Document des réaffectations de fonds 2002 du CRSNG
Mathématiques pures et appliquées
CSS 336 et 337**

Membres du Comité de direction :

James Arthur (Toronto)
Peter Borwein (Simon Fraser)
Ken Davidson (Fields Institute, Waterloo)
Michel Delfour (Montréal)
Nassif Ghoussoub (PIMS, UBC)
Katherine Heinrich (Regina)
Jacques Hurtubise (CRM, McGill)
Richard Kane (Western Ontario, président)
Hershy Kisilevsky (Concordia)
Robert Moody (Alberta)
Richard Nowakowski (Dalhousie)
Edward Vrscay (Waterloo)

Introduction

Il y a au Canada dans le domaine des mathématiques une communauté énergique et unie qui se caractérise par son influence internationale, une infrastructure très efficace de soutien et de diffusion de la recherche (grâce à ses trois instituts et à leurs impressionnantes initiatives) et un ferme engagement en matière d'interdisciplinarité. Depuis dix ans, les mathématiques canadiennes ont subi une transformation fondamentale, d'où est née une nette conscience de leur rôle primordial et omniprésent dans la société canadienne, ainsi que du pressant besoin de se doter, en fonction de cette réalité, d'une stratégie pour cette communauté. Cette activité repose sur un financement stable des chercheurs et des groupes de recherche, lequel passe en majeure partie par les CSS 336 et 337.

Sur cette lancée, nous alignons nos objectifs pour les propositions de financement tant sur la quête d'excellence que sur les perspectives d'avenir, c'est-à-dire sur les chercheurs de premier plan, les chefs de file de demain et les nouveaux demandeurs. Dans nos propositions, nous demanderons ce qui suit :

- (1) proposition A : financement ciblé de chercheurs de premier plan reconnus qui peuvent assumer un rôle de chef de file avec un groupe de chercheurs actif et concentré dans ses travaux;
- (2) proposition B : financement ciblé de jeunes et nouveaux chefs de file dont les activités de recherche et de formation ont atteint un niveau supérieur;
- (3) proposition C : subventions initiales suffisantes pour le très grand nombre de nouveaux demandeurs, universitaires jeunes ou établis, qui s'adresseront aux CSS 336 et 337 ces quatre prochaines années.

Le présent document est ainsi structuré : les parties 1 et 2 énoncent la vision et la stratégie conçues pour les mathématiques canadiennes et les propositions de financement qui s'y rapportent; la partie 3 décrit la communauté canadienne des mathématiques; la partie 4 donne un aperçu des trois instituts du domaine; la partie 5 évoque les nouvelles mesures d'infrastructure; la partie 6 parle de la formation d'un personnel hautement qualifié (PHQ); la partie 7 traite plus en détail des propositions de financement et des conséquences d'une absence de fonds de réaffectation; la partie 8 est une annexe qui livre des indications détaillées sur les instituts spécialisés en mathématiques.

Part 1 : Vision des mathématiques au Canada

Une nouvelle réalité

Le rôle et l'incidence des mathématiques dans le mouvement scientifique, technologique et biomédical dans le monde ont pris des proportions étonnantes depuis dix ans. Leurs instruments de conceptualisation et de calcul sont devenus essentiels aux progrès qui s'accomplissent dans une foule de domaines des sciences de la vie, les technologies de l'information et des communications, les nanosciences et les secteurs financier et industriel. C'est là une réalité nouvelle pour les mathématiques. Leur caractère interdisciplinaire et leur *rôle primordial dans l'avancement de la recherche interdisciplinaire* ont été soulignés dans le récent exposé budgétaire de la NSF (National Science Foundation aux États-Unis) devant la commission des crédits de la Chambre des représentants (House Appropriations Committee). Les mathématiques sont *un puissant instrument d'investigation et un langage commun de la science et du génie*. Dans ce qu'elle décrivait comme une *pièce maîtresse de ses investissements de base*, la NSF a proposé de doubler les fonds affectés à la recherche en mathématiques sur les quelques prochaines années.

Les mathématiques canadiennes sont tout à fait présentes dans cette nouvelle réalité. Depuis 10 ans, les mathématiciens du pays ont noué de solides liens avec une grande diversité de

disciplines scientifiques et de nouveaux domaines de recherche, ainsi qu'avec les secteurs financier et technologique. C'est un mouvement que l'on doit entretenir. Il n'y aura participation entière de la science et de la technologie canadiennes à une vie internationale dominée par les mathématiques et l'interdisciplinarité que si on dispose d'un fort contingent de scientifiques initiés ou rompus à la science des mathématiques. La formation d'un personnel hautement qualifié (PHQ) dans cette discipline est hautement prioritaire.

Une puissante discipline

Les mathématiques sont une science riche et agissante possédant une dynamique, des problèmes et des conjectures qui leur sont propres, tout en offrant à la science et à la technologie un cadre conceptuel et une mine de puissants instruments. On a sans cesse démontré que, à terme, l'importance et l'intérêt des mathématiques pour l'entreprise scientifique tout entière tiennent à la solidité et à la vigueur de la recherche fondamentale qui s'y fait. Ajoutons que, si les mathématiciens canadiens se révèlent capables de s'associer à ce rôle nettement élargi dévolu à leur discipline, ce sera nécessairement grâce à la qualité de leurs chercheurs. Il a fallu 20 ans aux mathématiques canadiennes pour qu'elles atteignent le niveau où elles se situent aujourd'hui, ce que l'on doit à une inlassable activité de recrutement et de perfectionnement de nouveaux chercheurs talentueux. La présente génération de jeunes chercheurs est internationalement reconnue dans maints domaines de premier plan.

Priorités

Voici les priorités des mathématiques canadiennes :

- (1) consolider leur leadership en recherche fondamentale et interdisciplinaire en procurant des ressources mathématiques primordiales à la science et à la technologie;
- (2) augmenter leur capacité de recruter, de soutenir et de former du personnel hautement qualifié dans la discipline.

Instituts de mathématiques

La présence de trois instituts capables d'innover et de donner une direction à la recherche a été un gros atout dans les succès récents des mathématiques canadiennes. Les instituts de recherche en mathématiques, à savoir le Centre de recherches mathématiques (CRM), le Fields Institute for Research in Mathematical Sciences (Fields Institute) et le Pacific Institute for the Mathematical Sciences (PIMS), ont exercé une énorme influence sur la communauté canadienne des mathématiciens. Dans de grands domaines de recherche actuels, ils ont organisé de nombreux programmes scientifiques en mettant l'accent sur le rayonnement, l'interdisciplinarité et les activités internationales. Ils ont pris l'initiative de jeter des ponts entre les mathématiques canadiennes et d'autres disciplines. Ils ont été de grands foyers de formation des jeunes talents. Ils ont aussi fait œuvre de pionnier en liant par des partenariats les mathématiciens et le monde industriel et financier au pays. C'est ainsi qu'ils ont réuni des chercheurs des mathématiques et de l'industrie en un réseau national, le MaTISC, ainsi qu'en un réseau centré à Montréal, le RCM2. L'institut le plus récent est la Banff International Research Station (BIRS), issue d'une collaboration du PIMS et du Mathematical Sciences Research Institute à Berkeley (concertation du CRSNG, de la NSF et du gouvernement albertain). La BIRS sera pour les artisans et les utilisateurs des mathématiques au Canada une grande tribune où tenir des ateliers de recherche et promouvoir tant la recherche mathématique que ses interactions.

Les instituts de mathématiques sont l'éloquente preuve que l'avancement du savoir est souvent concentré dans des domaines d'activité interdisciplinaire ayant pour dénominateur commun l'outil mathématique. Les mathématiques sont la seule discipline canadienne où on ait mis en place à si grande échelle (et avec une telle efficacité) des instituts à vocation interdisciplinaire.

Partie 2 : Stratégie et propositions de financement

Le besoin se manifeste partout d'un relèvement du financement des mathématiques. Dans la présente proposition toutefois, nous limitons nos demandes à certains groupes de chercheurs de premier plan. Dans le dernier exercice de réaffectation, c'est une stratégie qui s'est révélée fort efficace pour l'avancement de la recherche et de la formation en mathématiques.

Mise en œuvre des propositions précédentes

Le Comité de réaffectation de 1998 a accordé des crédits aux CSS 336 et 337 pour deux catégories de chercheurs, soit 539 000 \$ pour les nouveaux demandeurs et les jeunes chercheurs et 323 000 \$ pour les chercheurs de premier plan. Cette injection de fonds a eu une grande incidence sur un grand nombre de chercheurs et sur la formation de PHQ. Les trois statistiques qui suivent évoquent cette incidence et démontrent à quoi a été appliqué le gros des crédits consentis. D'abord, le nombre de mathématiciens ayant reçu une subvention de 30 000 \$ et plus (approximativement le double de la subvention moyenne pour les CSS 336 et 337) a augmenté (de 32 à 59) entre 1997 et 2001. C'est ainsi que les 59 mathématiciens bénéficiaires ont eu droit à un surcroît de financement de 570 000 \$, la valeur totale de leurs subventions ayant monté de 1,6 à 2,17 millions. En deuxième lieu, la proposition de 1998 comportait une liste de 31 « *jeunes mathématiciens canadiens qui sont à l'avant-garde dans plusieurs domaines passionnants* ». Depuis quatre ans, la valeur totale des subventions versées à ces jeunes chercheurs s'est accrue de plus de moitié, passant de 503 000 \$ à 777 000 \$. Enfin, dans cette même proposition de 1998, on visait implicitement à mieux soutenir financièrement les stagiaires postdoctoraux (SP). Depuis trois ans (PHQ, tableau 16), les subventions de recherche versées aux SP ont considérablement augmenté (de plus de moitié) dans le sens même d'un relèvement des crédits destinés aux chercheurs de premier plan. Qui plus est, ce financement a été rehaussé d'au moins 100 %, presque tous les SP en mathématiques étant financés par d'autres partenaires de recherche.

Dynamique de la discipline

Plusieurs courants au sein des mathématiques canadiennes ont contribué à préciser notre perception des propositions de financement à présenter. En voici le tableau détaillé :

a) Une recherche et une formation à plus grande échelle : L'existence de groupes dans des domaines de concentration de la recherche ayant très fréquemment un caractère interdisciplinaire a tout d'un phénomène courant en sciences expérimentales, mais c'est un fait nouveau et d'une importance sans cesse croissante en mathématiques. Bien des facteurs viennent favoriser et caractériser ce mouvement :

- soutien actif des instituts de mathématiques ou du MaTISC;
- accent de plus en plus grand sur l'interdisciplinarité (les projets de recherche ayant un volet mathématique bien défini sont d'une complexité croissante, d'où un besoin accru de compétence professionnelle et de soutien de SP);
- essor des laboratoires universitaires qui ciblent le secteur privé;
- tendance des universités canadiennes à arrêter des priorités de recherche et de formation et des plans de recrutement à long terme qui traduisent ces orientations privilégiées.

L'effet cumulatif du phénomène est appréciable. Cette forme que prend la recherche s'articule habituellement autour d'un chef de file et mobilise une combinaison de SP, d'auxiliaires en programmes et en travail technique, d'étudiants des cycles supérieurs, de chercheurs universitaires et de visiteurs. De tels groupes sont des pépinières (et des pôles d'attraction!) des plus stimulantes en formation pour ces étudiants et ces SP. Ce modèle qui s'offre à la communauté des mathématiciens suscite le besoin de financer les chefs de file plus qu'on ne le faisait par le passé pour de simples chercheurs.

b) Des pressions « démographiques » : Le renouvellement en cours du corps professoral des universités se traduit par une augmentation rapide de la cohorte de mathématiciens universitaires qui sont des chercheurs forts et actifs susceptibles d'obtenir des subventions du CRSNG. Cette croissance rapide du succès de la discipline s'est traduite par une augmentation de 10 % du nombre de bénéficiaires de subventions des CSS 336 et 337 depuis deux ans (DD, tableau 1). Le nombre de nouveaux candidats aux trois derniers concours de subventions (ce qui comprend le concours actuel) s'est respectivement établi à 47, 47 encore et 52. Dans ces totaux, il y a 12, 13 et 23 nouveaux demandeurs qui sont des universitaires établis. Cette progression rapide continuera. Ainsi, on annonce pour la prochaine année 42 postes menant à la permanence pour des mathématiciens, dont 14 postes de professeur agrégé ou titulaire. Le programme des chaires de recherche du Canada (CRC) influera aussi considérablement sur les départements de mathématiques et donc sur les CSS 336 et 337 au cours des quelques prochaines années. Une enquête faite auprès de ces départements indique que 31 CRC sont prévues pour les cinq prochaines années en répartition égale entre les premier et deuxième paliers. À l'heure actuelle, on annonce 10 postes CRC. Pour les 9 CRC actuellement financées par les CSS 336 et 337, la subvention moyenne est de plus de 41 000 \$.

Ces données démographiques sont d'excellentes nouvelles pour les mathématiques canadiennes et leur avenir, mais sont un peu plus inquiétantes pour les CSS 336 et 337. Avec cet afflux de nouveaux talents, on peut sérieusement s'interroger sur la capacité de ces CSS à offrir des subventions adéquates à tous ces nouveaux demandeurs méritants au cours des prochaines années sans pour autant priver sérieusement de fonds les nombreux chercheurs forts qui reçoivent déjà des subventions. L'inquiétude est telle que nous avons jugé bon de présenter une proposition de financement distincte pour les nouveaux demandeurs.

c) Des besoins accrus de financement : Les besoins de financement des mathématiciens s'accroissent. Ceux-ci étant de plus en plus associés à des recherches à grande échelle (ils dirigent un groupe actif ou un projet coûteux, par exemple), un financement nettement majoré s'impose de toute urgence. Il existe aussi un besoin collectif de disposer de plus de fonds. Comme nous l'avons signalé, les jeunes chercheurs talentueux sont nombreux à s'adresser au système, mais on peut démontrer (voir la partie 7) qu'une foule d'excellents chercheurs déjà subventionnés ne le quitteront pas. Pour financer un nombre croissant de chercheurs actifs, il faut nécessairement plus d'argent. On doit également dire que les niveaux actuels de financement des mathématiques sont trop bas pour bien soutenir le contingent de PHQ nécessaire. La subvention moyenne actuelle de 16 580 \$ (2 250 \$ seulement de plus qu'il y a 10 ans; DD, tableau 3) assure le soutien d'un étudiant en maîtrise pendant un an. Même une de nos subventions majorées en mathématiques ne peut entièrement suffire à un stagiaire postdoctoral. Nous ferons ressortir à la partie 6 l'importance des SP dans les programmes de recherche en mathématiques. Pour la gouverne de nos examinateurs, mentionnons que, au Canada, le soutien universitaire en formation de PHQ se limite habituellement au salaire d'une charge d'assistantat ou d'enseignement à temps partiel. Les subventions de recherche sont un élément majeur et nécessaire de ce soutien.

Trois propositions de financement

Nous avons élaboré trois propositions de financement en fonction de la dynamique actuelle et des tendances à venir dans les mathématiques canadiennes. Dans chaque cas, nous justifions la proposition, puis précisons notre demande de fonds.

a) Soutien des chefs de file : Il y a une nouvelle dynamique en mathématiques – la recherche collective s'effectue à plus grande échelle que jamais. Il existe maintenant des groupes établis d'une très grande efficacité autant que des groupes nouveaux, chacun centré sur un chef de file. Nous citons à la partie 3 des exemples de tels groupes et de leurs activités. Il faut davantage de ressources pour que les groupes en place réalisent tout leur potentiel et que les nouveaux puissent mieux se structurer. La présence localement de fonds suffisants est un premier facteur de

l'existence de groupes là où ils sont apparus. Il convient de noter que l'évolution vers des activités de groupes de recherche est plus marquée au Québec et dans l'Ouest canadien.

Il est essentiel pour les mathématiques canadiennes que nous soutenions et encourageons cette nouvelle dynamique et ses artisans. Les CSS 336 et 337 doivent à cette fin prévoir un financement destiné à des chercheurs reconnus qui deviennent ou sont devenus des chefs de file de groupes actifs avec un accent habituellement mis sur la formation ou d'importants travaux de recherche. Grâce à de tels fonds, les chercheurs disposeraient de ressources pour mener des initiatives structurées. Pour une véritable incidence, il faudrait qu'au moins 20 chefs de file reçoivent en moyenne un financement ciblé à raison de 50 000 \$ par an, et ce, normalement pour une période de quatre ans. Les critères importants à retenir seraient un besoin démontré et un plan crédible pour obtenir des fonds d'autres sources si les activités devaient se prolonger à plus long terme. Les sommes pourraient être octroyées dans le cycle habituel de subventions ou réparties dans le cadre d'un concours spécial.

Proposition A : Nous sollicitons des fonds additionnels pour promouvoir des initiatives structurées de chefs de file reconnus de la communauté des mathématiciens de 2003 à 2007; 20 chefs de file recevraient chacun 50 000 \$ pour un financement annuel total de 1 million de dollars.

b) Nouveaux chefs de file : Dans des domaines tant établis que nouveaux, il y a un nombre impressionnant de jeunes chercheurs très influents et très en vue qui devraient avoir droit à un financement proportionné à leur activité. Ces étoiles montantes sont des bénéficiaires en première ou deuxième reconduction de leur subvention qui présentent une bonne feuille de route sur une période minimum de 6 à 10 ans. Il est possible à ce stade de mieux apprécier la qualité de leurs travaux et leurs besoins financiers. Ces nouveaux chefs de file se caractérisent aussi par des besoins financiers grandissants, notamment pour ce qui est de la formation de PHQ.

Proposition B : Nous sollicitons des fonds additionnels pour une amélioration des capacités de recherche et de formation des nouveaux chefs de file de 2003 à 2007; 60 jeunes chercheurs devraient recevoir 10 000 \$ chacun pour un financement annuel total de 600 000 \$.

c) Nouveaux demandeurs : Les statistiques démographiques que nous avons livrées indiquent nettement que les bénéficiaires des CSS 336 et 337 se feront nettement plus nombreux au cours des quatre prochaines années et que, tous les ans, ces comités devront verser de 35 à 40 nouvelles subventions, dont au moins 10 à de nouveaux demandeurs qui sont des universitaires établis.

À l'heure actuelle, on octroie une subvention moyenne de 11 000 \$ en mathématiques aux nouveaux demandeurs qui sont de jeunes universitaires. C'est là une subvention initiale très modeste dont le montant s'explique en définitive par la faiblesse actuelle des subventions versées aux mathématiciens. On devrait viser à accorder à ces nouveaux venus la subvention moyenne actuelle de la discipline, qui est de 16 500 \$. Le degré d'activité de ces jeunes chercheurs justifie d'emblée l'octroi du montant moyen en subvention initiale. En guise de comparaison, disons que c'est là presque la subvention initiale moyenne des quatre dernières années en informatique (DD, tableau 15), où on trouve un groupe de chercheurs débutants aux besoins de financement semblables. Quant aux besoins financiers des nouveaux demandeurs qui sont des universitaires établis, ils seront en moyenne du double (33 000 \$) de ceux des jeunes demandeurs à cause de leur degré d'activité invariablement élevé.

Nous nous sommes aussi reportés aux propres données du CRSNG pour analyser la situation des nouveaux demandeurs auprès des CSS 336 et 337 (voir la partie 7). De notre analyse se dégagent deux conclusions :

- (1) Environ 25 nouveaux demandeurs s'adresseront tous les ans aux CSS 336 et 337. C'est nettement s'écarter de la réalité vécue par ces comités avec 47, 47 encore et 52 nouveaux demandeurs aux trois derniers concours. Précisons en outre que les données du CRSNG ne tiennent pas compte des nouveaux demandeurs qui sont des universitaires établis.
- (2) Les sommes à réaffecter par attrition aux CCS 336 et 337 correspondront pour l'essentiel à la contribution de 10 % du budget de ces comités à l'exercice de réaffectation. S'ils n'ont pas droit à des fonds de réaffectation, les CSS n'auront rien pour verser des subventions aux nouveaux demandeurs, sauf s'ils abaissent nettement les niveaux de financement de reconduction.

Compte tenu du grand écart entre les données empiriques du moment et l'estimation établie à l'aide des données du CRSNG, nous prévoyons 35 nouveaux bénéficiaires par an, dont 10 seront des universitaires établis.

Proposition C : Nous sollicitons des fonds additionnels pour 100 jeunes universitaires et 40 universitaires établis qui, selon nos prévisions, seront de nouveaux demandeurs de 2003 à 2007; les uns et les autres devront respectivement recevoir 16 500 \$ et 33 000 \$ pour un financement annuel total de 2 970 000 \$.

Partie 3 : Description de la communauté canadienne des mathématiques

Voici un aperçu partiel de ce qui s'est récemment fait au Canada en mathématiques fondamentales, en mathématiques appliquées et industrielles et en calcul. Dans chaque cas, notre exposé fera voir les chercheurs importants des sous-disciplines, ceux-ci ayant été choisis en vue d'une vérification des grandes constatations à la base de nos propositions de financement. Notre but est de mettre en relief les aspects suivants :

- la tendance très marquante des mathématiques canadiennes à l'interdisciplinarité (dans chaque domaine de recherche, il y a de grandes activités reposant sur l'interaction avec d'autres disciplines);
- l'abondance d'excellents jeunes chercheurs dans les mathématiques canadiennes (les mentions d'environ 60 jeunes chercheurs sont surmontées d'un astérisque dans le texte);
- la présence dans les mathématiques canadiennes d'un certain nombre de groupes structurés s'occupant surtout de formation et de recherche à grande échelle (de nombreux jeunes chercheurs en font partie).

Distinctions : On peut reconnaître de diverses manières l'excellence d'un mathématicien au Canada. C'est un très grand honneur que d'être invité à prendre la parole au Congrès international des mathématiciens (CIM) ou au Congrès international des mathématiques industrielles et appliquées (CIMIA) de quatre ans en quatre ans. Au Canada même, la Bourse Steacie est une insigne distinction qui rappelle la bourse Sloan aux États-Unis. D'autres distinctions canadiennes d'importance sont la bourse Killam et le titre de fellow de la Société royale du Canada (FSRC). Ces dix dernières années, les mathématiciens ont eu droit à 4 bourses Steacie, à 11 bourses Sloan et à 8 bourses Killam. Par ailleurs, 4 mathématiciens sont devenus titulaires de l'Ordre du Canada et un autre a été élu à la Société royale et s'est vu décerner la Médaille d'or en sciences et en génie du Canada. Nous mentionnons les distinctions accordées dans la suite de ce texte. Les textes en retrait citent des exemples dignes de mention.

Mathématiques fondamentales

a) Théorie des nombres : La théorie des nombres est un des domaines où le Canada excelle le plus. Ses relations sont étroites avec l'algèbre, l'analyse et la géométrie et le gros de son évolution moderne tient à l'étude de ces liens. On a pu y assister à une remarquable synthèse où les aspects analytiques et algébriques sont maintenant considérés comme relevant d'une théorie fondamentale plus profonde.

Au cœur de cette évolution se situe la théorie des « représentations par automorphisme » et les fonctions L liées, dont les propriétés analytiques sont l'expression transposée d'une information arithmétique de fond. Le mathématicien canadien **R. Langlands** (IAS Princeton) a esquissé un programme visionnaire de compréhension des représentations automorphiques qui oriente l'avenir de cette discipline depuis 20 ans. **J. Arthur** (Toronto; FRS, FSRC, Steacie, Killam, Guggenheim, CIM 82, CIM 98, médaillé Tory, médaillé d'or du CRSNG) est un chef de file mondial de ce que l'on appelle le « programme Langlands ». Son travail porte sur l'analyse harmonique, la théorie de Lie, les automorphismes, la géométrie algébrique et la théorie des nombres. Il est parvenu à une vaste généralisation de la formule des traces de Selberg et, de concert avec Clozel, il a présenté la preuve de la « variation cyclique de base », étape fondamentale de l'entreprise d'établissement du programme Langlands. Ce dernier a joué aussi un rôle de premier plan dans la solution par Wiles du problème de Fermat. **H. Darmon** (McGill; Sloan) et ses collaborateurs se sont servis de ces méthodes pour obtenir de nouveaux résultats pour une grande classe d'équations de type Fermat et, plus récemment, ils ont institué des méthodes p-adiques tout à fait nouvelles de démonstration des cas de « grande conjecture » des courbes elliptiques.

En théorie analytique des nombres, **J. Friedlander** (Toronto; FSRC, CIM 94) a fait une percée, dans une suite de communications présentées avec Iwaniec et Duke, dans ce que l'on appelle les bornes de convexité des fonctions L liées aux formules modulaires GL(2). De grandes nouveautés techniques dont ce groupe est l'auteur ont mené à la solution définitive du onzième problème de Hilbert. Elles ont aussi fait découvrir une borne étonnamment basse pour l'ordre de grandeur en demi-ligne des fonctions L de Dirichlet. Friedlander et Iwaniec ont également fait des progrès spectaculaires dans le traitement du filtre asymptotique, ayant pu démontrer qu'il existe un nombre infini de nombres premiers qui sont la somme d'un carré et d'une quatrième puissance. **R. Murty** (Queens; FSRC, Steacie, Killam), qui est bien connu pour ses travaux sur les fonctions L des courbes elliptiques et sur la conjecture des racines primitives de Artin, dirige le groupe de recherche sur la théorie des nombres dont font partie **E. Kani**, **N. Yui** et 4 SP. Mentionnons d'autres jeunes chercheurs en théorie des nombres comme **H. Kim*** et **C. Consani*** à Toronto.

- **H. Darmon** est à la tête d'un groupe de recherche en théorie des nombres à Montréal, lequel comprend **E. Goren*** à McGill et **C. David**, **H. Kisilevsky** et **F. Thaine** à Concordia. Le groupe s'est associé des éléments de Laval, d'Ottawa (**D. Roy**), de Queens et de Vermont. La formation de PHQ est une grande priorité et, ces quatre dernières années, 13 étudiants de maîtrise, 9 étudiants de doctorat et 19 SP y ont été formés.
- **D. Boyd** (UBC; FSRC, Steacie) et **P. Borwein** (SFU; prix Chauvenet) ont dirigé un nouveau groupe d'un immense potentiel en théorie des nombres à Vancouver. Outre **W. Casselman** (UBC; FSRC), on y trouve un grand nombre de jeunes chercheurs talentueux comme **M. Bennett***, **G. Martin*** et **V. Vastal*** à UBC et **S. Choi***, **I. Chen*** et **P. Lisonek*** à USF. Cette équipe fait ample usage d'instruments perfectionnés de calcul (voir la section (p. 15) sur le calcul scientifique à valeurs discrètes).

b) Algèbre : Au XX^e siècle, l'algèbre a été dominée par une quête d'abstraction et de formalisation. On observe de nos jours un net renversement du mouvement, puisque les algébristes s'intéresseront d'ordinaire aujourd'hui aux problèmes d'autres domaines des mathématiques ou de la physique théorique. La théorie de Lie envahit maints sujets : analyse,

géométrie différentielle, physique des particules, théories des cordes, théorie des champs à transformation conforme, théorie des représentations et, dans une mesure croissante, théorie des nombres. Le Canada est particulièrement actif dans tout ce qui est élaboration d'algèbres de Lie infinidimensionnelles. Les travaux de **R.V. Moody** (Alberta; Ordre du Canada, FSRC, médaillé Wigner, lauréat Kaplan), depuis ses premières recherches où il a jeté les bases des algèbres affines Kac-Moody jusqu'aux recherches en cours sur les quasi-cristaux et l'ordre apériodique, démontrent ce lien avec la physique théorique. **T. Gannon*** (Alberta) a comblé les lacunes de la preuve conceptuelle des « conjectures moonshine » pour lesquelles Borcherds s'est vu décerner une médaille Fields. Le découvreur et grand porte-parole de ce profond et fascinant sujet des conjectures moonshine est **J. McKay** (Concordia; FSRC). **S. Berman** (Saskatchewan) a dynamisé tout un milieu d'algébristes de Lie dont les travaux ont permis de relier presque toutes les algèbres non associatives importantes. Les jeunes membres de ce groupe sont notamment **Y. Billig*** (Carleton) et **Y. Gao*** (York). Le grand groupe albertain de recherche en algèbre interactive comprend aussi **A. Weiss** (FSRC) qui, à l'aide de la théorie algébrique K et des méthodes théoriques d'Iwasawa, a apporté une contribution aux récents travaux sur les conjectures équivariantes de Stark.

c) Géométrie et topologie : La géométrie et la topologie se retrouvent dans presque toutes les disciplines mathématiques. Elles sont dans une interaction vaste et diverse avec la biologie, la chimie, l'infographie et la physique. La forte interaction de la physique théorique, d'une part, et de la géométrie et de la topologie, d'autre part, est probablement la nouveauté la plus intéressante. La théorie de jauge est venue révolutionner la topologie hypodimensionnelle. On a assisté à une ample évolution de la géométrie symplectique inspirée par des problèmes de physique.

Au Canada, on a observé de vifs progrès dans ces secteurs. Les travaux de **F. Lalonde** (Montréal; FSRC, Killam, CRC) ont été essentiels à notre compréhension des invariants symplectiques. En collaboration avec D. McDuff (SUNY Stony Brook; FSR, CIM 98), l'intéressé a étudié la stabilité et la rigidité des systèmes hamiltoniens. À Toronto, un impressionnant groupe de jeunes chercheurs est actif en géométrie symplectique. De concert avec F. Kirwan (Oxford; FSR), **L. Jeffrey*** (Toronto; Sloan, CIM 02) a présenté des preuves des fameuses formules de Witten. **E. Meinrenken*** (Toronto; CIM 02) et elles ont individuellement jeté un éclairage fondamental sur la relation entre la quantification et la réduction symplectique. **B. Khesin*** (Toronto; Sloan) est une figure de proue du domaine des groupes de Lie et de la géométrie symplectique infinidimensionnelle.

J. Hurtubise (McGill; AMS Centennial Fellowship) et ses collaborateurs ont fondamentalement enrichi nos connaissances sur divers espaces modulaires des morphismes en démontrant notamment une vieille conjecture en théorie de jauge de M. Atiyah (médaillé Fields) et J. Jones. À McMaster, **I. Hambleton** (Britton Professor) dirige un groupe actif en géométrie qui comprend 6 SP et un nouveau venu, **H. Boden***, spécialisé en théorie de jauge et en géométrie riemannienne. Toronto peut aussi compter sur un groupe bien en vue en géométrie algébrique avec, entre autres, **E. Bierstone** (FSRC) et **P. Milman** (FSRC, Killam), qui ont présenté une preuve constructiviste d'un des plus fameux théorèmes des mathématiques modernes, celui du résultat de désingularisation de Hironaka (ce pour quoi l'intéressé s'est vu remettre une médaille Fields). **M. Kapronov** (Toronto) est reconnu pour son introduction de structures profondes et fondamentales en physique mathématique et en géométrie algébrique. UBC abrite un jeune groupe de chercheurs en géométrie algébrique avec **K. Behrend***, **J. Bryan*** (Sloan) et **Z. Reichstein***, lesquels étudient respectivement les piles algébriques, la géométrie énumérative et la théorie des invariants.

➤ À Montréal, on trouve un groupe bien établi de recherche en géométrie et en topologie (CIRGET) organisé par **S. Boyer** (UQAM), **N. Kamran** (McGill) et **F. Lalonde**. Parmi ses 12 membres qui travaillent dans les 4 universités montréalaises, on peut mentionner **J. Hurtubise** et **A. Joyal** (UQAM; FSRC, Killam), ainsi que 3 jeunes chercheurs, à

savoir **V. Apostolov*** et **O. Collin*** à l'UQAM et **D. Wise*** à McGill. Depuis 1998, ce groupe a formé 26 étudiants de maîtrise, 17 étudiants de doctorat et 24 SP.

d) Analyse fonctionnelle : C'est là un domaine d'intérêt international auquel les chercheurs canadiens ont consacré quelques-uns de leurs meilleurs travaux. Le domaine des algèbres à opérateurs mêle les techniques algébriques, analytiques et topologiques et offre de vastes applications en mécanique et en calcul quantiques, en physique et en génie électrique. **G. Elliott** (Toronto; FSRC, CIM 94, Killam, CRC) a créé et dirige un passionnant et ambitieux programme de codification de toutes les algèbres C par des invariants K-théoriques. **K. Davidson** (Waterloo; FSRC, Steacie, Killam) est très connu pour ses recherches fondamentales ayant porté sur les algèbres à opérateurs non-autoadjoints et sur les théorèmes structuraux des algèbres triangulaires. **D. Handelman** (Ottawa; FSRC, Steacie, Killam) et **I. Putnam** (Victoria; FSRC) ont découvert de nouvelles interactions importantes des algèbres C et de la topologie dynamique. Tous ces mathématiciens sont à la tête de groupes d'analyse très actifs dans leurs universités d'attache. Parmi les jeunes chercheurs, **A. Nica*** (Waterloo) et **R. Speicher*** (Queens) font de grands apports à l'algèbre non commutative des probabilités dans ses liens avec la physique mathématique, le calcul standard des probabilités et la combinatoire. L'analyse fonctionnelle géométrique, qui s'attache à la structure même des espaces de Banach, s'est trouvée stimulée par l'étude de plusieurs grands problèmes demeurés sans solution depuis 50 ans. Les travaux de **N. Tomczak-Jaegermann** (Alberta; FSRC, CIM 98, Killam, CRC) à l'aide de techniques probabilistes et géométriques perfectionnées ont été essentiels à la démonstration que le seul espace de Banach à grande autosymétrie était l'espace de Hilbert. Entre autres jeunes chercheurs en analyse fonctionnelle, mentionnons **M. Khalkali*** (Western) et **V. Runde*** (Alberta).

- **G. Elliott** (Toronto) dirige solidement un groupe de recherche sur son programme de codification. Il se distingue à la fois pour avoir formé de nombreux chercheurs et pour avoir mobilisé des collaborations internationales. Depuis cinq ans, il a formé d'année en année, en puisant à une diversité de sources de financement, 4 étudiants de doctorat et autant de SP en moyenne.
- **N. Tomczak-Jaegermann** (Alberta) dirige un groupe de recherche sur les corps convexes hyperdimensionnels et leur asymptotique dont font partie 3 étudiants de doctorat et 4 SP. Avec un complément de financement grâce à sa chaire CRC et au PIMS, son groupe a pu développer ses travaux.

e) EDP et physique mathématique : La communauté canadienne des chercheurs en EDP recèle une abondance de solides chercheurs ayant de fermes liens avec d'autres disciplines mathématiques comme celles des systèmes dynamiques, de la physique mathématique, de la géométrie différentielle, du calcul des probabilités, des mathématiques appliquées et du calcul scientifique. Le Canada compte un certain nombre de chercheurs de classe internationale pour les aspects qui, en physique mathématique, sont liés aux phénomènes quantiques et à l'analyse spectrale. **M. Sigal** (Toronto; FSRC, CIM 90, Killam, lauréat Syngé) a joué un rôle de premier plan dans une recherche fondamentale ayant porté sur le problème de complétude asymptotique quantique (problèmes à N corps). Il apporte aujourd'hui sa contribution à l'étude des questions de stabilité dans la théorie Ginsburg-Landau des supraconducteurs. **J. Feldman** (UBC; FSRC, CIM 90, lauréat Syngé) est une figure de proue au sein d'un groupe international qui travaille à un ambitieux programme pour des théories mathématiquement rigoureuses de la supraconductivité et des cristaux liquides. Dans le même sens, **V. Ivrii** (Toronto; FSRC, CIM 78, CIM 86) a fait de la recherche fondamentale sur les distributions asymptotiques des valeurs caractéristiques pour l'opérateur de Laplace. Il y a enfin un solide groupe de jeunes chercheurs, avec notamment **D. Jakobson*** (McGill; Sloan), **V. Jaksic*** (McGill), **I. Laba*** (UBC) et **J. Toth*** (McGill; Sloan) qui s'occupent d'analyse spectrale en mettant l'accent tant sur la physique mathématique que sur la théorie des nombres.

Dans le domaine des systèmes dynamiques, **O. Bogoyavlenskij** (Queens) a découvert un certain nombre de rapports frappants entre les systèmes intégrables et la géométrie symplectique. **W. Craig** (McMaster; CRC) étudie les EDP hamiltoniennes et leurs applications à la dynamique des ondes d'eau de surface. Par ailleurs, la modélisation mathématique de la propagation du signal dans les fibres optiques comporte l'application de l'équation non linéaire de Schrödinger pour laquelle **C. Sulem** (Toronto) est une autorité dans le monde. Géométrie et EDP se rencontrent dans les travaux de **P. Guan** (McMaster), qui a récemment parachevé la démonstration de conjectures (par L. Nirenberg) sur les intersections géométriques des corps convexes. **J. Chen*** (UBC; Sloan) et ses collaborateurs ont apporté une contribution fondamentale à la théorie des surfaces minimales, à la théorie de jauge et aux structures de Kahler, ainsi qu'à l'étude de la symétrie bilatérale. **N. Kamran** (McGill) collabore actuellement avec Finster, Smoller et Yau à l'examen d'importantes questions de relativité générale en présence de particules de Dirac. **R. McCann*** (Toronto; AMS Centennial Fellowship) a été un des grands artisans du remarquable enrichissement récent de notre compréhension du problème de transport de Monge-Kantorovitch énoncé dès l'époque napoléonienne. **N. Ghoussoub** (UBC; FSRC) et **C. Gui** (UBC) ont été d'un grand secours dans l'étude des phénomènes de transition de phase en résolvant une conjecture de Gibbons et une autre de DeGiorgi à la dimension 2 et son cas antisymétrique jusqu'à la dimension 5. **M. Delfour** (FSRC; lauréat Urgel-Archambault, Killam) a joué un grand rôle dans le contrôle et la formation d'EDP ayant de nombreuses applications en technologie. Ses travaux sur les formes et la géométrie ont mené à une nouvelle théorie intrinsèque des couches minces et asymptotiques dans ce qui se présente comme un relâchement entier de la régularité classique.

Comme autres jeunes chercheurs impressionnants, mentionnons **R. Almgren*** (Toronto), qui étudie le phénomène de création de formes, **R. Choksi*** (USF), qui se spécialise en lois de la conservation et en ondes de choc, **P. Gustafson*** (UBC), en dynamique tourbillonnaire, **J. Colliander*** (Toronto), en analyse harmonique et en équations d'évolution non linéaires, **N. Kevlahan*** (McMaster), en dynamique des fluides et en calcul scientifique, **A. Nachman*** (Toronto), avec des apports fondamentaux à la solution des problèmes d'inverses, **M. Pugh*** (Toronto), spécialiste international de la dynamique des fluides, et **A. Tourin*** (Toronto), qui s'attache aux équations hamiltoniennes-jacobiennes et à leurs applications.

f) Mathématiques à valeurs discrètes : Pour l'essentiel, les mathématiques à valeurs discrètes sont les mathématiques de l'informatique et un domaine qui s'ancre fermement dans les applications au génie et aux disciplines mathématiques. Les spécialistes du domaine se trouvent dans l'industrie ainsi que dans de nombreux départements universitaires (mathématiques, informatique, sciences commerciales et génie). Ils reçoivent des fonds d'une foule de CSS du CRSNG. Au Canada, d'importants groupes subventionnés par les CSS 336 et 337 sont actifs dans une foule de grands domaines relevant des mathématiques à valeurs discrètes : combinatoire algébrique, théorie des graphes, géométrie à éléments finis, algorithmique des graphes, structures combinatoires, théorie du codage et, plus récemment, cryptographie. Il sera question plus loin à la section sur le calcul scientifique à valeurs discrètes des réalisations du solide groupe de recherche cryptographique de Waterloo (où se distinguent **R. Mullin** et **S. Vanstone** (FSRC, titulaire de chaire de recherche industrielle du CRSNG)). C'est une équipe qui comprend aussi **D. Stinson** (titulaire d'une chaire de recherche industrielle du CRSNG), qui est financé par un CSS en informatique.

Le Canada dispose d'atouts de taille en combinatoire algébrique avec pour foyers l'UQAM et l'Université de Waterloo. **C. Reutenauer** (UQAM; CRC) travaille à des projets fort divers, qu'il s'agisse d'algèbres sans contraintes de Lie, de combinatoire du langage, d'algèbres non commutatives ou d'algèbres de descente. **D. Jackson** (Waterloo) étudie actuellement les recouvrements ramifiés de surfaces et les nombres de Hurwitz. **F. Bergeron** (UQAM) examine pour sa part des familles de polynômes spécialisés : polynômes de Macdonald, harmoniques et quasi symétriques. **N. Bergeron*** (York; CRC) nourrit divers intérêts : algèbres de descente,

polynômes de Schubert, algèbres de Hopf et géométrie des structures-drapeaux. Des mathématiciens canadiens apportent une contribution importante à la théorie des graphes et à la combinatoire des formes. **B. Alspach** (Regina) dirige un groupe d'étudiants des cycles supérieurs et de SP qui ont entièrement résolu le vieux problème de décomposition cyclique. Il y a de jeunes chercheurs dignes de mention en mathématiques à valeurs discrètes, dont **J. Brown*** (Dalhousie), **P. Haxell*** (Waterloo), **A. Menezes*** (Waterloo), **J. Geelan*** (Waterloo), **J. Morris*** (Lethbridge; APU), **B. Stevens*** (Carleton), **J. Huang*** (Victoria) et **O. Oellermann*** (Winnipeg).

- **F. Bergeron** et **C. Reutenauer** sont les grands artisans d'un laboratoire montréalais de combinatoire et de calcul théorique (LACIM). Ce groupe s'occupe fort activement de formation de PHQ, ayant formé 27 étudiants de maîtrise, 13 étudiants de doctorat et 6 SP ces quatre dernières années.

g) Calcul des probabilités : Depuis 20 ans, les nouvelles idées en calcul des probabilités ont logé à l'enseigne de l'interdisciplinarité et des applications industrielles. Le domaine s'est répandu dans une foule de nouvelles directions à cause de ses liens avec la biologie mathématique, les finances, la physique statistique, la chimie des polymères, les modèles d'écoulement de fluides et les télécommunications. En calcul des probabilités, le Canada peut compter sur un groupe extrêmement solide de chercheurs qui ont frayé un grand nombre de ces voies nouvelles.

E. Perkins (UBC; FSRC, CIM 94, Steacie, CRC) et ses collègues ont fait des processus limites un grand sujet d'étude international en démontrant en particulier qu'ils se présentent comme des limites d'échelle des modèles exploités en génétique des populations, en épidémiologie et en écologie mathématique. Les communautés canadiennes du calcul des probabilités et de la physique statistique se sont trouvées enrichies par la nomination récente de **D. Brydges** (UBC; CRC), qui a exercé une profonde influence par l'introduction en calcul des probabilités d'idées tirées de la théorie constructiviste des champs. Une des méthodes les plus puissantes de mécanique statistique, mise au point par Brydges et Spencer au milieu des années 1980, est celle du développement en dentelle. **G. Slade** (UBC; FSRC, CIM 94) jouit d'une renommée internationale pour son recours à cette technique dans l'étude des modèles de polymères (marche aléatoire auto-évitante, arbres-treillis) en chimie et des phénomènes de percolation. Ses récents travaux ont aidé à établir un lien de grand intérêt entre ces modèles et les processus limites. Un apport remarquable du calcul des probabilités à la mécanique des fluides a été l'établissement par **J. Quastel*** (Toronto; Sloan), en collaboration avec Yau, de l'équation de Navier-Stokes comme la limite en milieu continu d'un système stochastique à N particules.

- Le groupe de recherche sur le calcul des probabilités à l'UBC gagne en structuration : il peut compter sur un remarquable noyau avec ses deux titulaires CRC, Brydges et Perkins, plus Slade, **M. Barlow** (FSRC, CIM 90) et **J. Walsh** (FSRC, CIM 74). Il prévoit recruter plus d'universitaires et obtenir un soutien du PIMS. Il demande des fonds à la FCI pour se procurer des locaux suffisants.

Mathématiques appliquées et industrielles

a) Mathématiques biomédicales : Le XX^e siècle a connu une révolution en physique, mais le XXI^e sera le « siècle de la biologie ». On s'attend à ce que le séquençage du génome humain mène à de grands progrès dans les sciences de la santé et de l'hérédité et dans le traitement des maladies d'origine génétique. Pour être couronné de succès, le projet d'étude du génome humain a dû compter sur les courants d'idées en mathématiques et en calcul, des algorithmes complexes de traitement et des ordinateurs des plus puissants. La grande question est aujourd'hui de savoir comment extraire l'information utile de ces séquences. La découverte des processus de régulation que comporte le génome est la prochaine étape à franchir, ce qui nous fera entrer dans l'ère nouvelle de la génomique fonctionnelle. Les mathématiciens canadiens qui se sont attelés à cette tâche sont notamment **D. Sankoff** (Montréal; boursier ICRA, Programme de biologie de

l'évolution 1992-2002, FSRC, Killam), **D. Bryant** (McGill), **M. Li** (Waterloo), **P. Kearney** (Waterloo), **V. King** (Victoria), **T. Wareham** (Memorial), **A. Bergeron** (UQAM), **N. El-Mabrouk** (Montréal; boursier ICRA, Programme de biologie de l'évolution) et **A. Bonner** (Toronto).

Le projet du génome relève d'un effort mondial de recherche en physiologie, en biologie cellulaire, en développement, en chimie structurale et en génétique dans la lutte livrée à la maladie. Le Canada jouit d'une longue et ferme tradition de recherche en physiologie et en dynamique mathématique des populations. Ce sont des domaines qui continuent à apporter de grandes choses en recherche. À l'Université McGill, le **Centre de dynamique non linéaire en physiologie et médecine (CDNPM)** est un éloquent exemple d'une telle recherche interdisciplinaire structurée au pays. **M.C. Mackey** (FSRC; professeur Joseph Morley Drake) et **L. Glass** (McGill; FSRC, titulaire de la chaire Isadore Rosenfeld en cardiologie) ont fait en 1977 la percée conceptuelle qui a fait connaître le domaine de la « dynamique des maladies ». Au nombre des mathématiciens membres du CDNPM, on compte **J. Bélair** (Montréal), qui se sert d'équations différentielles à décalage et fonctionnelles pour modéliser les rythmes biologiques complexes (régulation neuromusculaire, numération cellulaire, réseaux neuronaux et administration graduée de médicaments), et **S.A. Campbell** (Waterloo), qui étudie, par des systèmes dynamiques non linéaires et des équations différentielles à décalage, des systèmes autorégulés à rétroaction en mécanique et en physiologie. En collaboration avec le secteur du génie et l'industrie (Cardianove), **M. Delfour** (Montréal) participe à un projet mixte CRM-CERCA RCM2 de conception et de commande d'appareils médicaux (endoprothèses en cardiochirurgie, par exemple). L'UBC jouit aussi d'une solide tradition en biologie mathématique avec d'éminents pionniers comme **C. Clark** et **D. Ludwig** (gestion des ressources naturelles et écologie), **R. Miura** (neurophysiologie) et de jeunes étoiles montantes en recherche comme **L. Edelstein-Keshet** (développement et création de formes), **Y.-X. Li** (neurophysiologie) et **M. Doebeli** (écologie). **R. Miura** (FSRC, Guggenheim), cofondateur de la théorie des solitons, est un chef de file de l'étude des propriétés mathématiques des milieux excitables. Il a analysé les comportements électriques d'éclatement des cellules pancréatiques et les caractéristiques électriques des neurones du cortex. À Victoria, la biologie mathématique a pour figures de proue **P. van den Driessche** (dynamique des populations et modèles épidémiologiques) et **R. Edwards** (réseaux neuronaux et régulation neuromotrice). **J. Wu** (York; CRC) et **A. Longtin** (Ottawa) travaillent à la modélisation de l'appareil nerveux et étudient le comportement de bifurcation de modèles d'équations différentielles à décalage, et plus particulièrement le rôle des processus stochastiques dans la reconnaissance et la transduction de signaux. Sous l'influence de **H. Freedman**, l'Alberta s'est aussi donné de solides chefs de file par le recrutement d'étoiles montantes comme **M. Lewis** (CRC) en écologie et de **G. de Vries** en physiologie. Les chercheurs albertains **M. Y. Li***, **J. Muldowney**, **G. de Vries** et **D. Wiens** ont entrepris un projet MaTISC de modélisation mathématique en développement pharmaceutique.

Le leadership du Canada s'est fort bien manifesté sur le plan international par une présence canadienne au sein de la Société de biologie mathématique (SBM), qui est l'organisme le plus « mathématisé » de ce secteur. M. Mackey a été le premier président de la SBM; L. Glass et L. Edelstein en sont des ex-présidents et M. Lewis, le président en exercice.

b) Mathématiques appliquées et modélisation : On peut formuler maints problèmes en physique et en biologie sous forme d'équations différentielles ordinaires ou d'équations aux dérivées partielles. L'analyse de ces équations et de leurs solutions (régularité, bifurcation et comportement asymptotique, approximation numérique et optimisation) peut souvent nous éclairer non seulement sur les questions mathématiques, mais aussi sur les phénomènes physiques en cause, d'où une incidence appréciable sur les applications industrielles. Grâce à la mise à contribution de jeunes chercheurs talentueux, on a de plus en plus tendance à privilégier ce genre de recherche interdisciplinaire au Canada.

Dans le domaine de la mécanique des milieux continus, **J. Heywood** (UBC) a produit, de concert avec Rannacher, la première analyse complète de convergence de structures à éléments finis pour les équations de Navier-Stokes. Ce progrès théorique est à l'origine d'un résolveur reconnu en dynamique des fluides continus. Par ailleurs, **R. Illner** (Victoria) est notamment parvenu à un résultat global d'existence et d'unicité pour l'équation de Boltzmann. **T.B. Moodie** (Alberta) a été le premier à introduire les concepts d'énergie de déformation en recherche cardiovasculaire. Il a résolu un problème vieux de 50 ans en établissant une forme invariante de cadre des équations constitutives de la thermoélasticité. Nombreux sont les jeunes chercheurs talentueux qui travaillent dans de nouveaux domaines en mathématiques appliquées. **M. Ward** (UBC; Steacie, CIMIA 95) a apporté une contribution de taille à l'étude des phénomènes métastables dans les équations de réaction-diffusion avec des applications à la science des matériaux. De concert avec des physiciens des états condensés de la matière, **S. Alama** (McMaster) et **L. Bronsard** (McMaster) travaillent à des modèles SO(5) de supraconductivité. **J.J. Xu** (McGill) a étudié la croissance dendritique et cristalline grâce à des fonds de la NASA. **A. Pierce** (UBC) a largement contribué à l'analyse computationnelle de problèmes de mécanique des roches et des ruptures. Il a des liens en recherche avec Schlumberger. **W. Langford** (Guelph) est un spécialiste de premier plan en théorie des bifurcations. Il a étudié divers sujets comme la transition de turbulence de la fameuse expérience Taylor-Couette en mécanique des fluides, les phénomènes de résonance dans le cas des vibrations par écoulement, les interactions en mode chaotique et les instabilités des systèmes biologiques. **A. Lewis** (USF) a produit avec **J. Borwein** (USF; lauréat Chauvenet) des résultats clés de convergence pour les méthodes d'entropie maximale.

- Le nouveau **laboratoire de mathématiques appliquées et industrielles** de l'Université McMaster (AIMS), qui est dirigé par **W. Craig**, étudie prioritairement les applications de l'analyse et du calcul scientifique à la solution des problèmes de sciences appliquées et de génie et des problèmes industriels. Les membres du noyau de ce centre font partie d'un groupe nouvellement réactivé de recherche en mathématiques appliquées à l'Université McMaster. Mentionnons **S. Alama**, **L. Bronsard** et **G. Wolkowicz**, ainsi que 3 nouveaux venus (**D. Earn***, **N. Kevlahan*** et **D. Pelinovsky***) et 6 SP. D'autres foyers d'avancement des mathématiques industrielles sont l'**Applied Mathematics Institute** (AMI) en Alberta et l'**Institute of Industrial Mathematical Science** (IIMS) au Manitoba.

c) Mathématiques financières : Ces dix dernières années, les mathématiques financières sont devenues un grand centre d'intérêt au Canada. **U. Haussmann** (UBC) est un chef de file du contrôle d'optimalité des équations différentielles stochastiques avec des applications au domaine des finances. En calcul stochastique, la formule de Clark-Haussmann est un des instruments fondamentaux de fixation des prix de produits dérivés. On a créé des programmes d'études supérieures dans un certain nombre d'universités et le Fields Institute a fait des mathématiques financières une des priorités de son programme de rayonnement. Le **Mathematics Finance Laboratory** à Calgary, le **Risklab** à Toronto et le **Mathematics Finance Laboratory** (PhiMAC) à McMaster appliquent la théorie des EDP à l'étude des marchés et des risques de crédit. Dans deux projets MaTISC sous la direction d'**U. Haussmann** (UBC) et **T. Hurd** (McMaster), on étudie la gestion des risques financiers.

Théorie du calcul

Le calcul fait aujourd'hui partie intégrante des sciences et du génie, jouant un rôle aussi primordial que celui de la théorie-expérimentation du passé. C'est là un domaine où les mathématiques canadiennes, tant fondamentales qu'appliquées, ont innové considérablement. Des voies ont bel et bien été frayées en modélisation numérique, en théorie computationnelle des nombres, en cryptographie et en analyse symbolique. La théorie des nombres avec les liens étroits qui la rattachent à l'algorithmique, à la cryptographie, à la correction des erreurs et au calcul est un grand thème qui revient dans le gros des travaux que nous décrivons.

a) Modélisation numérique

M. Fortin (Laval; FSRC) est un chef de file des méthodes mixtes à éléments finis. Il a apporté une contribution originale à la mécanique computationnelle des fluides et des solides. Il est à l'origine d'une féconde collaboration de vieille date avec les secteurs du génie et de l'industrie (Bombardier, ADS Composites, Prevost Cars) et avec la médecine par des projets interdisciplinaires comme SKALPEL-ICT (modèle noyau de simulation appliqué à la planification et à l'évaluation en cryothérapie guidée par l'image). Il s'est attaqué à des problèmes industriels à grande échelle (PIGE-ISP, Pratt & Whitney et ALCAN). **A. Fortin** (Laval) travaille au façonnage de matériaux de polymères et à l'élaboration de solveurs par itération de problèmes en mécanique des fluides (Peugeot et Elf). Il étudie actuellement les méthodes mixtes de grande déformation de matériaux hyperélastiques avec Michelin.

- Le **Giref (Groupe interdisciplinaire de recherche en éléments finis)** à l'Université Laval, que dirige A. Fortin, s'occupe de promotion et de mise au point de techniques mathématiques pour les sciences du génie, plus particulièrement par l'élaboration de logiciels en collaboration. Il a des contrats dans l'industrie avec Bombardier, ALCAN, Pratt & Whitney Canada, etc. Disposant d'un budget de 230 000 \$, il a organisé la *Journée annuelle des éléments finis*, qui a connu beaucoup de succès.

Il y a aussi un groupe de **modélisation mathématique et de calcul scientifique** qui fait partie du Réseau des centres d'excellence du MaTISC et se compose de **R. Choksi*** (USF), **H. Huang** (York), **M.C. Kropinski** (USF), **R. Miura** (auparavant de l'UBC), **A. Peirce** (UBC), **K. Promislow** (USF), **R. Russell** (USF), **S. Ruuth** (USF), **B. Seymour** (USF), **M. Ward** (UBC), **B. Wetton** (UBC) et **R. Westbrook** (Calgary). Ceux-ci ont entrepris un projet avec Ballard Power Systems avec laquelle ils font une modélisation multidimensionnelle des transferts de chaleur et de masse avec changement de phase dans les électrodes de piles à combustible. Le groupe de **M. Best**, **L. Tuncel** et **H. Wolkowicz** à Waterloo est spécialisé en optimisation continue, en réduction semi-définie des problèmes d'un calcul difficile, en programmation quadratique, en optimisation et en méthodes à points intérieurs. D'autres laboratoires de calcul sont le **laboratoire de recherche en analyse numérique** à l'Université d'Ottawa et le **centre de calcul combinatoire** de l'Université Memorial.

b) Calcul scientifique à valeurs discrètes

(i) Calcul symbolique : Au Canada, le calcul symbolique a considérablement avancé grâce aux travaux de **J. Borwein** (USF; FSRC, lauréat Chauvenet), et plus particulièrement par sa fonction de directeur du **Centre for Experimental and Constructive Mathematics (CECM)** à l'USF.

- Les chercheurs du CECM étudient et cultivent l'interaction des mathématiques classiques et du calcul moderne. Ce centre a fait œuvre de pionnier en la matière dans les mathématiques canadiennes et en demeure un moteur. Il soutient des projets de recherche en calcul symbolique, en calcul numérique, en théorie de la complexité, en technologie coopérative des réseaux, ainsi qu'en visualisation et en information numériques. Ses projets mobilisent un grand nombre de partenaires industriels, dont MathResources, Waterloo Maple, SmartTech, SynchroPoint et Packeteer.

Un projet MaTISC en analyse symbolique, que dirige **P. Borwein** (USF; lauréat Chauvenet) est un sous-produit du courant d'innovation au CECM. Avec Maple comme société partenaire, on y étudie l'utilisation de l'analyse symbolique en analyse mathématique. Des bénéficiaires d'une diversité de disciplines, dont **S. Watt**, financé par le secteur de l'informatique au CRSNG, et **R. Corless**, financé par celui du génie mécanique, prennent une part active à ces travaux. Ceux-ci se trouvent tous deux à l'Université Western Ontario.

(ii) Théorie computationnelle des nombres : En théorie des nombres, on observe une tendance marquante à une plus grande dépendance de la théorie à l'égard du calcul. **P. Borwein** (USF;

lauréat Chauvenet), en partie avec **J. Borwein** (USF; lauréat Chauvenet), a fait faire d'immenses progrès en algorithmique pour la théorie des nombres, notamment en découvrant une façon étonnante et efficace de calculer les nombres spécifiques de polylogarithmes (dont le nombre π). L'étude des fonctions L est un domaine qui a largement profité du recours aux techniques de calcul. **D. Boyd** (UBC) a éclairé par le calcul la détermination des valeurs spéciales des fonctions L et leur relation avec les mesures de Mahler, tout en examinant toute une gamme d'autres questions de calcul : sphères garnies, nombres de Pisot et de Salem et invariants des structures topologiques hyperboliques. **M. Bennett*** (UBC) et **G. Martin*** (UBC) ont élaboré des algorithmes spécialisés dans leurs études respectives des équations diophantiennes et des zéros des fonctions L.

(iii) Cryptographie : La cryptographie est très présente au Canada. La théorie des nombres et la géométrie algébrique ont été à l'origine d'un très fructueux système de cryptographie publique conçu par les mathématiciens **R. Mullin** et **S. Vanstone** de l'Université de Waterloo. Même après la contraction du marché, leur entreprise, **CertiCOM**, emploie toujours quelque 200 personnes, dont 20 docteurs en mathématiques et en génie. Revenu Canada, IBM, Motorola et diverses banques font partie de leur clientèle. Un théoricien des nombres, **K. Murty** (Toronto; FSRC, Steacie) a commercialisé un système de cryptage fondé sur des variétés algébriques. Son entreprise créée en 1999, **Karthika**, emploie aujourd'hui 15 personnes. Il y a aussi des projets MaTISC, avec Murty et **A. Menezes** (Waterloo) comme chefs de file, qui portent exclusivement sur la cryptographie. **H. Williams** (Calgary; Killam) a fait diverses percées en tests de nombres premiers en cryptographie à clé publique. Il dirige l'**iCORE Centre for Cryptography** à Calgary.

➤ Le **Center for Applied Cryptographic Research (CACR)** de l'Université de Waterloo, qui a vu le jour en 1998, est vite devenu un des plus grands foyers de recherche cryptographique au monde. De 1998 à 2001, le CACR a reçu plus de 1 million en fonds de recherche de l'industrie privée (Certicom, MasterCard, Pitney Bowes, etc.) avec des fonds de contrepartie du CRSNG, du MaTISC, de la FOERD et du CITO. En quatre ans, il a organisé sept conférences internationales de recherche et neuf ateliers d'une journée en sécurité de l'information au bénéfice de ses partenaires de l'industrie.

Comme autres laboratoires s'occupant d'informatique mathématique, mentionnons le **Laboratoire de combinatoire et d'informatique mathématique (LACIM)** de l'UQAM et l'**Applied Computer Lab** de l'Université Saint-François-Xavier.

Partie 4 : Instituts de mathématiques

Les instituts canadiens de mathématiques sont la cheville ouvrière par laquelle se façonnent et s'établissent les nouvelles réalités des mathématiques canadiennes (comme nous l'avons décrit à la partie 1). Les trois instituts présents en sol canadien ont fait œuvre de pionnier sur le plan international en organisant une étonnante diversité d'activités scientifiques avec un accent sur les nouveaux domaines d'investigation, les secteurs où se croisent les branches des mathématiques et ceux qui débordent les délimitations habituelles des disciplines. Ils ont particulièrement réussi à promouvoir la recherche interdisciplinaire. Ils ont systématiquement édifié des partenariats entre les mathématiques, les autres disciplines et le secteur des entreprises et de l'industrie. Il faut ajouter qu'ils représentent le principal mécanisme de rayonnement des mathématiques tant dans l'industrie que dans le secteur de l'éducation. Mentionnons enfin qu'ils se sont nettement engagés dans la voie d'une formation globale de la main-d'œuvre hautement qualifiée (PHQ), aux deux cycles supérieurs comme au niveau postdoctoral, avec une insistance sur ce qui se fait comme recherche d'intérêt et d'innovation (voir la description qui précède). Les effets accumulés des instituts sur l'activité mathématique au pays et sur le rôle des mathématiques dans les sciences canadiennes se sont révélés profonds.

Les instituts mathématiques du Canada se sont donné une capacité unique de fonctionner simultanément comme réseau national et comme moteurs régionaux, chacun dans leur région. Ils apportent de grands avantages aux mathématiques canadiennes à ce double niveau. D'importantes initiatives ont vu le jour sur le plan tant individuel (RCM2 et BIRS) que collectif (MaTISC). Leurs bases régionales respectives leur ont permis de multiplier les ressources et les possibilités à un rythme remarquable. À l'heure actuelle, les fonds fédéraux qui vont aux trois instituts sont complétés par des apports annuels de presque 4 millions des universités et des gouvernements provinciaux et de presque 3 millions du secteur privé. Avec une présence régionale, il est aussi possible d'optimiser tout ce qui est multiplication des ressources humaines. Les instituts de recherche ont une forte incidence sur l'activité scientifique dans leur région d'attache et dépendent aussi beaucoup de cette activité. Qui plus est, la présence régionale a été essentielle à un rayonnement efficace au profit surtout des entreprises et de l'industrie locales. Sur le plan national, les instituts collaborent grandement, le but étant de créer des possibilités de recherche dans toutes les régions du pays. Le MaTISC (dont il sera question à la partie 5) est leur coentreprise la plus imposante et la plus réussie. Ils financent et coordonnent en outre les activités de leur comité national des programmes, qui vient soutenir l'Atlantic Association for Research in the Mathematical Sciences (AARMS) et trois grandes associations professionnelles de mathématiciens canadiens. Une récente initiative a consisté à former un partenariat avec plusieurs universités de la région de l'Atlantique et l'AARMS en vue du développement des mathématiques dans l'est du pays. On s'est fixé pour objectif de créer un programme d'ateliers et d'activités des cycles supérieurs pour la promotion des mathématiques dans une région où abondent les petites universités.

Les instituts collaborent, mais se font aussi concurrence dans des domaines appropriés. Nous considérons une telle concurrence comme saine et utile, car elle relève d'une quête d'excellence et contribue nettement au courant permanent d'innovation qui caractérise ces organismes et à leur influence considérable sur les mathématiques canadiennes et internationales. Bref, ces instituts sont en plein épanouissement et bien appréciés des mathématiciens du pays. Les trois jouent un rôle essentiel dans les mathématiques canadiennes et leur incidence continuera à s'amplifier. Nous évoquerons en annexe à la fin du présent document les grandes contributions apportées par chaque institut depuis le dernier exercice de réaffectation.

Partie 5 : Nouvelles initiatives d'infrastructure

L'interdisciplinarité est aujourd'hui une grande force qui façonne à la fois la recherche mathématique et la formation des étudiants de maîtrise et de doctorat au Canada. On doit en majeure partie ce mouvement d'interdisciplinarité à l'importance nouvelle de l'infrastructure mise en place ces dix dernières années. De leur propre chef et par diverses initiatives de taille, les instituts de mathématiques ont été de véritables chefs de file dans ce domaine. Nous parlerons d'abord de trois de leurs démarches les plus systématiques en matière d'interdisciplinarité.

MaTISC : Le très fructueux réseau national MaTISC (**Réseau de mathématiques des technologies de l'information et des systèmes complexes**) est une initiative commune des trois instituts. Il a favorisé l'éclosion de partenariats très divers où les mathématiques s'allient à l'industrie et aux entreprises. Il finance actuellement 25 projets réalisés avec plus de 75 entreprises de parrainage. Plus de 40 bénéficiaires des CSS 336 et 337 ont participé à 15 projets MaTISC, auxquels ont été associés 150 scientifiques et 50 entreprises. Ces CSS ont fourni les chefs ou les chefs associés de neuf des projets en question où on étudie toutes sortes de phénomènes : imagerie sismique, analyse symbolique, stockage, extraction et reconnaissance de formes, cryptographie, science des matériaux, traitement de signaux, gestion des risques financiers. À l'heure actuelle, les projets reçoivent 825 000 \$ du MaTISC et puisent 300 000 \$ à d'autres sources.

BIRS : La **Banff International Research Station** (BIRS) est un nouvel établissement de recherche situé à Banff en Alberta. Elle repose sur le très fécond modèle Oberwolfach-Luminy (qui se compare au modèle bostonnais des Gordon Research Conferences). Dès 2003, la BIRS tiendra chaque année 40 ateliers internationaux de recherche d'une durée de cinq jours qui porteront sur l'ensemble des mathématiques fondamentales et appliquées, la biologie et la physique mathématiques, la théorie des ordinateurs et les mathématiques industrielles et financières. Elle favorisera la formation de jeunes chercheurs talentueux. C'est là une coentreprise canado-américaine du PIMS et du MSRI (Berkeley). Il n'y a pas que le soutien du PIMS, puisqu'on a obtenu des fonds sur quatre ans de la NSF, du CRSNG (AIM) et de l'Alberta Science Research Authority. On a répondu avec enthousiasme à la demande de propositions pour 2003. La BIRS a reçu 108 propositions de qualité pour des ateliers, chacun en coorganisation canado-américaine. C'est là la première coentreprise CRSNG-NSF à une telle échelle.

RCM2 : Le **Réseau de calcul et de modélisation mathématique** (RCM2) est une alliance de huit centres de recherche et de transfert de la région de Montréal. Le CRM en est le partenaire directeur. La subvention de 3 millions sur 5 ans versée au RCM2 par le programme de partenariats de recherche du CRSNG, dont l'industrie a payé la contrepartie, permet actuellement de soutenir 20 projets en optimisation, en finances, en gestion des risques, en imagerie, en extraction de données, etc. Le réseau a établi de grands laboratoires avec un certain nombre de partenaires importants. Il y a notamment le laboratoire (de 12 millions) de recherche sur le commerce électronique et le multimédia (lancé en 1998 en collaboration avec Bell) et, plus récemment, le Laboratoire universitaire sur le temps extrême (LUTE), qui dispose de contributions annuelles de 300 000 \$ en espèces, de cinq chercheurs à plein temps et de temps de calculateur fourni par Environnement Canada pour une valeur de jusqu'à 1 million. Mentionnons enfin deux grands projets « Valorisation Recherche Québec » de plus de 1 million en commerce électronique et en gestion des risques.

Laboratoires et centres nouveaux : L'évolution depuis dix ans qui a donné naissance à un nombre impressionnant de laboratoires ou de centres voués à l'interdisciplinarité et aux mathématiques industrielles vient aussi confirmer la tendance à l'interaction des intervenants. Ce sont des laboratoires et des centres qui reçoivent un financement de base et se situent d'ordinaire en milieu universitaire. Ils sont le reflet de l'apparition de nouvelles priorités de recherche et de formation dans les universités. Il y a dix ans encore, ils n'étaient qu'une poignée, mais aujourd'hui on en dénombre au moins 20. Dans tous, on observe une vaste présence de chercheurs financés par les CSS 336 et 337. Nous en avons mentionné un certain nombre à la partie 3. On peut ajouter au moins 20 groupes moins structurés qui se répartissent entre 10 universités et départements de mathématiques et font de la recherche interdisciplinaire dans des domaines divers : systèmes dynamiques, modélisation mathématique, biologie et physique mathématiques, analyse numérique, calcul scientifique et algorithmique des télécommunications. On leur a attribué un certain nombre de chaires CRC. Il s'agit de groupes qui ont principalement besoin d'un financement important à long terme, notamment en vue d'un accroissement de leurs capacités de formation.

Partie 6 : Personnel hautement qualifié

De la formation de PHQ en mathématiques au Canada ressort une double tendance à la formation interdisciplinaire et à celle des stagiaires postdoctoraux.

Formation interdisciplinaire

Depuis quatre ans, le fait le plus marquant a été l'enrichissement de l'infrastructure de formation interdisciplinaire. Cette formation en mathématiques évolue rapidement dans une foule d'universités du pays. On a lancé de fructueux programmes de maîtrise en mathématiques financières aux universités de l'Alberta, de Calgary, de Toronto, de Colombie-Britannique et de

Waterloo. L'Université McMaster prévoit en créer un. En mathématiques industrielles, on a mis en place des programmes de maîtrise dans les établissements universitaires Ottawa-Carleton (haute technologie), à l'Université Memorial (théorie du calcul) et aux universités du Manitoba, de Montréal et de Toronto. L'Université McMaster prévoit aussi se doter d'un tel programme.

De nos jours, il se fait beaucoup de formation interdisciplinaire d'étudiants des cycles supérieurs dans les départements de mathématiques par un recours aux ressources des divers laboratoires et centres décrits dans des sections précédentes. Précisons que ces laboratoires et centres ont permis à certains départements d'enrichir considérablement la formation interdisciplinaire qu'ils destinent aux étudiants de maîtrise et de doctorat. Ainsi, l'IAM de l'UBC, qui compte sur 69 enseignants venant de 13 départements, prend actuellement en charge 30 étudiants des cycles supérieurs du Département de mathématiques. Depuis 1997, le Giref de l'Université Laval a mené à bon port 49 étudiants de maîtrise, 33 étudiants de doctorat et 22 stagiaires postdoctoraux en génie et en mathématiques. Il forme aujourd'hui 35 étudiants de maîtrise et 47 de doctorat, plus 4 SP. À l'Université de Waterloo, la création du CACR a donné une nouvelle orientation à la formation en cryptographie au Canada. Depuis son ouverture en 1998, il a formé 20 stagiaires postdoctoraux et plus de 30 étudiants des cycles supérieurs. Le CECM de l'USF a formé pour sa part plus de 40 SP et chargés de recherche depuis sa mise en service en 1993.

Une enquête récente dégage les tendances suivantes sur le plan de l'emploi pour les étudiants de maîtrise et de doctorat de 1997 à 2001 :

- Sur 219 étudiants de doctorat, 139 ont accepté une charge universitaire (40 en stage postdoctoral, 68 dans des postes menant à la permanence, 23 dans des postes à temps partiel et 8 dans des postes collégiaux), 56 sont entrés dans les secteurs public et privé (15 en finances, 36 dans l'industrie de la haute technologie et 5 dans les administrations publiques) et 15 se sont recyclés; on ignore ce qu'il est advenu de 9 d'entre eux.
- Sur 333 étudiants de maîtrise, 125 ont fait un doctorat en mathématiques, 113 sont entrés dans les secteurs public et privé (29 en finances, 64 dans l'industrie de la haute technologie et 16 dans les administrations publiques) et 26 se sont recyclés; on ignore ce que 29 d'entre eux ont fait.

Toute extension future de la formation donnée au Canada aux étudiants de maîtrise et de doctorat en mathématiques permettra de soutenir un nombre croissant d'étudiants en mathématiques qui trouvent de l'emploi dans les finances ou l'industrie. Le « *Report on Mathematics in Industry* » de 1995 de la SIAM cite le fait que les gestionnaires de l'industrie aient évoqué à plusieurs reprises l'importance des mathématiciens pour leur capacité de réflexion et d'analyse et leur *aptitude à formuler et à résoudre des problèmes dans une diversité de contextes*.

La recherche et la formation interdisciplinaires ont de larges besoins et coûtent donc plus cher que les autres types de formation en mathématiques. On a le besoin évident de disposer pour cette activité de grandes installations de calcul. Il y a aussi le besoin de mettre continuellement les étudiants en présence de la recherche novatrice qui se fait dans d'autres disciplines et dans l'industrie. Il faut les mettre en contact direct avec d'autres scientifiques et des représentants de l'industrie. Avec tous leurs contacts et leur vaste expérience, les grands instituts et le MaTISC ont largement contribué à l'établissement de tribunes pour une telle interaction.

Stagiaires postdoctoraux

La formation des stagiaires postdoctoraux représente une importante réalisation des mathématiques canadiennes. On constate que, depuis dix ans, le nombre de SP formés a considérablement augmenté. Des données de la Revue des mathématiques canadiennes de 1996 indiquent que 370 SP ont reçu une formation dans les départements de mathématiques au pays pendant les cinq années comprises entre 1991 et 1996. Une enquête récente révèle que les bénéficiaires des CSS 337 et 337 (représentant 80 % des mathématiciens subventionnés) ont à

eux seuls formé 560 SP pendant la période de cinq ans 1997-2002. Cette fort impressionnante augmentation de 50 % est nettement l'indice d'un accroissement de l'activité en mathématiques et d'un renforcement de la discipline.

La montée de la formation des stagiaires postdoctoraux a aussi à voir avec l'importance des nouvelles sources de financement. Aux CSS 336 et 337, même des subventions majorées ne suffisent pas au soutien entier d'un SP, aussi faut-il un financement complémentaire. Signalons en particulier que les trois instituts et le MaTISC assurent un tel financement partiel, puisque, chaque année, les premiers versent 860 000 \$ pour le soutien de 60 SP et que le MaTISC destine 1,4 million à 100 SP appartenant à diverses disciplines. Il faut ajouter que le surcroît de financement accordé aux chercheurs très actifs à l'occasion du dernier exercice de réaffectation est allé en majeure partie à des programmes de financement de la formation des SP.

Ainsi que l'illustrent ces statistiques, le recrutement de SP est prioritaire dans les mathématiques canadiennes. Les stagiaires postdoctoraux jouent un rôle de premier plan en recherche mathématique. Précisons qu'une masse critique de SP joue comme facteur primordial dans la création d'équipes de recherche des plus efficaces, comme l'indiquent les exemples cités à la partie 3. Étant une éventuelle source d'enseignants, l'afflux de SP talentueux de l'étranger au Canada devient aussi une importante ressource pour les universités canadiennes. Ainsi, quatre des enseignants faisant partie du groupe de recherche en théorie des nombres à Vancouver (voir la partie 3) étaient auparavant en stage postdoctoral au pays.

Partie 7 : Autres considérations au sujet des propositions de financement

Dans cette section, nous commenterons plus avant les propositions de financement A, B et C présentées à la partie 2.

Nouveaux demandeurs

Nous expliquerons comment les données du CRSNG étayent une prévision annuelle de 25 nouveaux bénéficiaires des CSS 336 et 337 de 2003 à 2007. *Avant d'y aller de cette explication, nous réitérons l'observation faite à la partie 2 (p. 7) que cette prévision s'écarte des données empiriques, lesquelles font voir qu'il y aura généralement au moins 35 nouveaux bénéficiaires tous les ans.* Selon les données du CRSNG, 2 000 chercheurs en sciences naturelles seront embauchés par les universités canadiennes ces cinq prochaines années (PB, Enquête sur les nouveaux demandeurs) et un de ces chercheurs sur sept le sera par les départements de mathématiques et de statistique (PB, figure 7). D'après les tendances actuelles, on s'attend à ce que 2 personnes embauchées sur 3 soient des mathématiciens (et non pas des statisticiens) et que 80 % des intéressés sollicitent une subvention des CSS 336 et 337. Il faut enfin dire qu'un taux de succès de 85 % des nouveaux demandeurs auprès des CSS 336 et 337 donne un minimum annuel de 25 nouveaux bénéficiaires.

S'il ne devait pas y avoir de surcroît de financement pour nos propositions relatives aux CSS 336 et 337, cela nuirait sérieusement aux mathématiques canadiennes. Soulignons d'abord que les objectifs qu'énoncent ces propositions de financement ne sauraient se réaliser sans financement dans le cadre de l'exercice de réaffectation. Il n'y a pas d'autres fonds disponibles dans le budget des CSS 336 et 337 à moins qu'on ne s'avise de priver les chercheurs déjà subventionnés de fonds dont ils ont besoin.

Attrition

Les données du CRSNG indiquent que, pendant la période 2003-2007, les fonds dégagés par l'attrition prévue correspondront presque parfaitement à la somme que les CSS 336 et 337 contribueront à l'exercice de réaffectation. Ainsi, toute somme laissée par l'attrition dans les quatre prochaines années sera effectivement perdue. Elle ne nous sera restituée que par le financement de nos propositions.

Si on applique le taux d'attrition de la période 1997-2001 (PB, tableau 6) à la population actuelle de bénéficiaires (PB, tableau 3), on peut prévoir que 94 bénéficiaires ne redemanderont pas la subvention de 2003 à 2007. On peut voir au tableau 6 de la PB que ceux qui se sont retirés de 1997 à 2001 recevaient une subvention moyenne de 10 340 \$. Ainsi, le départ de 94 bénéficiaires de 2003 à 2007 devrait redonner en gros 970 000 \$ aux CSS 336 et 337.

On peut penser que les bénéficiaires de subventions importantes ne quitteront guère le programme pendant la période 2003-2007. Un indice de cette longévité des chercheurs de premier plan (il y avait 59 bénéficiaires en mathématiques qui recevaient une subvention d'au moins 30 000 \$) est qu'un seul d'entre eux a opté pour la retraite anticipée et que deux seulement atteindront l'âge de la retraite avant 2007. Les besoins de financement de ces chercheurs ne diminueront sûrement pas. En fait, notre argumentation à la proposition A est qu'une foule d'entre eux sont déjà sous-financés.

Conséquences d'une absence de fonds de réaffectation

En cas d'absence de financement des propositions A et B, ces initiatives devraient être remises à plus tard, bien des possibilités d'innovation dans les mathématiques canadiennes se perdraient et les ressources destinées aux chefs de file de la recherche, anciens et nouveaux, demeureraient insuffisantes. Si la proposition C n'est pas financée ou l'est insuffisamment, les CSS 336 et 337 seront écrasés par le problème de la réponse à donner aux nouveaux demandeurs, bien des chercheurs remarquables seront sous-financés et l'élan que nous nous sommes donné sera rompu.

Autre observation

Nos propositions de financement traduisent les priorités des mathématiques canadiennes pour les quatre prochaines années. Nous nous sommes efforcés de concilier innovation et continuité, tout en veillant à ces priorités. À notre avis, un financement équilibré de toutes nos propositions conférerait un maximum de souplesse aux CSS 336 et 337 et sauvegarderait au mieux tant la santé que le constant épanouissement de notre discipline.

Annexe : Description détaillée des trois instituts de mathématiques

Centre de recherches mathématiques (CRM)

Fondé en 1969, le CRM a été un chef de file de l'innovation dans les mathématiques canadiennes depuis 20 ans. Il a développé le modèle de l'institut national pour la recherche en mathématiques grâce à un solide programme de base dans ce domaine, une bonne image internationale et un vaste réseau de collaborateurs appartenant à d'autres disciplines et à l'industrie. Il reçoit actuellement 874 000 \$ en financement du CRSNG et dispose d'un budget annuel total de 3 millions. Situé à l'Université de Montréal, il compte les universités montréalaises comme principaux partenaires. Il s'est aussi lié à des universités voisines comme l'Université d'Ottawa, l'Université Queens et l'Université Laval.

Au cœur de ses activités, il y a un **programme thématique** choisi chaque année pour sa qualité, son actualité et son utilité dans l'optique du développement des mathématiques au pays, ce que nous illustrerons en gros par deux exemples. Dans son programme de l'an dernier portant sur les *méthodes mathématiques en biologie et en médecine*, il s'est attaché aussi bien aux questions subtiles et complexes de modélisation de divers processus physiologiques qu'aux difficiles problèmes mathématiques et statistiques d'inférence en génomique. Il y a eu 11 ateliers, un institut d'été, 2 grandes rencontres internationales, 6 programmes de cours et de séminaires et des conférences Aisenstadt par deux des plus éminents spécialistes du domaine, à savoir A. Winfree et M. Waterman. Ce programme évoque le caractère interdisciplinaire d'un grand nombre des programmes du CRM, ayant réuni plus de 1 500 personnes du domaine des mathématiques et d'autres domaines (physiologie, neurologie, génétique, physique, informatique, etc.). Le programme de cette année a pour thème fondamental *les groupes et la géométrie*. Le programme de trois semaines consacré à la topologie hypodimensionnelle pendant l'été a attiré plus d'une centaine de participants chaque semaine, dont un grand nombre d'étudiants. Des activités de même nature portant sur le « programme Langlands » en géométrie ont attiré maints chefs de file du domaine dans le monde (dont R. Langlands, qui exposera en huit heures de conférence ses idées les plus nouvelles sur la question).

Le **programme général** du CRM embrasse une grande diversité d'ateliers et de programmes de brève durée (dont certains ont lieu à l'extérieur) et le programme national CRM-FI-PIMS. Il comprend aussi des prix, un colloque et un programme SP réalisé conjointement avec le milieu local. Il s'est très nettement employé à structurer ce milieu, notamment par la création de laboratoires sous-disciplinaires dans la région de Montréal, ce qui facilite l'harmonisation des visées internationales du Centre et des activités des chercheurs canadiens. L'an dernier, le CRM a accueilli plus de 100 chercheurs visiteurs en dehors des 41 conférences internationales, ateliers, programmes d'études ou cours de brève durée relevant de ses divers programmes.

Dans ses volets interdisciplinaire et industriel, le Centre est le pivot du **Réseau de calcul et de modélisation mathématique** (RCM2) de Montréal, qui a eu de remarquables succès dans l'édification de partenariats à grande échelle (que nous décrirons plus loin). Le RCM2 organisera aussi deux ateliers mixtes et un échange de SP cette année avec l'Institute for Math and its Applications (IMA) du Minnesota, ce qui s'ajoute aux conférences et aux petits ateliers qu'il a l'habitude de tenir. Il a aussi noué des liens avec le Programme d'aide à la recherche industrielle du CNR. Une autre de ses réalisations a été la mise en place d'un réseau de recherche en imagerie cérébrale au Québec. Une demande de financement de personnel pilotée par le CRM est imminente. Ce financement ira en complément aux importantes initiatives FCI en matériel d'imagerie auxquelles le CRM est associé à titre de partenaire. À une de ces initiatives, on a affecté 23 millions. Le programme d'imagerie a fait naître une entreprise dérivée du CRM, *Zeugma Technologies*, qui a récemment reçu le premier prix de 20 000 \$ du concours Odyssee Entrepreneurship.

Le Centre insiste sur une formation assurée tant par l'intégration de cours de brève durée à la plupart de ses travaux scientifiques que par des activités spécialisées comme les cours en institut

d'été (un programme par an). Une autre incidence importante est le parrainage de stagiaires postdoctoraux : ces trois dernières années, le CRM a financé en moyenne 15 SP par an. Tous les ans, il a en outre accueilli 7 autres SP recevant un financement extérieur.

Le CRM entérine pleinement la vision de la discipline exposée dans ces pages. En fait, il a déjà anticipé sur certains de ses aspects. Dans ses programmes, il met l'accent à la fois sur la formation et le rayonnement disciplinaire; il a intégré avec enthousiasme de nouveaux chercheurs à ses programmes et les a aidés à cheminer rapidement dans leur carrière.

Fields Institute

Le Fields Institute a remarquablement réussi à créer des liens entre les mathématiciens, les autres spécialistes du domaine et les milieux utilisateurs dans des disciplines qui vont de la biologie à la physique et aux finances. Son champ d'activité est extrêmement étendu non seulement par le soutien de la recherche mathématique dans ses programmes scientifiques, mais aussi par la formation et le développement commercial et industriel de la recherche dans ce domaine. Il est là pour aider la communauté des mathématiciens à franchir les limites de sa discipline et à tendre la main au reste du monde. Ses activités s'accordent éminemment avec les objectifs actuels des CSS 336 et 337.

Les activités scientifiques qui se situent au cœur de la mission du Fields Institute se divisent **en semestres et en années thématiques**. Ces programmes battent le rappel des chercheurs de premier plan dans le monde en vue d'une présence prolongée dans un cadre de soutien de la recherche. Les programmes portent sur des domaines où il se fait actuellement des choses passionnantes et visent à juxtaposer des chercheurs aux intérêts apparentés dans le continuum qui s'étend des mathématiques pures aux mathématiques appliquées. Un bon exemple en est le programme récent d'une année en *calcul des probabilités et applications* (à la physique, aux communications, aux finances et à la biologie), qui a mis des mathématiciens et des statisticiens en présence de chercheurs qui appliquent ces méthodes dans divers secteurs. Le programme 1999-2000 en *théorie des graphes et en optimisation combinatoire* a attiré des mathématiciens et des informaticiens tant des universités que de l'industrie. Ce sont des programmes qui mobilisent la crème des mathématiciens canadiens comme organisateurs et participants. On a l'habitude de bâtir les programmes sur les atouts canadiens, et une foule de mathématiciens de premier plan, anciens et nouveaux, ont été mis à contribution. Les programmes à long terme viennent nettement aiguillonner les efforts de recherche et favorisent la formation de nouveaux chercheurs par des cours supérieurs, des séminaires et un soutien de SP. Maints chercheurs reconnus comme de futurs chefs de file dans le présent rapport et celui d'il y a quatre ans ont pris part à ces programmes.

Les mathématiciens d'aujourd'hui collaborent beaucoup. Il leur faut la possibilité de se rencontrer et d'échanger des idées. Le Fields Institute peut procurer une infrastructure, une aide logistique et un cadre de soutien idéaux pour qui veut appuyer ce genre de recherche. Il est aussi en mesure de réagir rapidement aux événements les plus récents et de monter des activités qui en tireront parti par des ateliers, des séminaires, des cours de brève durée et des programmes de conférences. Les instituts d'été sont un autre moyen hautement efficace par lequel les gens en formation peuvent se renseigner sur les recherches de pointe. On a dressé des plans pour étendre ce programme. Il y a eu l'an dernier un institut d'été très réussi sur l'*information quantique* avec pour activité principale des conférences de P. Shor (Laboratoires Bell), lauréat Gödel de 1999. J. Arthur se chargera d'un futur institut d'été consacré aux *automorphismes et à la formule des traces*. Cette activité sera financée en partie par le Clay Institute.

Le Fields Institute occupe un immense champ d'activité qui va bien au-delà des programmes scientifiques financés par le programme de subventions du CRSNG. Les trois instituts canadiens ont fondé le Centre national d'excellence, le MaTISC, qui finance aujourd'hui plus de 20 projets en mathématiques sur le territoire canadien. Un grand nombre de mathématiciens qui font de la recherche plus appliquée dans des groupes ont su profiter de ce remarquable nouveau programme qui, dans bien des centres, a permis aux groupes de chercheurs de se développer. De

plus, le Fields Institute organise un programme d'incubation de projets commerciaux. K. Murty et L. Seco, deux mathématiciens canadiens de premier plan, ont participé à deux démarrages réussis d'entreprises. Le second a mené à une importante proposition mixte (avec le FOERD) en recherche sur les finances de l'énergie en collaboration avec quatre universités ontariennes.

Par ailleurs, le Fields Institute est un des quelques instituts de recherche en mathématiques au monde à s'intéresser aussi à la formation en mathématiques à des paliers inférieurs à celui de l'université. Son « Math. Ed. Forum » a été à la base de divers projets d'élaboration de programmes pédagogiques en Ontario. Un programme national visant à mettre la technologie au service de l'enseignement des mathématiques demande actuellement des fonds au programme « Initiative de la nouvelle économie » du CRSH.

Le Fields Institute s'emploie à élaborer des programmes et des interactions en temps utile pour tout l'éventail des disciplines en mathématiques. La matière première de ces interactions est la très solide et dynamique communauté des mathématiciens du pays. Ensemble, nous pouvons faire de la science intéressante, resserrer les liens entre les branches des mathématiques pures et des mathématiques appliquées et tendre la main au reste de la communauté scientifique.

Pacific Institute for the Mathematical Sciences (PIMS)

Créé en 1996, le PIMS s'est transformé en un partenariat scientifique binational unique dont font partie toutes les grandes universités de l'Alberta, de la Colombie-Britannique et de l'État de Washington. Nous décrirons dans cette annexe le travail de pionnier du PIMS sur le plan des partenariats nationaux et internationaux. L'énoncé de perspectives que présente le PIMS à part fait état de ses programmes scientifiques particuliers et de ses initiatives dans l'industrie et en éducation. Ces trois dernières années, le PIMS a lancé sur le double plan national et international un train de mesures audacieuses—MaTISC, Banff Research Station, Pacific Northwest Partnership et Pacific Rim Initiative—qui ont conféré bien plus de visibilité à notre communauté. Celles-ci ont aussi multiplié les possibilités qui s'offrent aux mathématiciens au Canada et à l'étranger et attiré des fonds appréciables de l'industrie, des gouvernements fédéral et provinciaux et de l'étranger pour le soutien des travaux de recherche que mènent des Canadiens.

Par un partage des ressources entre les universités participantes, le maintien d'une structure souple de programme et l'octroi de moyens à ses membres, le PIMS est parvenu à un niveau d'activité, d'innovation et de potentiel bien supérieur à ce qu'il lui aurait été normalement possible de réaliser. Les **universités partenaires** et les **gouvernements de l'Alberta et de la Colombie-Britannique** font doublement l'appoint du soutien que lui prête le CRSNG. Il reçoit (hors frais généraux) une aide appréciable en infrastructure de recherche des universités participantes, et notamment deux installations complètes (chacune d'une superficie de 5 000 pi²) à l'UBC et à l'USF. Il est donc bien placé pour concentrer ses ressources sur la recherche et la formation. Ses partenaires de l'industrie et les départements associés versent la contrepartie de son investissement dans 30 SP. Partout au Canada, les étudiants ont accès chaque été à au moins 6 instituts d'été et camps de formation en mathématiques industrielles et dans de nouveaux domaines d'intérêt en mathématiques.

Avec ses **partenaires américains**, le PIMS a créé la **Banff International Research Station**. Outre un soutien du PIMS et du MSRI à Berkeley, cette coentreprise unique canado-américaine a obtenu des fonds de la NSF, de l'Alberta Science Research Authority et du programme AIM du CRSNG. Ce nouveau centre viendra largement multiplier les possibilités qui s'offrent, car plus de 1 700 scientifiques du pays et de l'étranger dans l'ensemble des disciplines mathématiques aimeraient participer chaque année à ses activités. Comme premières activités, le **Pacific Northwest Partnership (PNW)** a organisé 12 séminaires dans la région du nord-ouest du Pacifique grâce au parrainage du PIMS et de la NSF. Il s'agissait d'appuyer les efforts de collaboration dans tout l'Ouest canadien et aux États-Unis. Dès 2003, le volet PNW du programme industriel du PIMS se développera en collaboration avec l'IMA du Minnesota. Le PIMS envisage plus de partenariats avec la NSF pour un certain nombre d'instituts panaméricains d'études avancées.

Avec les **partenaires de la région du Pacifique**, le PIMS et les instituts qui lui font pendant en Chine, à Taïwan et au Japon mettent en place la **Pacific Rim Initiative**. Ensemble, ils organisent de grandes rencontres dans la région du Pacifique (à Hong Kong en 1998, à Taipei en 2001 et à Vancouver en 2004) où il y a promotion des liaisons scientifiques à l'échelle de cette région. Le programme annuel PIMS *Frontiers in Mathematical Physics* est une initiative en collaboration du Perimeter Institute (Waterloo) et de l'Asia Pacific Center for Theoretical Physics (Corée).

Les ateliers de solution de problèmes dans l'industrie et le programme de collaboration industrielle du PIMS demeurent les pierres angulaires du réseau MaTISC. Ces deux dernières années, 53 **partenaires industriels** du PIMS ont apporté une contribution à son programme de « recherche concertée », et notamment à 11 des 23 projets MaTISC. Grâce à un partenariat avec l'Institute for Computing, Information, and Cognitive Systems et le New Media Innovation Centre (*NewMIC*), le PIMS élabore un programme interdisciplinaire sur trois ans portant sur *les mathématiques et le multimédia* afin de mettre les mathématiciens et les statisticiens en présence de leurs collègues en informatique et en génie.

Avec les **écoles participantes de la maternelle à la 12^e année**, les chercheurs du PIMS organisent tous les ans des douzaines de *soirées et de salons des mathématiques* dans tout l'Ouest canadien et dans l'État de Washington. Le PIMS publie et distribue « *Pi in the Sky* », revue destinée aux enseignants et aux élèves en mathématiques. La campagne d'affichage *Women and Mathematics* fait suite à l'opération hautement appréciée d'affichage dans les autobus et les classes de la campagne *Mathematics is Everywhere* en l'an 2000. Le PIMS a aussi fait œuvre de pionnier en faisant connaître par le Web les grands événements à la communauté scientifique internationale. Enfin, des conférences de scientifiques distingués du PIMS (A. Huxley, H.S.M. Coxeter, etc.) sont en vidéodiffusion par Internet.