

Actions structurantes au

CRIM

CRIM

Un programme bien structuré

CAN

DIAUX,
GRISE
S UNE
IÈRE.

compé-
tences

différencies
des
aires.

images
pour
ce
sur elle
comme
Hagen.
est
dette.
red.

NSIBLE.

LE CENTRE DE RECHERCHE INFORMATIQUE DE MONTRÉAL (CRIM) RÉSUME ICI LES RÉSULTATS DE PROJETS QUINQUENNAUX DES ÉQUIPES D'ACTIONS STRUCTURANTES EN CONCEPTION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR (CAO) DE SYSTÈMES CONTINUS, EN TÉLÉMATIQUE ET EN CONCEPTION DE CIRCUITS INTÉGRÉS (VLSI).

Fondé en octobre 1985, le CRIM est un centre de recherche et de formation unique au Canada. Mais ce qui caractérise davantage le Centre, c'est qu'il a rapidement mis sur pied un partenariat unique entre les industries et les universités. Depuis sa création, le CRIM est passé de 8 à 45 membres, dont 7 universités, 34 sociétés à but lucratif de toutes tailles et 4 organismes sans but lucratif.

On effectue trois types de recherche au CRIM: recherche à long terme, recherche pré-compétitive et recherche contractuelle.

Actions structurantes et recherche à long terme

Effectuée au sein des universités membres, la recherche à long terme permet de préparer l'avenir technologique de l'industrie québécoise dans le cadre du programme des Actions structurantes du ministère québécois de l'Enseignement supérieur et de la Science. Ce programme prend la forme de subventions accordées pour une période de cinq ans.

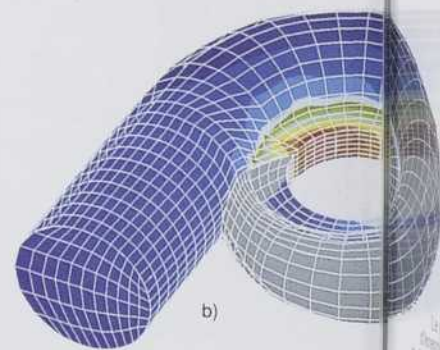
Les thèmes explorés par les équipes rattachées au CRIM servent d'assises à des travaux dont les résultats contribuent de façon significative à l'avancement des connaissances en informatique.

Les activités du CRIM sont également tournées vers le transfert technologique industriel. Elles constituent un encadrement des plus propices à la formation de candidats de 3^e cycle, qui, éventuellement, s'intégreront dans les services de recherche de l'industrie.

Les trois équipes multiuniversitaires liées au CRIM regroupent respectivement les meilleurs chercheurs dans les domaines suivants: CAO de systèmes continus, télématique, CAO de circuits intégrés à très grande échelle (ITGÉ ou VLSI).

Les travaux des deux dernières équipes ont pris fin en 1990 et ont déjà fait l'objet d'une évaluation positive. Le personnel scientifique et technique de ces deux équipes a été intégré dans les universités participantes au cours de l'été dernier. La première équipe poursuit ses travaux cette année.

Mais une action structurante ne prend pas fin après cinq ans: cette démarche de recherche fondamentale se poursuit au sein des Centres d'excellence du gouvernement canadien.



CAO

L'ÉQUIPE DE CAO TRAVAILLE
À LA CONCEPTION DE
LOGICIELS PERMETTANT
UN ENCHAÎNEMENT NATUREL

ENTRE LES DIVERSES ÉTAPES DE LA RÉOLUTION DE
PROBLÈMES DE CAO DES SYSTÈMES CONTINUS: MODÉ-
LISATION, SIMULATION ET RÉOLUTION. CES LOGICIELS
SERVIRONT À L'ANALYSE DE PROBLÈMES COMPLEXES.

Dans l'industrie de la création de logiciels pour le génie, la recherche est centrée sur les algorithmes servant à résoudre les équations d'un problème. Qu'il s'agisse de concevoir une turbine ou des moules pour le formage par injection de polymères, d'élaborer des structures aérodynamiques pour les bâtiments ou le transport d'électricité, d'expliquer les divers phénomènes d'écoulement ou la dynamique ondulatoire, la démarche est la même.

La complexité des problèmes à résoudre exige qu'on puisse se servir d'outils spécialisés pour préparer les données (géométrie, maillage, paramètres de description du problème) et analyser les résultats.

«Deux développements ont marqué l'évolution de nos travaux. Nous avons mis au point des programmes qui adaptent les découpages d'une géométrie donnée, c'est-à-dire le maillage, à la solution du problème étudié. Ainsi, pour le calcul de l'écoulement autour d'une aile, le maillage s'adapte de façon à concentrer les mailles dans la région où la solution le nécessite — par exemple, les ondes de choc, les



**Simulation numérique
de la combustion dans
un brûleur**

Le gaz naturel constitue une source d'énergie fiable et bon marché en Amérique du Nord. Le problème consiste cependant à concevoir des brûleurs «propres» et efficaces. La simulation numérique a permis la mise au point de logiciels pour l'étude des phénomènes liés à la combustion du gaz naturel. En collaboration avec la société Gaz Métropolitain inc., l'équipe étudie les caractéristiques de ces brûleurs grâce à l'informatique, avant leur mise en service. On voit ici le champ de vitesse (a) ainsi que le champ du courant (b).



Écoulements dans les turbines hydrauliques

Les turbines hydrauliques sont des équipements relativement complexes dont les divers composants doivent être optimisés en vue d'un rendement maximal. Les ingénieurs hydrauliques d'Hydro-Québec (IREQ) et d'entreprises manufacturières (GE-Ateliers d'ingénierie Dominion) utilisent des logiciels pour le calcul et l'analyse des écoulements dans les machines. On voit ici le champ de pression autour d'un profil des aubes directrices d'un distributeur (c) (IREQ) ainsi que les trajectoires tridimensionnelles des particules de fluide (d) dans un diffuseur (Dominion).

couches limites. On dispose de machines de plus en plus performantes pour effectuer les calculs et le graphisme interactif, ce qui permet de s'attaquer à des problèmes jugés inabordable il y a quelques années», affirme le professeur Ricardo Camarero, responsable de l'équipe multiuniversitaire travaillant à la CAO de systèmes continus.

De nouvelles méthodes ont permis de concevoir des programmes interactifs évolués de modélisation (pour générer des géométries), de description de problèmes (pour dire à l'ordinateur quoi faire et quels outils utiliser) et de génération automatique de maillages. On utilise ainsi de nouvelles techniques de calcul pour la résolution de problèmes très complexes de CAO par éléments finis. Enfin, de puissants outils de visualisation ont été mis au point pour analyser et interpréter les résultats bi et tri-dimensionnels.

Le groupe des professeurs Camarero, Fortin, Pelletier et Reggio de l'École Polytechnique s'est intéressé à la mécanique des fluides. Celui des professeurs Lowther, Silvester et Webb de l'Université McGill s'est attaché à l'électromagnétisme. Le groupe du professeur Bui de l'Université Concordia a analysé les interactions fluides-structures. Enfin, le groupe des professeurs Magnenat-Thalmann de l'École des Hautes Études Commerciales et Thalmann de l'Université de Montréal a mis au point des méthodes de graphisme et d'animation.

Très actifs et reconnus dans leurs disciplines, ces groupes forment des équipes bien structurées et partagent une méthodologie commune de CAO.

Générateur de maillage pour analyse d'éléments finis

Il est possible d'aborder un plus grand nombre de situations ou de problèmes au fur et à mesure que se développe la modélisation géométrique. Ainsi, la technique CSG (*Constructive Solid Geometry*) permet de représenter des formes à géométrie de plus en plus complexe. Le groupe de l'Université Concordia a incorporé des informations topologiques et physiques dans la représentation CSG, permettant ainsi de rendre ces informations disponibles aux noeuds du maillage d'éléments finis; pour un barrage, par exemple, il serait possible de spécifier à quel endroit le sous-sol est constitué de roche ou de glaise. Le groupe de l'École Polytechnique a fait la liaison du maillage avec CATIA, le logiciel de CAO, très utilisé dans l'aéronautique, tandis que le groupe de l'Université McGill réalisait des interfaces semblables avec PATRAN et SUPERTAB pour les moteurs et les transformateurs.

Afin de faciliter l'utilisation des nouvelles techniques de maillage, le groupe de l'Université Concordia a créé un logiciel qui permet d'enchaîner automatiquement, sans l'intervention de la personne qui l'utilise, la modélisation géométrique et la génération de maillage. Pour sa part, le groupe de l'École Polytechnique s'est inspiré de cette méthode dans la réalisation d'un logiciel pour la conception d'un disjoncteur reposant sur l'interface personne-machine CHLOÉ, utilisé par la compagnie française CGE-Alsthom et sa filiale québécoise Cegelec pour le compte d'Hydro-Québec.

Simulation numérique et visualisation de systèmes continus

La simulation numérique comprend la modélisation physique et mathématique de divers phénomènes comme l'écoulement aérodynamique ou les champs électromagnétiques, appelés «systèmes continus».

Plusieurs situations ont fait l'objet d'un examen attentif à l'aide de la simulation numérique: écoulements dans de la machinerie rotative, écoulements turbulents dans des canalisations tridimensionnelles, combustion dans des brûleurs, interaction arc-écoulement dans un disjoncteur, écoulements de polymères fondus, champs électromagnétiques.

Le groupe de l'Université Concordia a créé une méthode mixte pour inclure dans un même cadre diverses autres techniques complémentaires fondées sur les éléments finis. Cette méthode sert à résoudre des problèmes comportant des singularités ou avec des interfaces, telles celles qu'on rencontre, par exemple, dans des matériaux composés de différentes couches. La combinaison de logiciels numériques LSTIFF et graphiques a permis de résoudre les grands systèmes d'équations différentielles dites «rigides» résultant de la modélisation des systèmes chimiques à réactions rapides. Johnson & Johnson et ses filiales japonaises utilisent ces logiciels pour étudier la cinétique de polymérisation. Le groupe de l'Université Concordia a également mis au point un logiciel pour la simulation bidimensionnelle d'écoulement ventueux autour d'édifices. Les chercheurs voudraient en arriver à une version tridimensionnelle à l'aide d'un super-ordinateur.

Le groupe de l'Université McGill a appliqué la méthode des éléments finis à la résolution de problèmes d'électromagnétisme à basse fréquence et créé des techniques de systèmes experts pour la conception et l'analyse de composants électromagnétiques, notamment des transformateurs. Le groupe de l'École Polytechnique a étudié les schémas adaptatifs pour les écoulements incompressibles en mettant au point un maillage économique qui génère des grilles de calcul non structurées pour des géométries complexes. Sur le plan théorique, les chercheurs ont conçu un certain nombre d'éléments tridimensionnels possédant la propriété de Brezzi, qu'il reste à tester numériquement. Enfin, ce groupe prépare une stratégie générale d'adaptativité directement applicable aux écoulements visqueux incompressibles. Ces travaux visent à perfectionner les techniques de réduction de traînée de profils d'ailes d'avion.

Le groupe conjoint de l'Université de Montréal et de l'École des Hautes Études Commerciales a œuvré dans le domaine de la visualisation en créant INTERMIRA, un logiciel pour la spécification de systèmes de visualisation, de manipulation et d'animation d'objets tridimensionnels. En plus de visualiser très précisément et de manière réaliste plusieurs transformations d'objets, le logiciel fournit un algorithme général pour opérer la métamorphose entre deux objets tridimensionnels de formes différentes.

COLLABORATION UNIVERSITAIRE

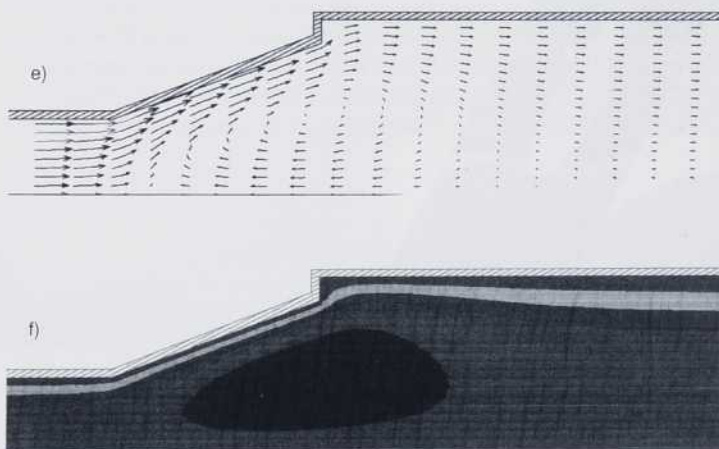
À l'oeuvre depuis 1986, l'équipe de recherche en CAO de systèmes continus comprend 10 professeurs-chercheurs répartis en 4 groupes encadrant le travail de 3 chercheurs, 3 assistants professionnels et plus de 60 étudiants et étudiantes. Cette équipe a publié 103 articles dans des revues internationales avec jury, donné 60 conférences techniques avec comité de lecture, participé à 7 ouvrages collectifs. L'équipe entretient de nombreux échanges avec des établissements américains et européens, entre autres le Virginia Polytechnic Institute, l'Université de Paris et l'Université de Californie à Berkeley.

COLLABORATION INDUSTRIELLE

Les outils logiciels sont utilisés couramment par les chercheurs de l'équipe et les partenaires industriels en aéronautique (conception et calcul des paramètres pour la construction d'avions chez Canadair), en distribution et transport d'énergie (calcul des disjoncteurs à l'Hydro-Québec, à l'IREQ, chez Cegelec Industries et InfoLytica), en production d'énergie (conception et calcul de turbines hydrauliques à l'Hydro-Québec pour le projet CASTOR, les Ateliers d'Ingénierie Dominion ainsi qu'Énergie, Mines et Ressources Canada), en environnement (conception d'un brûleur efficace et propre chez Gaz Métropolitain), en imagerie informatique (synthèse, manipulation et analyse d'images chez Bell Canada, Northern Telecom, Information), en analyse d'écoulement visqueux en milieu poreux (conception et production de matériel absorbant chez Johnson & Johnson, NRC Biotechnologies). Des chercheurs de l'équipe collaborent également avec Alcan et Recherches Bell-Northern.

ORGANISATION DE L'ÉQUIPE

Professeur titulaire de génie mécanique à l'École Polytechnique de Montréal, Ricardo Camarero a obtenu en 1972 un doctorat dans cette discipline à l'Université McGill. Il coordonne l'équipe de CAO en systèmes continus, en collaboration avec le professeur Tien Dai Bui, de l'Université Concordia, les professeurs Nadia Magnenat-Thalmann de l'École des Hautes Études Commerciales et Daniel Thalmann, de l'Université de Montréal, ainsi que les professeurs Peter Sylvester et David A. Lowther, de l'Université McGill.



Interaction arc-écoulement fluide dans un disjoncteur

L'interruption du courant sur une ligne de transmission à haute tension est réalisée par un disjoncteur. L'opération consiste à souffler l'arc à l'aide d'un courant de gaz à très haute vitesse. En collaboration avec Cegelec Industries, l'équipe a créé, pour le compte d'Hydro-Québec, un logiciel pour l'analyse de ce phénomène. On voit ici la géométrie et le maillage (e) ainsi que le champ du nombre de Mach (f) pour l'intérieur de la chambre de coupure.

L'ÉQUIPE DE TÉLÉMATIQUE SE CONSACRE À LA RECHERCHE DE NOUVELLES APPLICATIONS DE LA FIBRE OPTIQUE DANS LES RÉSEAUX DE TÉLÉCOMMUNICATION. ELLE VISE ÉGALEMENT À DÉTERMINER LES LANGAGES DE SPÉCIFICATION ET LES PROTOCOLES DE COMMUNICATION POUR LES NOUVEAUX TYPES DE RÉSEAUX, ET À IDENTIFIER DES MODES D'INTERACTION INÉDITS ENTRE L'UTILISATEUR ET L'ORDINATEUR.

Réseaux

La fibre optique permet d'acheminer des millions de signaux variés plus efficacement que les vecteurs classiques (fil téléphonique, câble coaxial). Il reste cependant beaucoup à faire avant de pouvoir l'utiliser dans les réseaux.

Le travail principal du groupe des professeurs Hayes de l'Université Concordia et Rosenberg de l'École Polytechnique a été l'étude de réseaux locaux et à longue distance utilisant la fibre optique. La fibre offre une grande capacité de transmission dont peuvent profiter des nouveaux services de communication, comme la télévision ou la vidéo à haute résolution, de même que les services traditionnels, comme le téléphone (voix) et la transmission d'images ou de données. On prévoit que tous ces services seront offerts dans le futur par un seul réseau.

L'étude a comporté trois parties. Premièrement, le groupe de professeurs Hayes et Rosenberg a développé le matériel et le logiciel pour un réseau central servant à l'interconnexion d'un grand nombre de réseaux locaux couvrant des distances de plusieurs dizaines de kilomètres (figure 1). Deuxièmement, le groupe a réalisé une étude théorique de conception pour la construction d'un réseau métropolitain connectant des milliers de stations à grand débit de transmission à des distances allant jusqu'à 100 kilomètres. La configuration d'un tel réseau, montrée à la figure 2a, s'avère être un coupleur passif en forme d'étoile avec des amplificateurs optiques. Le coupleur comprend un commutateur en stades multiples (figure 2b) qui permet la réalisation de toutes les permutations entre les lignes d'entrées et de sorties.

Le troisième aspect de la recherche portait sur les problèmes de commutation (l'aiguillage des informations vers leurs destinataires). Pour utiliser efficacement la largeur de bande offerte par la fibre optique, il faut prendre en compte les caractéristiques des différentes classes de trafic. La voix, à la différence des données, est très sensible au délai de transmission. De plus, les commutateurs (comme celui montré à la figure 2b) doivent couper les informations en messages d'une longueur déterminée pour permettre un bon partage des ressources de transmission et de commutation du réseau. Les chercheurs ont mis au point une technique à limite variable pour permettre le multiplexage (le partage d'une voie de transmission par plusieurs conversations logiques) et la commutation de façon à intégrer les différentes classes de trafic selon leurs indices de performance.

Le groupe du professeur Thulasiraman de l'Université Concordia a mis au point de nouveaux algorithmes pour la conception topologique des réseaux de communication et des systèmes de multiprocesseurs à tolérance de pannes pour les circuits ITGÉ.

Protocoles et logiciels de communication

Le groupe du professeur Bochmann de l'Université de Montréal a étudié les problèmes reliés à la conception, à l'implantation, aux tests de protocoles de communication et aux algorithmes répartis en général. Les chercheurs ont commencé par concevoir des langages de spécification. Les documents de normes définissent des caractéristiques de comportement pour assurer la compatibilité de systèmes de communication entre eux (figure 3). Comme ils sont écrits dans un langage informel, ils se prêtent difficilement à un traitement automatisé, à moins d'être rédigés dans un langage de spécification formelle (1). Cette spécification formelle peut alors être validée de façon systématique si elle repose sur un formalisme qui définit précisément sa signification (2) et qui documente les comportements requis (3). Elle peut servir pour l'implantation de protocoles dans les équipements de fabricants différents (4). On mène couramment des tests de conformité aux implantations pour s'assurer qu'elles obéissent aux normes. La spécification formelle peut servir à la conception systématique de ces tests (5) et à l'analyse des résultats obtenus lors de leur exécution (6). Des outils ont été mis au point pour l'automatisation partielle de ces activités.

Télématique

De nos jours, l'information, une des matières premières de nos économies, circule parmi un nombre croissant d'ordinateurs divers de toutes tailles à travers plusieurs réseaux. Pour se comprendre, les ordinateurs suivent des protocoles de communication de manière à déterminer dans quel ordre les messages peuvent être échangés et de quelle manière les informations sont codées pour la transmission. Peu importe l'environnement informatique: l'information circulant dans les réseaux comprend tout aussi bien la voix que les données et les images.

Étant donné la masse considérable d'informations à transmettre très rapidement, la technologie offre de nouveaux supports comme la fibre optique, notamment pour les réseaux numériques à intégration de services (RNIS). Ces technologies ont un impact majeur sur les architectures des réseaux. Ajoutons que l'utilisateur doit pouvoir exploiter facilement son ordinateur en toutes circonstances.

«Nous avons cerné le champ de la télématique sous trois aspects. Du point de vue de l'ordinateur, nous avons étudié les protocoles et logiciels de communication en examinant certaines méthodes de spécification formelle, en mettant au point des environnements de programmation pour l'implantation, et en développant des algorithmes pour le traitement réparti. Du point de vue de la construction de réseaux de communication, nous avons analysé différentes technologies, de même que leur optimisation. Du point de vue de l'utilisateur, nous avons mis au point des interfaces évoluées avec l'ordinateur pour rejoindre et exploiter les bases de données, le vidéotex et les supports multimédias», explique le professeur Gregor von Bochmann, responsable de l'Action structurante en télématique.

Les chercheurs de l'équipe ont groupé leurs travaux selon trois orientations: réseaux, protocoles et logiciels de communication, interfaces personne-machine.

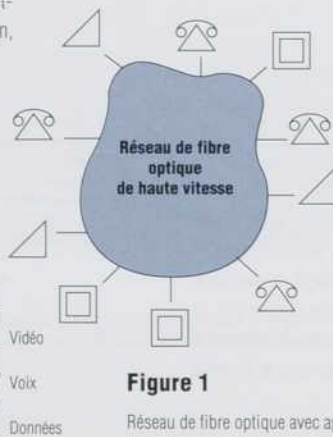


Figure 1

Réseau de fibre optique avec application multimédia

Concernant les langages de spécification, les chercheurs ont étudié en particulier la relation entre, d'une part, la notation ASN.1 couramment utilisée pour la spécification des protocoles normalisés sur le plan des applications et, d'autre part, les langages Estelle et LOTOS, en construisant des outils pour utiliser l'ASN.1 avec ces langages.

En conception de systèmes répartis, les chercheurs ont conçu des méthodes pour obtenir automatiquement, à partir de services donnés, des spécifications de protocoles et de passerelles qui adaptent différents protocoles entre eux.

Les professeurs Atwood de l'Université Concordia et Tropper de l'Université McGill ont créé des algorithmes répartis qui fonctionnent dans des systèmes à multiprocesseurs avec ou sans mémoire partagée ou dans des systèmes à plusieurs ordinateurs connectés par réseau local. En y adaptant ces algorithmes, les configurations permettent de tirer parti des moyens de traitement parallèle performants actuellement offerts sur le marché. Plusieurs applications ont été étudiées, notamment la simulation à événements discrets de même que la conception et l'implantation de protocoles de communication pour un multiprocesseur créé par l'équipe.

Interfaces personne-machine

Le groupe du professeur Gecsei de l'Université de Montréal et le professeur Godin de l'UQAM a réalisé des interfaces évoluées et adaptées à des non-spécialistes: «Fisheye», un système d'édition et de navigation dans des bases de documents multimédias à l'aide d'icônes visuelles et «Visionnaire», un outil multimédia permettant l'édition et la présentation synchronisée d'une séquence vidéo, de sa description textuelle et de la version parlée, dont l'application convient à l'enseignement des langues. Une interface «parlante» a été créée à l'aide d'un vidéodisque et de la parole synthétique. L'animation montre le visage d'un acteur réel qui prononce un message fourni au système sous forme de texte. Cette application peut servir aux systèmes tutoriels, à l'enseignement aux sourds-muets et dans les parcs d'amusement pour enfants.

COLLABORATION UNIVERSITAIRE

Depuis 1985, l'équipe de recherche en télématique a rassemblé une quinzaine de professeurs répartis en trois orientations: «réseaux», sous la coordination du professeur Jeremiah Hayes de l'Université Concordia; «protocoles et logiciels de communication», avec le professeur Gregor von Bochmann de l'Université de Montréal; «interfaces personne-machine», avec le professeur Jan Gecsei de l'Université de Montréal. Au cours de la période 1988-1990, 36 candidats ont fait leur doctorat; trois nouveaux chercheurs ont joint les rangs de l'équipe, dont deux à l'Université Concordia et un à l'Université de Montréal. La production de l'équipe, pour les deux dernières années, a été soutenue: 46 articles ont été acceptés ou publiés dans des revues internationales avec comité de lecture, 4 chercheurs de l'équipe ont publié des livres, seuls ou en collaboration. En plus de coopérations intra-universitaires, plusieurs chercheurs ont travaillé conjointement avec d'autres universités. Les groupes des professeurs Bochmann et Hayes représentent notamment deux Centres d'excellence dans le réseau fédéral de l'Institut canadien de recherche en télécommunication. Les professeurs Bochmann et Gecsei collaborent avec plusieurs chercheurs de l'Université du Québec à Montréal (UQAM), de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), de l'Université Bishop, du Collège militaire de Kingston, dans le cadre du groupe HERON dirigé par le professeur Frasson de l'Université de Montréal (systèmes de tuteurs intelligents). Les groupes des professeurs Bochmann et Sarikaya collaborent avec le professeur Logrippio de l'Université d'Ottawa dans le domaine des spécifications formelles de protocoles et de leur utilisation.

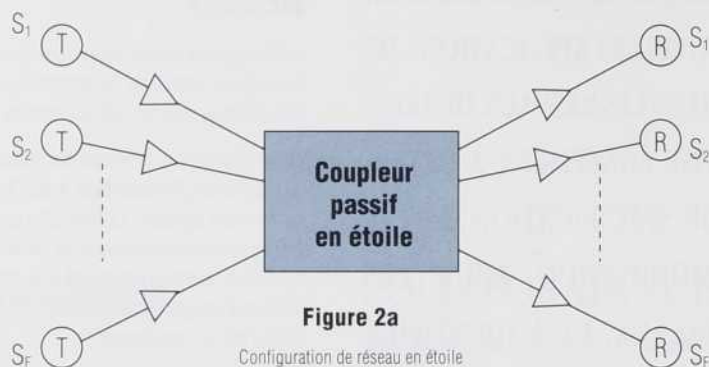


Figure 2a

Configuration de réseau en étoile

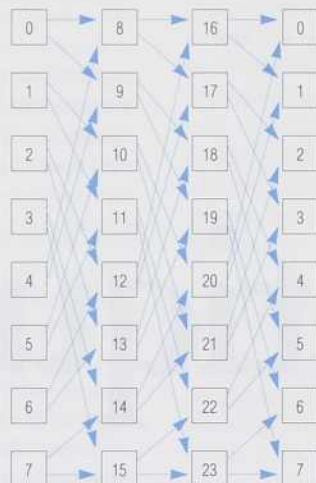


Figure 2b

Commutateur

La compagnie Idacom Electronics d'Edmonton participe, avec le Centre canadien de recherche sur l'informatisation du travail (CCRIT) et le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG), au financement de la Chaire de recherche industrielle en protocoles de communication à l'Université de Montréal, dont le titulaire est le professeur Bochmann. Le CRIM et Recherches Bell-Northern financent un projet en modélisation et contrôle de réseaux de communication impliquant des chercheurs de l'Université de Montréal. IBM et le CRIM financent un projet semblable impliquant la programmation logique. Grâce au CRSNG, les professeurs Hayes et Sarikaya de l'Université Concordia ont mis au point, avec le professeur Elhakeem, un réseau étoilé à grand débit de fibres optiques en collaboration avec Memotec Data. Les professeurs Thulasiraman, Elhakeem et Comeau ont également reçu une subvention coopérative du CRSNG et de BNR, pour un projet sur la conception et l'évaluation des performances d'algorithmes répartis pour l'optimisation des réseaux. Enfin, dans le cadre d'un projet coopératif avec Bell Canada et Prime Informatique, le professeur Gecsei a participé à l'établissement du Laboratoire interdisciplinaire de recherches en télématique à l'Université de Montréal, qui a créé des outils pour interfacier des systèmes experts avec le réseau vidéotex Alex. Des licences de certains logiciels mis au point par le groupe «Protocoles et logiciel de communication» ont été vendues à la compagnie Philips et au ministère des Communications du Canada. De plus, la compagnie allemande Siemens et la compagnie Mitsubishi Electric du Japon ont aussi fait appel au professeur Bochmann pour son expertise.

Enfin, le groupe du professeur Bochmann a créé avec le CRIM et Recherches Bell-Northern (BNR) un langage de spécification orienté objet pour la description des systèmes répartis, qui a été utilisé pour le répertoire des courriers électroniques. Les chercheurs modélisent actuellement un service de communication personnalisé — une version avancée de la fonction de transfert d'appel en téléphonie.

ORGANISATION DE L'ÉQUIPE

Professeur titulaire d'informatique à l'Université de Montréal, Gregor von Bochmann a obtenu un doctorat de l'Université McGill en 1971. Il coordonne l'équipe de télématique en collaboration avec les professeurs Jeremiah Hayes de l'Université Concordia, Jan Gecsei de l'Université de Montréal, Robert Godin de l'UQAM et Carl Tropper de l'Université McGill.

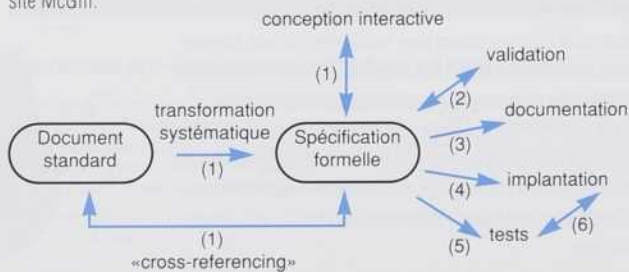


Figure 3

Langages de spécification et développement de protocoles

VLSI

L'ÉQUIPE DE CIRCUITS ITGÉ
(VLSI EN ANGLAIS) TRAVAILLE
À LA CONCEPTION DE LOGICIELS

POUR L'ÉLABORATION DES CIRCUITS INTÉGRÉS,
DANS DES DOMAINES TELS QUE L'OPTIMISATION
DE L'ARCHITECTURE DES CIRCUITS, LA TESTABILITÉ,
LA DÉTECTION ET LA TOLÉRANCE
AUX PANNES ET DÉFECTUOSITÉS.
CES TRAVAUX PERMETTENT DE CON-
CEVOIR DES CIRCUITS PLUS COM-
PLEXES ET PLUS FIABLES.

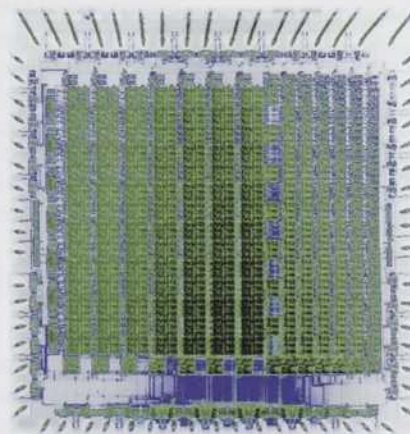
Aujourd'hui, grâce à l'intégration à très grande échelle (ITGÉ), on peut mettre un ordinateur complet sur un circuit intégré ou puce. Du fait de leur miniaturisation et de leur capacité croissante, les puces ont envahi tous les secteurs d'activités. Elles sont partout, dans les ordinateurs, les téléphones, les cartes à mémoire, les voitures, les appareils audiovisuels ou électromagnétiques, les prothèses biomédicales, les satellites spatiaux, etc.

De plus en plus complexes, les puces ont déjà passé le cap d'un million de transistors sur une seule pastille de silicium. La tâche du concepteur ou de la conceptrice de puces devient de plus en plus difficile, car à l'intérieur d'une puce se trouvent des dizaines de milliers de fils réunissant les transistors qui, regroupés, constituent des portes logiques. Comme chacune des portes logiques accomplit une fonction logique, on doit définir avec précision leur position et leur interconnexion avant de définir le masque, c'est-à-dire le dessin du circuit qui sera compacté à la surface d'une tranche de matériau semi-conducteur.

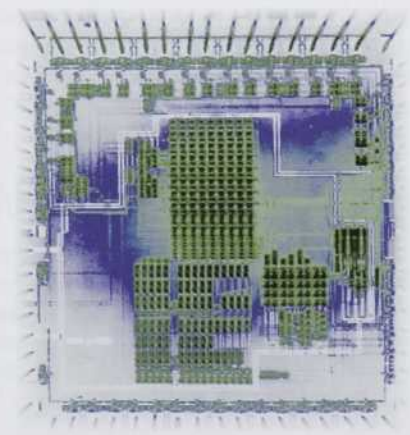
Étant donné la complexité et la miniaturisation de plus en plus poussées des puces, leur fabrication dépend avant tout d'outils avancés de conception. «Seule la CAO permet de concevoir, d'implanter et de tester à un coût raisonnable des circuits intégrés complexes. C'est pourquoi nous avons étudié les problèmes d'intégration des outils de la CAO et avons vérifié nos techniques avec la méthode de design symbolique. Nous pouvons maintenant réduire la surface qu'occupent les circuits intégrés par la compaction des masques lithographiques, ou en utilisant de nouvelles méthodes de synthèse de circuits logiques et d'architectures de calcul bit-sérielles (architectures où les éléments de calcul traitent un bit à la fois). Face à la grande complexité de ces problèmes, nous avons dû inventer des méthodes pour évaluer l'efficacité des algorithmes», explique le professeur Nicholas Rumin, responsable de l'Action structurante en conception de circuits ITGÉ.

L'équipe de chercheurs s'est attachée à résoudre quelques-uns des problèmes fondamentaux qui restreignent l'utilité des outils informatisés de conception des puces. Ils ont analysé les procédures de design, de vérification, de mise au point des tests ainsi que d'inclusion de tolérance aux pannes.

Design symbolique et automatisation du design



Le circuit intégré comprend 18 000 transistors et une pile systolique qui sert à ordonner en temps réel un ensemble de données. Il a été fabriqué par la compagnie Northern Telecom Electronics avec l'aide des services de fonderie de silicium de la Société canadienne de microélectronique.



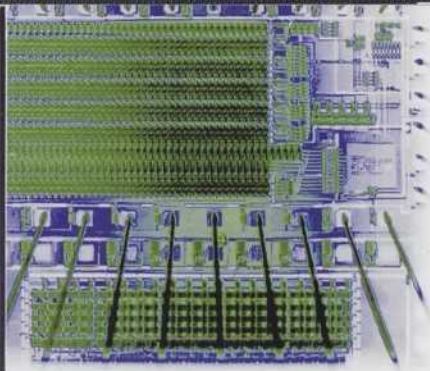
Le circuit intégré de 7 000 transistors est un processeur spécialisé pour le décodage des codes correcteurs d'erreurs.

Le design symbolique est étroitement lié à la conception de circuits ITGÉ. Les méthodes classiques pour concevoir ces circuits sont longues et laborieuses. Le professeur Cerny de l'Université de Montréal a conçu «Cheshire», un logiciel de CAO pour le design symbolique qui améliore grandement l'étape de la conception du dessin des masques. Au lieu de saisir tous les détails du dessin d'un masque à l'ordinateur, ce logiciel saisit le diagramme squelettique ou sa version simplifiée. Un tel logiciel accélère la compaction et aide le concepteur ou la conceptrice à réaliser des modèles plus complexes beaucoup plus rapidement tout en réduisant les erreurs.

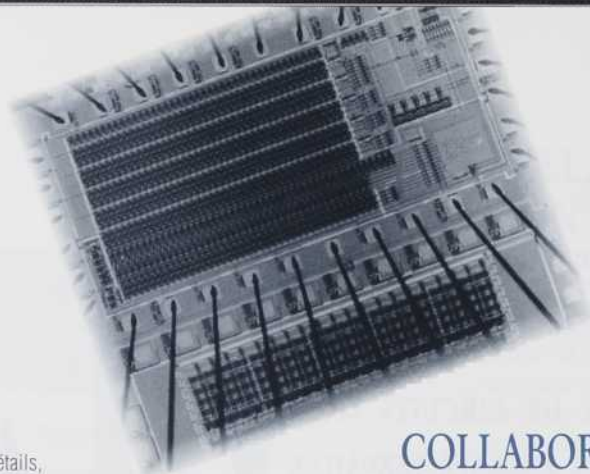
Le groupe de l'Université Concordia, avec les professeurs Jayakumar et Li, s'est penché sur l'automatisation du processus de la conception en réalisant un logiciel de CAO pour la compilation de silicium. Le rôle d'un compilateur est de prendre un algorithme spécifié par le concepteur ou la conceptrice et d'exécuter le masque correspondant. Les chercheurs ont créé un compilateur pour réseaux de processeurs «systoliques». Un tel processeur est un organe de calcul qui fonctionne en «pompe» régulièrement les données d'un processeur voisin, comme le cœur le fait avec le sang, d'où le qualificatif «systoliques». Les réseaux systoliques sont particulièrement utilisés dans le traitement de signaux, la reconnaissance de la parole, le filtrage des données, le traitement d'image et les calculs arithmétiques.

Vérification du design

«Le circuit ITGÉ réalisé est-il exactement conforme à ce qui était prévu?», s'est demandé le groupe du professeur Cerny. La question s'inscrit dans la problématique de la vérification du design. Les chercheurs ont créé une variété de simulateurs logiques dits «hiérarchiques à plusieurs niveaux». Ainsi, pour un même composant d'un circuit, le logiciel de simulation peut traiter plusieurs modèles à différents niveaux de détails. Comme un circuit peut contenir des millions de transistors, il faut simuler rapidement non seulement l'ensemble, mais aussi, au besoin, une portion particulière de



Le circuit intégré, conçu suivant une architecture systolique, permet le décodage à très haute vitesse de codes correcteurs d'erreurs. Il comprend 5 000 transistors.



COLLABORATION UNIVERSITAIRE

manière très détaillée. Avec un simulateur qui supporte jusqu'à quatre niveaux de détails, il est possible de multiplier par mille la vitesse de simulation, donc, la vitesse de conception d'un circuit ITGÉ fiable.

Les professeurs Dagenais et Rumin ont complété ces travaux en mettant au point une méthode d'analyse temporelle statique avec un logiciel qui cherche le temps de propagation le plus long dans un circuit sans simuler toutes les combinaisons possibles. Ce type de simulation renvoie une image de la pire situation qui, à la limite, peut être complètement déformée. En effet, comme les chercheurs négligent sciemment l'aspect logique, il se peut que cette situation ne se produise jamais. Les professeurs Dagenais et Kaminska de l'École Polytechnique ont créé une méthode d'analyse temporelle statique «hiérarchique», donc à plusieurs niveaux de détails. Les professeurs Cerny et Aboulhamid de l'Université de Montréal ont évalué un environnement VHDL, un langage de haut niveau pour la description de systèmes électroniques applicables aux circuits, et élaboré des technologies de modélisation en utilisant le langage.

Mise au point de tests de circuits intégrés

Comment savoir si le circuit conçu fonctionne selon ses spécifications? Les circuits produits peuvent être défectueux. Les professeurs Aboulhamid et Cerny de l'Université de Montréal ont donc aussi mis au point des méthodes pour tester efficacement des structures régulières. Ils se sont ainsi penchés, avec le professeur Rajski de l'Université McGill, sur la génération des tests automatisés en fonction de modèles de pannes élargis, lesquels comprennent un grand nombre de défauts qui ne sont pas considérés habituellement. Ces logiciels ont d'importantes applications dans le contrôle de la qualité industrielle.

Mais si un circuit n'est pas conçu pour être testé selon le comportement logique élémentaire de ses composants, il est fort probable qu'il ne sera pas testable par la suite, d'où l'importance de concevoir en conséquence. Les professeurs Kaminska et Savaria de l'École Polytechnique, ainsi que Agarwal et Rajski de l'Université McGill ont trouvé des méthodes permettant d'établir si un circuit est testable et de le modifier afin d'améliorer sa stabilité. Les chercheurs de l'équipe ont également mis au point des méthodes et des outils pour faire exécuter les tests par le circuit lui-même. Grâce à ces dispositifs incorporés, un circuit peut s'assurer que chacun de ses composants fonctionne bien. Le professeur Savaria projette de modifier les circuits pour les rendre autotestables.

Détection concurrente et tolérance aux pannes

Avec l'augmentation de la densité des circuits intégrés, une manière d'améliorer le rendement consiste à utiliser une architecture régulière qu'il est possible de reconfigurer. Si un composant défectueux est identifié, il peut être remplacé. Cette méthode est déjà utilisée pour réaliser des mémoires sur une seule tranche d'une capacité de 200 mégabits. Cette capacité se compare à celle des composants actuels de 4 mégabits qui peuvent loger la mémoire d'un micro-ordinateur de 512 kilooctets. Les professeurs Agarwal, Rajski et Rumin, de l'Université McGill et Savaria, de l'École Polytechnique, ont affiné ce type de méthode et développé de nouvelles approches pour la reconfiguration.

L'équipe de recherche en conception de circuits intégrés s'intéresse depuis 1985 à quatre thèmes: design symbolique et automatisation du design; vérification du design; mise au point de tests des circuits intégrés; détection concurrente et tolérance aux pannes. Au cours de ces travaux, 65 candidats ont reçu une maîtrise et 48, un doctorat. L'équipe a publié 47 articles dans des revues avec comité de lecture, 100 articles dans des comptes rendus de conférence avec arbitrage, alors que 9 ouvrages collectifs spécialisés portaient la signature des chercheurs. Fait à noter, dans la foulée de l'Action structurante, trois postes de professeurs ont été ouverts à l'École Polytechnique, à l'Université Concordia et à l'Université McGill. En plus d'établir des contacts fréquents entre les divers établissements universitaires montréalais, les chercheurs ont coopéré avec des universités étrangères. Ainsi, les professeurs Cerny de l'Université de Montréal et Rumin de l'Université McGill collaborent avec le professeur Hayes de l'Université du Michigan aux États-Unis. Le professeur Cerny a travaillé en modélisation de circuits au niveau du commutateur avec le D^r F. Vos de l'Université Catholique de Louvain en Belgique, et en vérification avec le professeur Zahnd de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne en Suisse.

COLLABORATION INDUSTRIELLE

En collaboration avec le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie, Recherches Bell-Northern (BNR) et Northern Telecom ont institué à l'Université McGill la Chaire industrielle de design de systèmes numériques, dont le titulaire est le professeur Agarwal, permettant ainsi l'engagement du professeur Rajski à la même université. La Société canadienne de micro-électronique (SCM) a bénéficié de l'expertise des professeurs Cerny et Agarwal, tous deux membres du comité du conseil technique, où leur ont succédé les professeurs Rajski de l'Université McGill et Savaria de l'École Polytechnique. Pour sa part, le professeur Rumin est président du conseil de la SCM. BNR et l'équipe entretiennent d'étroites relations qui ont impliqué les professeurs Cerny et Aboulhamid de l'Université de Montréal, Dagenais et Savaria de l'École Polytechnique, Agarwal et Rajski de l'Université McGill. Plusieurs autres compagnies font appel à l'équipe et à ses chercheurs: IBM, Hitachi, Kodak, les Systèmes électroniques Matrox. Notons que la fermeture de Sili-cart a permis l'engagement des chercheurs Khordoc à l'Université de Montréal et Martin à l'École Polytechnique. Enfin, le professeur Savaria a participé à des recherches avec le CRIM sur des applications des techniques de design en ITGÉ pour les ordinateurs en architecture parallèle.

ORGANISATION DE L'ÉQUIPE

Professeur titulaire de génie électrique à l'Université McGill, Nicholas Rumin est titulaire d'un doctorat de l'Université McGill (1957) dans cette discipline. Il coordonne l'équipe de conception de circuits ITGÉ en collaboration avec le professeur Rajagopalan Jayakumar, de l'Université Concordia, le professeur Eduard Cerny, de l'Université de Montréal et le professeur Yvon Savaria, de l'École Polytechnique.