

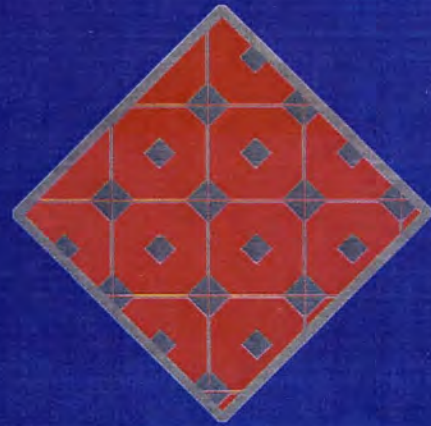


Semiconducteurs

RF



et



Activités connexes liées aux
Communications sans fil au Canada

Queen
TK
5103.2
.04214
1998
C.2

**Semiconducteurs RF et
activités connexes liées aux
communications sans fil au
Canada**

Industry Canada
Library Queen
MAY 20 1998
Industrie Canada
Bibliothèque Queen

Don Olcheski
Direction générale des TICF
Industrie Canada

Semiconducteurs RF et activités connexes liées aux communications sans fil au Canada

	Page
Introduction	1
Entreprises et chercheurs participants principaux canadiens	5
Recherche, résultats et applications	7
Débouchés et produits potentiels	11
Prévisions pour l'industrie	17
Tendances de développement et technologiques	22
Activités canadiennes	31
Conclusion	39
Glossaire d'acronymes	
Sources	
Annexes	

Remerciements

L'auteur désire remercier les personnes suivantes de l'apport matériel, des commentaires constructifs et de l'appui qu'elles ont fournis pour la réalisation du présent document :

Tom Hawkins, Wilfrid Laurier University
Tajinder Manku, University of Waterloo
John Long, University of Toronto
Anna Kim, Université Carleton
Les Horne, Quadrillion Corporation
Ian M^cArthur, University of Waterloo

Ces renseignements ont été rassemblés grâce à l'appui précieux du personnel précité, ainsi qu'avec le matériel provenant de la documentation technique accessible.

Des commentaires et des suggestions concernant l'aperçu des « Semiconducteurs RF et activités connexes liées aux communications sans fil au Canada » seraient appréciés par l'auteur, Don Olcheski, dont les coordonnées sont les suivantes :

Don Olcheski
Direction des composants et des technologies de base
Direction générale de l'ICTM
300, rue Slater, Tour nord Jean Edmonds
Salle 1888 D
Ottawa (Ontario)
K1A 0C8
CANADA

Tél. : (613) 954-3323
Télec. : (613) 952-8419
Courrier électronique : olcheski.don@ic.gc.ca

Date de publication : le 15 janvier 1998.

Introduction

Introduction

Le monde est en voie d'accéder à la prochaine génération des Systèmes de communication. La technologie des communications sans fil est un facteur habilitant d'envergure dans ces technologies et dispositifs nouveaux qui incluent le SCP, les services mobiles de données, la recherche de personne, les réseaux locaux sans fil et une foule d'autres dispositifs et accessoires qui émergent à mesure que les abonnés exigent une mobilité et une universalité plus grandes pour leurs systèmes de communications personnelles.

Les semiconducteurs sans fil qui constituent cette prochaine génération de dispositifs sont répartis en deux catégories. La première consiste en les composants RF de base nécessaires pour les matériels de communications sans fil fonctionnant sur la gamme de fréquences de 800 MHz à 2,5 Ghz; ces composants sont utilisés dans la partie radio des dispositifs sans fil. La seconde catégorie comprend les semiconducteurs à bande de base qui contrôlent le calcul, les fonctions logiques, la mémoire, la puissance et la gestion, ainsi que les fonctions de modulation et de démodulation.

Les tendances et les défis sur le plan des matériels de communications mobiles efficaces comportent des paramètres tels que la faible puissance, la taille et le poids réduits, et ce qui importe le plus, des circuits imprimés à rendement élevé et à haute fréquence. Les tendances au point de vue de la taille et du poids et du prix et de la puissance sont décrites pour le Canada et l'étranger. Cet aperçu porte sur certaines questions importantes et certains marchés stratégiques des semiconducteurs RF. Il traite également des semiconducteurs sans fil dans le cadre de l'industrie des communications personnelles sans fil au Canada à l'échelle du marché mondial. Un profil de certains des intervenants importants dans le domaine des SCP est aussi inclus.

Figure 1.0

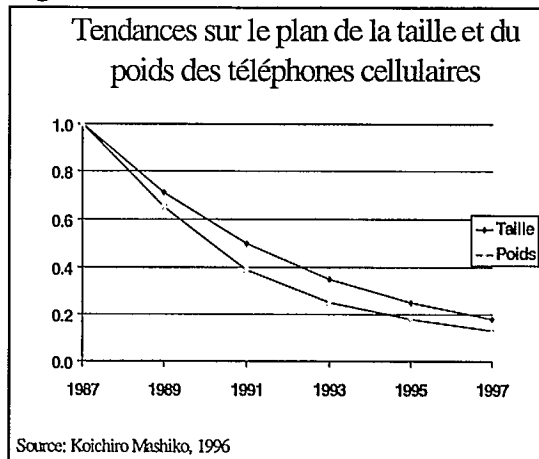
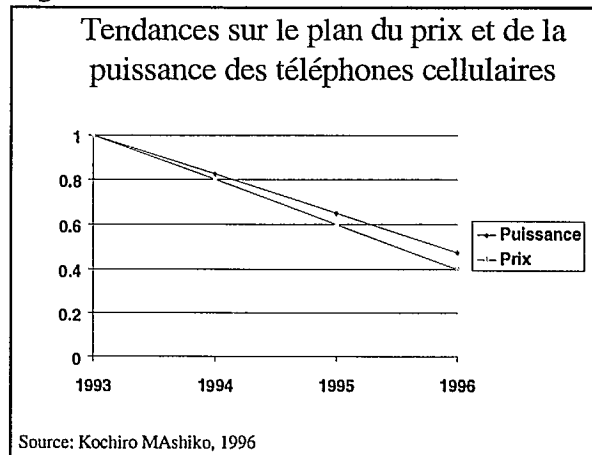


Figure 2.0



La technologie sans fil est de plus en plus acceptée comme jouant un rôle de premier plan dans les communications personnelles et d'affaires. Il est maintenant nécessaire d'être davantage mobile car les travaux ne se limitent plus à un bureau ou à un immeuble particulier. Le télétravail, considéré comme « autonome du milieu de travail » est un phénomène récent. En fait, le lieu de travail centralisé est un mode de travail assez récent. Non seulement les gens travaillent-ils dans des milieux moins structurés, ils veulent aussi de plus en plus être reliés et avoir accès aux personnes et aux outils auxquels ils sont habitués, de façon fiable et sans effort. Entre-temps, les améliorations à l'industrie de la microélectronique ont non seulement rendu les produits sans fil disponibles, mais abordables pour de nombreuses personnes. Puisque ces deux tendances se renforcent avec le temps, il est évident que la technologie sans fil a un rôle intégral à jouer dans l'économie future de tous et chacun dans notre économie. À mesure que les gens accroissent leurs déplacements, leurs entreprises et leurs organisations continuent de prendre de l'ampleur et de se diriger vers les communications sans fil.

L'industrie des communications sans fil possède des atouts dans plusieurs domaines, notamment : les produits de communication de données, les réseaux de recherche de personne, la radiotéléphonie cellulaire, les commandes radio industrielles, les émetteurs-récepteurs, les modems CDPD, les circuits locaux sans fil (WLL), les réseaux locaux sans fil, le matériel de réseau cellulaire, les satellites de radiodiffusion (DBS), les satellites de positionnement mondial (GPS) et les SCP. Dans la plupart des cas, les atouts des communications sans fil se situent dans trois domaines principaux : la mobilité, la commodité et les économies de coûts. Dans de nombreux cas, on a mis au point des produits sans fil destinés à des situations où il n'est pas pratique ou trop coûteux d'installer des fils neufs. Que la source des données soit mobile ou qu'il y ait des entraves sur le plan matériel ou des coûts pour installer de nouveaux fils, les réseaux sans fil s'imposent. Au Canada, en raison de notre infrastructure câblée importante, nous estimons souvent qu'il est rentable d'utiliser les fils existants dans le cadre de notre système sans fil. Ces applications sont considérées comme faisant partie de la catégorie du matériel sans fil, car on n'a pas besoin de fils neufs pour les communications. On abaisse constamment le seuil des produits sans fil parce que les nouvelles réalisations et les nouvelles réductions de coûts indiquées aux figures ci-dessus rendent l'utilisation de dispositifs sans fil de plus en plus préférable à l'ajout de fils. C'est dans cette situation où nous nous trouvons aujourd'hui, une situation où nous pouvons être certains que les réalisations futures dans le domaine des communications sans fil ne feront qu'accroître la quantité de produits sans fil exigée.

Les réalisations dans le domaine des communications sans fil se sont produites assez rapidement. Tandis que l'industrie continue de produire du matériel électronique doté d'exigences en matière de puissance de plus en plus faible et de circuits de plus en plus intégrés, elle passe également de la technologie analogique à la technologie numérique. L'usage de systèmes numériques permet non seulement de transmettre la parole, mais aussi d'autres formes de données sans fil. La combinaison de la technologie numérique et de l'électronique modeste de faible puissance a permis de fabriquer des dispositifs manuels tels que les SCP, susceptibles de remplir de nombreuses

fonctions. Non seulement les SCP permettent-ils la communication de la parole à l'instar d'un téléphone cellulaire analogique classique, ils sont tous en mesure de transmettre des données pour des applications telles que le courrier électronique et les fac-similés. Si la capacité de transmettre des informations d'un point à un autre est valable, il est évident que la capacité de transmettre les mêmes données à une personne plutôt qu'à un point est aussi valable. Il reste à savoir si les SCP déplaceront la majeure partie du marché classique de la radiotéléphonie cellulaire. Une chose est certaine; c'est que les communications sans fil se sont bien implantées, qu'elles évoluent et qu'elles s'améliorent rapidement. Ce document s'efforce d'étudier la participation des Canadiens dans ce domaine et les changements qui se produisent spécifiquement dans le segment des semiconducteurs de ce marché.

**Entreprises et chercheurs
participants principaux
canadiens**

Entreprises et chercheurs participants principaux canadiens

Les principaux intervenants mentionnés qui contribuent à la recherche et au développement RF au Canada sont énumérés au tableau ci-après. Nous tenons à nous excuser des omissions ou des erreurs qui se sont produites en raison du spectre d'activités sans cesse en évolution dans ce secteur technologique dynamique du Canada.

Principaux intervenants dans la recherche et le développement RF	
Alberta Microelectronic Centre (AMC)	Microcell
Aprel Laboratories	Micronet
Cadence Design Systems	Mitec
Centre de recherches sur les communications (CRC)	Mitel
Clearnet	Mobility Canada
CML	Moli Energy Ltd.
CNR	MOSAID
Com Dev	Motorola
Compagnie Marconi Canada	Nortel
CRSNG	Philsar
Ericsson	Quadrillion
Focam	Research in Motion
Genesis Microchip	Rogers Cantel
Gennum	SiGe Microsystems
Glenayre Technologies	Société canadienne de micro-électronique (SCM)
Goal Electronics	Spar Aerospace
IBM	Syborg
Infomagnetics	TR Labs
Institut canadien de recherches en télécommunications	Wi-Lan
Lucent Technologies	Xilinx

**Recherche, résultats
et applications**

Recherche, résultats et applications

Beaucoup de recherche a lieu au Canada dans le domaine des radiocommunications, au niveau des universités et des sociétés. On assiste à une vive concurrence au point de vue de l'élaboration de modes de communication nouveaux et meilleurs et de l'amélioration du matériel disponible. L'échelle des activités et de la production varie selon l'organisation, mais l'objectif demeure le même : réduire les coûts, diminuer la taille, amoindrir le poids et prolonger la durée des piles pour les diverses gammes de produits sans fil.

Un bon nombre d'universités canadiennes possèdent des programmes de génie électrique dotés d'un personnel travaillant dans le cadre d'études associées aux RF. Les universités de Waterloo, de Toronto, de Calgary, McGill, Carleton et de Colombie-Britannique ainsi que l'École polytechnique effectuent des recherches permanentes dans le domaine des hautes fréquences. Ces universités ont reçu des cotes dans le rapport Gourman de 1997 (voir l'annexe A).

À l'*University de Waterloo*, un groupe de chercheurs s'est donné pour objectif de mettre au point des méthodologies et des technologies nouvelles dans le domaine de la micro-électronique, afin de réduire les barrières économiques et technologiques annuelles qui limitent le traitement et la transmission de l'information. Pour atteindre cet objectif, les chercheurs ont axé la technologie RF sur des dispositifs actifs et passifs à haute vitesse, la mise au point d'éléments récepteurs RFIC/MMIC pour les applications à faible tension et à faible puissance et la production d'ondes à fréquences très élevées (c.-à-d. millimétriques) sur des puces. Ces travaux améliorent de nombreux domaines des communications sans fil tels que les SCP, le GPS, les réseaux locaux, les communications sans fil et la radiotéléphonie cellulaire. M. Tajinder Manku, professeur adjoint du Département d'électricité et de génie informatique, ainsi que ses collègues de l'*University of Waterloo*, affirment que cette université a mis au point plusieurs dispositifs innovateurs pour des entreprises qui possèdent actuellement une gamme de produits. Les compagnies avec lesquelles l'université est associée comprennent RIM, Nortel, Mitel, ComDev, IBM et Ericsson.

L'*École Polytechnique* possède des équipes de chercheurs qui étudient de nombreux sujets, notamment la conception, la fabrication et l'essai de dispositifs, les structures de circuits GaAs, BiCMOS et CMOS à hautes performances, les dispositifs électriques à hétérojonctions, la conception de puces numériques performantes et de dispositifs à signaux mixtes à haute vitesse. Cet institut collabore étroitement avec des sociétés telles que Mitel et Design Workshop.

L'*University of Calgary* possède l'un des plus importants programmes de recherche au Canada. Forte de plus de 40 chercheurs, l'*University of Calgary* a étendu ses compétences dans des domaines tels que la conception de circuits analogiques CMOS, l'électronique du traitement des signaux, la mise au point de circuits haute fréquence ainsi que la création et la fabrication d'amplificateurs de puissance MMIC URF GaAs. Un autre projet intéressant est celui d'une antenne

intelligente. Ce projet, appuyé par TRILabs, est axé sur les circuits et les procédures d'optimisation nécessaires pour réaliser une antenne intelligente efficace.

L'*Université McGill* a créé le Laboratoire des systèmes micro-électroniques et informatiques (MACS) en 1982. Situé au Département de génie électrique, MACS offre de l'expertise et des ressources qui sont utilisées par les responsables d'un certain nombre de projets de recherche dans le cadre du programme fédéral des centres d'excellence, notamment MICRONET et l'Institut canadien de recherches en télécommunications (ICRT). L'un des quatre principaux programmes de recherche au sein du MACS est celui des systèmes analogiques et numériques dotés d'essais, qui est dirigé par le professeur Gordon Roberts. Dans le cadre de ce programme, l'Université McGill a un groupe de chercheurs qui travaille aux circuits de filtrage analogiques intégrés pour la bande VHF et qui essaie aussi d'étendre ces travaux à la bande RF. Des entretiens sont en cours avec Nortel qui offrirait aux chercheurs de McGill l'accès au processus SiGe avancé permettant la réalisation de certains circuits intégrés à très haute vitesse pour la bande RF. Au cours des dernières années, McGill a conçu des techniques d'essai sur puce qui simplifient le coût des essais de production, en particulier les systèmes de modulation de type RF et les PLL.

À Ottawa, l'*Université Carleton* a réussi à intégrer ses programmes de génie électrique et électronique à des projets de recherche d'entreprises locales. Collaborant avec Nortel, Carleton participe activement à des processus BiCMOS, à des processus bipolaires avancés y compris les travaux initiaux RF bipolaires et la radio à sauts de fréquence. Les recherches actuelles sur les CI comprennent la conversion analogique/numérique à haute vitesse, le filtrage analogique adaptatif aux radiofréquences et le traitement des signaux numériques à haute vitesse. L'Université Carleton a aussi participé à l'élaboration d'une méthodologie en vue de la conception d'OCT monolithes à bruit en phase basse pour les applications de la radio numérique. Les autres travaux effectués par l'Université Carleton portent sur les processeurs de bande de base FPGA, les processeurs de parole à faible puissance, les processeurs de codage de parole, le prééchelonneur de modules multiples CMOS et les circuits CMOS RF. Les entreprises et les organisations qui ont collaboré avec l'Université Carleton comprennent Nortel, Mitel, PMC-Sierra, SiGe, ICRT, le CRC et Motorola. Plusieurs de ces projets sont dirigés en grande partie par le professeur Kwasniewski, qui a partagé le prix à l'innovation du CITO avec Martin Snelgrove et Miles Copeland, en supervisant plus de 30 étudiants travaillant à des projets RF.

L'*Université Laval* travaille actuellement à la modélisation de voies sans fil mobiles et intérieures et à la conception d'antennes microbande et de groupements d'antennes sur la gamme des hyperfréquences, dans son laboratoire de traitement des radiocommunications et des signaux.

À l'*University of British Columbia*, on a déployé beaucoup d'efforts pour étudier les aspects théoriques des transistors bipolaires à hétérojonction (HBT) SiGe et III-V. On a mis l'accent dans cette recherche sur la simulation précise de la performance à haute vitesse des circuits de télécommunications. Grâce à des techniques laser à haute vitesse désignées sous le nom

d'échantillonnage électro-optique, qui permettent de déterminer la réponse électrique des petits et grands signaux de dispositifs individuels et de circuits simples, on effectue des comparaisons avec les prévisions des modèles de circuits bipolaires. Les questions qui intéressent particulièrement les chercheurs d'UBC sont les rôles de l'autochauffage, la dynamique des effets des courants élevés et le rôle du dépassement de vitesse en fonctionnement saturé et quasi saturé. Les travaux théoriques portent sur la modélisation physique du fonctionnement des HBT. Ces travaux sont dirigés par M. Jackson sur le plan expérimental et par M. Pulfrey quant aux travaux principaux de modélisation. Les recherches effectuées par l'UBC sur les transistors bipolaires à hétérojonction sont soutenues directement par Nortel Technology, des subventions du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) et MICRONET.

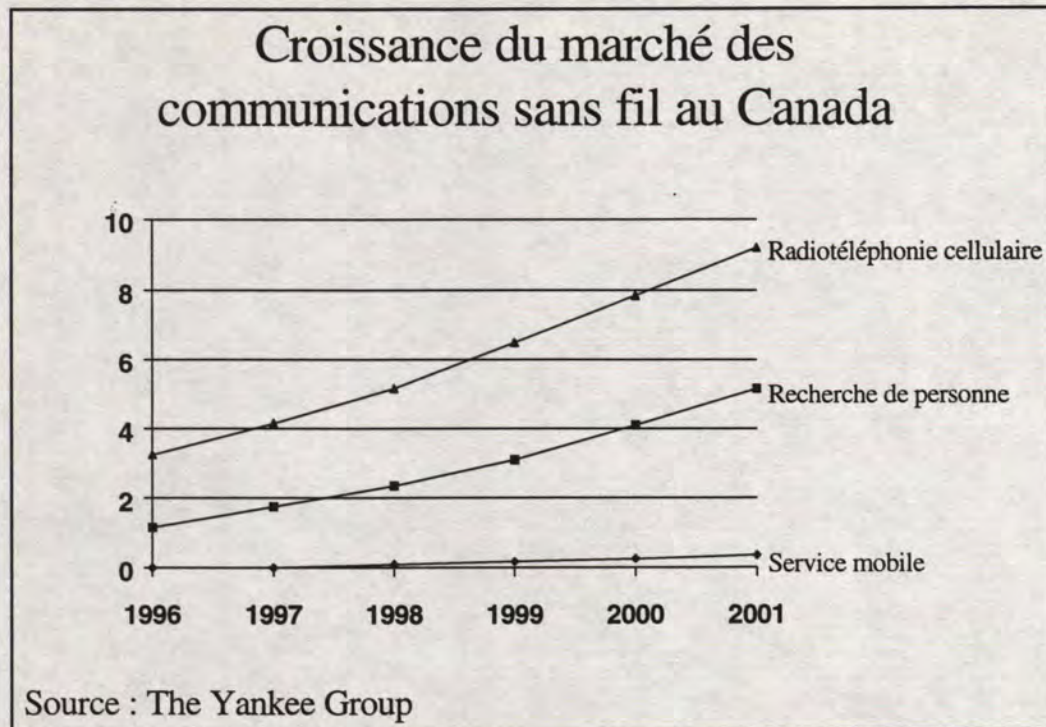
En plus de projets à long terme réalisés conjointement avec TRIUMF dans le domaine des CCD GaAs et des numériseurs de transitoires, l'*University of Victoria* a travaillé sur des amplificateurs, des comparateurs et des circuits de réseaux neuraux. L'Université de Victoria a aussi travaillé à la conception de CI en mode mixte, la fabrication étant assurée en partie par le CMC. Un autre groupe s'occupe de la conception d'antennes et de la modélisation de leur performance sur des combinés à proximité de l'utilisateur. De concert avec Industrie Canada, l'Université de Victoria évalue les effets sur la santé et les incidences techniques de la technologie sans fil. Cette université effectue également des travaux avancés sur les dispositifs MMIC des systèmes de communications.

L'*University of Toronto* a réalisé des progrès importants dans les domaines des réseaux prédiffusés programmables, des procédés BiCMOS, des communications et des convertisseurs et d'autres circuits. Ce qui importe pour le marché des semiconducteurs RF est la recherche qui a donné lieu à des améliorations des circuits CMOS/BiCMOS analogiques à basse tension, de la conception, de la modélisation et de la fabrication de dispositifs, de mémoires à semiconducteurs compatibles CMOS/BiCMOS et de circuits analogiques-numériques à haute vitesse et à faible puissance sur silicium et GaAs.

Aprel Laboratories d'Ottawa est en train d'entreprendre un projet important qui vise à modéliser les effets de la CEM et du BI sur des dispositifs de communication sans fil tels que les dispositifs SCP bimode les plus récents. L'Association de l'industrie du cellulaire a engagé cette firme pour effectuer des recherches dans le domaine de l'évaluation des incidences connexes.

**Débouchés et
produits potentiels**

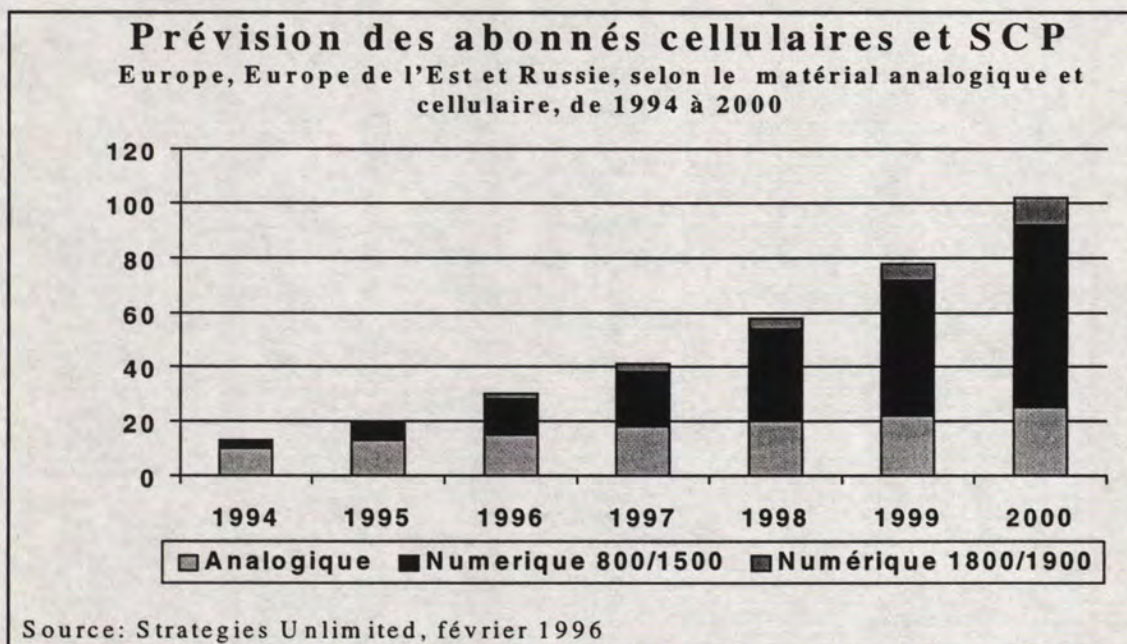
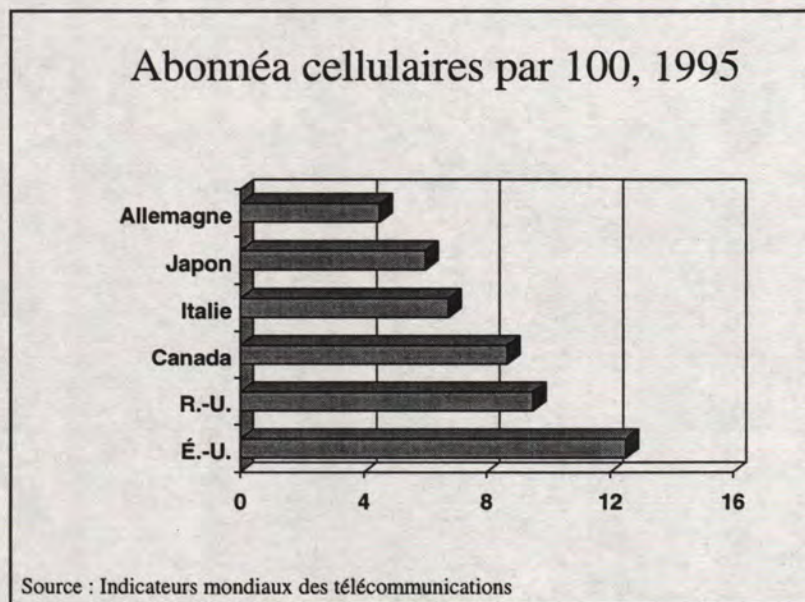
DÉBOUCHÉS ET PRODUITS POTENTIELS

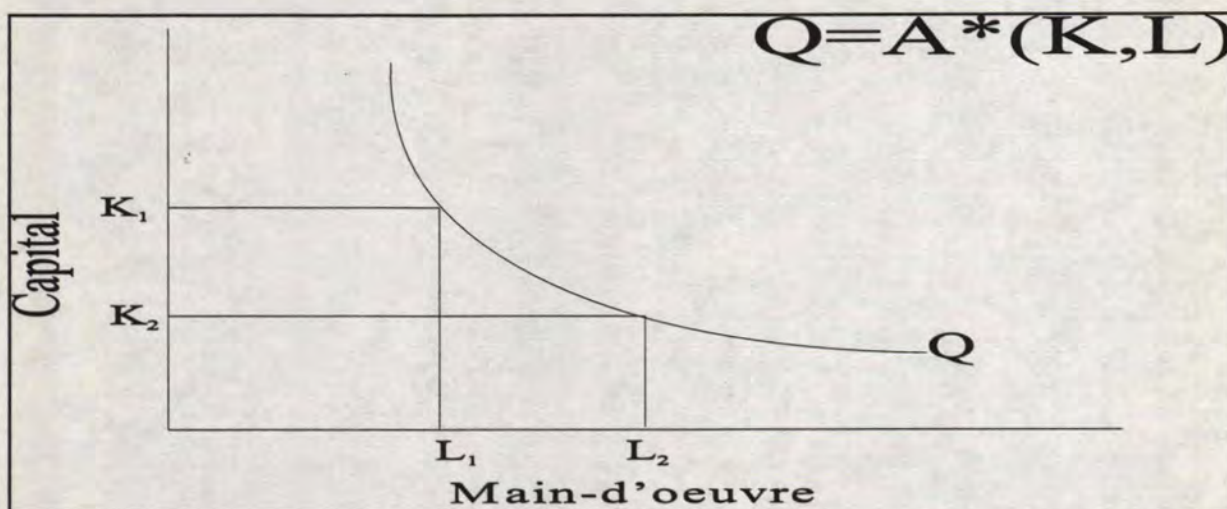


Les communications cellulaires semblent être un domaine de croissance qui prend de plus en plus d'importance dans le secteur des communications sans fil. Ce fait a été remarqué par les entreprises qui desservent le marché au Canada, marché qui peut atteindre plus de 90 % de la population. Microcell, Mobility Canada, Clearnet et Rogers Cantel ont commencé à commercialiser du matériel cellulaire numérique. Microcell, qui possède la gamme FIDO, a été la pionnière de ce domaine en novembre 1996. Elle a été suivie par Rogers Cantel (Amigo) en mai 1997 ainsi que par Clearnet (Mike) et Mobility Canada, qui ont lancé leurs services en octobre 1997. Les SCP sont maintenant les services les plus en vogue, les coûts moindres et leur plus grande qualité étant les principaux arguments des vendeurs. La technologie améliorée, qui permet une transmission plus claire de la parole que la radiotéléphonie cellulaire classique, ainsi que les nombreux nouveaux services offerts sur les systèmes numériques, font des SCP un service plus valable pour les abonnés qui ont hâte d'accroître la mobilité et la fonctionnalité de leur matériel.

Les liens entre les prestataires de services et les grands fournisseurs de services de télécommunications sont assez clairs : Mobility Canada, dirigée par Bell Mobilité, est approvisionnée en partie par Nortel; Rogers Cantel raccordée à AT&T Corp. et encline auparavant à acheter du matériel d'Ericsson; Microcell, qui a des liens en raison d'une propriété partielle avec Sprint Canada et qui a acheté une partie du matériel de Nortel; et Clearnet, qui est rattachée à Lucent Technologies.

De nombreux analystes estiment maintenant que le SCP pourrait avoir un appel et une pénétration des marchés beaucoup plus grands que le cellulaire ne les a jamais eus. L'estimation d'une pénétration de 40 % du SCP est une bonne nouvelle pour les sociétés affiliées, puisqu'un regroupement des services, notamment le SCP, la radiotéléphonie cellulaire, la recherche de personne et Internet semblent probables.





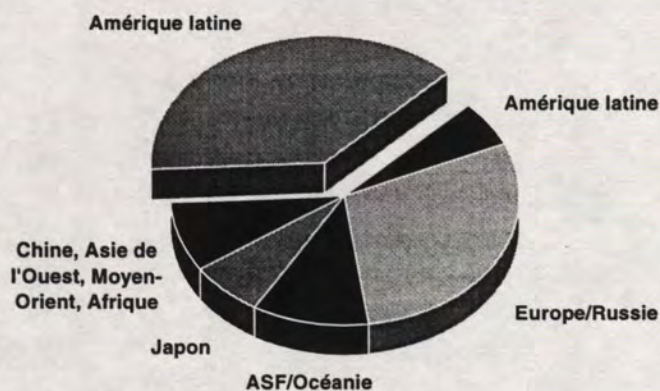
Le point de vue microéconomique qui étaye ce débouché peut être calculé à partir d'un modèle technique tel que celui ci-dessus, qui combine le capital et la main-d'oeuvre en une fonction de production afin d'obtenir un produit du montant « Q ». La firme peut substituer librement le capital et la main-d'oeuvre n'importe où sur la courbe « Q ». « A* » représente les paramètres technologiques, p. ex., les communications sans fil, qui peuvent modifier l'extrant « Q » indépendamment du capital et de la main-d'oeuvre.

Le marché mondial des combinés sans fil connaît un essor fulgurant. Ce marché fabrique actuellement 100 millions d'appareils et devrait en produire jusqu'à 200 millions en l'an 2000. En 2002, ce chiffre devrait grimper à 300 millions. De ces chiffres, la technologie numérique maintient sa part élevée à environ 80 % du nombre total d'unités vendues. Ce pourcentage de 80 % devrait augmenter à 95 % à la fin de l'an 2000. L'expansion prévue du marché des communications sans fil doit doubler d'ici l'an 2000, de sa valeur actuelle de 4 milliards de dollars à au moins 8 milliards de dollars. Même si cette industrie est largement disséminée sur le globe, on se tromperait si l'on pensait qu'il s'agit d'une industrie complète et fermée dans chaque pays. En fait, le commerce des télécommunications n'est pas isolé à l'intérieur des pays ou des régions, mais il participe fortement au commerce mondial. Le Canada est très actif dans le domaine du commerce des télécommunications, où il est le plus grand importateur et le plus grand exportateur en provenance et à destination des États-Unis (voir tableaux ci-après).

Dix principaux marchés d'exportations aux É.-U. En millions \$US	
Pays	TACJ juin 1997
Canada	1339
Japon	901
Mexique	652
Brésil	621
Hong Kong	596
Royaume-Uni	562
Corée	452
Chine (continentale)	317
Israël	293
France	257
Total des exportations	9580

Dix principaux marchés d'importations des É.-U. En millions \$US	
Pays	TACJ juin 1997
Canada	1 343
Japon	1 161
Mexique	1 022
Chine (continentale)	634
Chine (Taïwan)	437
Malaisie	343
Philippines	334
Israël	277
Thaïlande	148
Royaume-Uni	143
Total des importations	6 687

2000 abonnés cellulaires/SCP



Le signal du SCP est aussi plus pénétrant que les signaux cellulaires antérieurs, car il permet l'utilisation des téléphones presque partout à proximité d'une station de base. À mesure que le système analogique antérieur sera supplanté par un système fortement numérique, un regroupement des services deviendra plus évident. Les coûts du SCP pourraient être même inférieurs à ceux des systèmes cellulaires, car les nouvelles technologies permettent, par site cellulaire, un plus grand nombre d'utilisateurs ainsi que des coûts de matériel inférieurs.

Par le passé, des entreprises de télécommunications, telles qu'Ericsson AB de Suède et Nokia Oy de Finlande ont tenté de convaincre l'industrie et les consommateurs que les téléphones cellulaires offrent aux ordinateurs personnels la possibilité de se brancher en ligne. Ericsson AB, un leader dans ce domaine en Suède, devrait recevoir le feu vert ainsi que Nokia Oy pour établir la norme européenne de transmission des données sans fil à haute vitesse. Ces firmes prédisent que dans quelques années, il sera vraiment plus facile et moins coûteux d'utiliser des connexions sans fil avec Internet. On prévoit que d'ici l'an 2001, les utilisateurs d'Internet quadrupleront pour atteindre 400 millions, tandis que les utilisateurs de téléphones mobiles grimperont à 300 millions, c.-à-d. le triple du nombre actuel. Ces entreprises ont l'intention de s'assurer que leur part des 300 millions d'utilisateurs de téléphones cellulaires sont en mesure de se brancher en ligne rapidement et efficacement à l'aide de leurs téléphones cellulaires. Nokia projette la transmission de données sur des systèmes de communications mobiles afin d'accroître à 30 % le trafic total, à partir du taux actuel qui n'est que de 5 %. La principale préoccupation des compagnies de téléphone n'est pas l'attrait d'un nombre suffisant d'abonnés, mais la saturation du spectre des fréquences radioélectriques dans les régions fortement peuplées. Les prévisions sont basées sur la « Loi de Metcalf », selon laquelle « La valeur d'un réseau, défini selon son utilité pour une population, est environ proportionnelle au carré du nombre d'utilisateurs. » La portée et la profondeur des marchés desservis influent donc sur la valeur des services fournis.

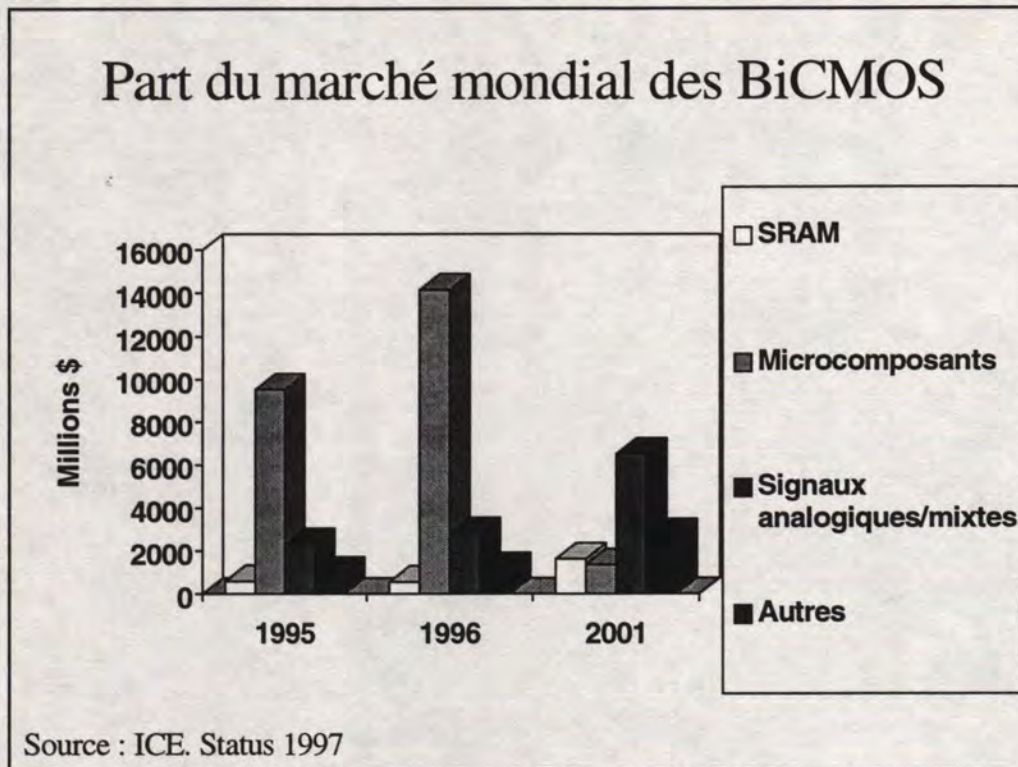
Prévisions pour l'industrie

Prévisions pour l'industrie

Le secteur des communications sans fil est devenu un réseau à paliers multiples composé de nombreuses entreprises combinées afin de créer des produits complexes et de haute qualité. Chaque étape de la mise au point d'un produit comporte l'ajout d'une valeur additionnelle à ce produit jusqu'à ce qu'il puisse offrir le service souhaité au consommateur. Il s'agit là d'une supposition importante soutenue par la « Loi de Metcalf » définie au chapitre précédent. À la lumière de cette supposition, on peut voir que les composants RF sont de plus en plus en demande en raison de l'augmentation du nombre de stations de base et de sous-systèmes. Un marketing dynamique par les prestataires de services cellulaires qui tentent d'accroître leur clientèle a donné lieu au subventionnement, par ces prestataires, d'une grande partie du coût des appareils pour l'utilisateur final. Les CI RF et sans fil sont aussi de plus en plus populaires, à l'instar du marché des réseaux de données sans fil et des réseaux locaux sans fil. Un autre stimulant du marché des semiconducteurs et de la demande de CI est l'émergence des normes numériques cellulaires. Les systèmes analogiques offrent encore un certain nombre de services de télécommunications, mais la qualité de la voix et une capacité moindres limitent la fonctionnalité et nécessitent l'utilisation de normes numériques AMDC ou AMRT. Le réseau canadien des SCP semble avoir favorisé l'accès multiple par différence de code (AMDC) plutôt que l'accès multiple à répartition dans le temps (AMRT). L'attrait de l'AMDC découle de nombreux attributs tels que la faible consommation d'électricité, la forte capacité et le fait qu'il est devenu la norme implicite aux États-Unis. C'est pour cette raison que l'AMDC semble bénéficier de l'appui de certains prestataires de services et fournisseurs de matériel cellulaire et SCP, même si la mise au point des jeux de puces n'est pas aussi avancée que celle de l'AMRT.

Nous allons maintenant examiner certaines des principales technologies des semiconducteurs qui soutiennent et favorisent les produits sans fil dont il a été question aux chapitres précédents.

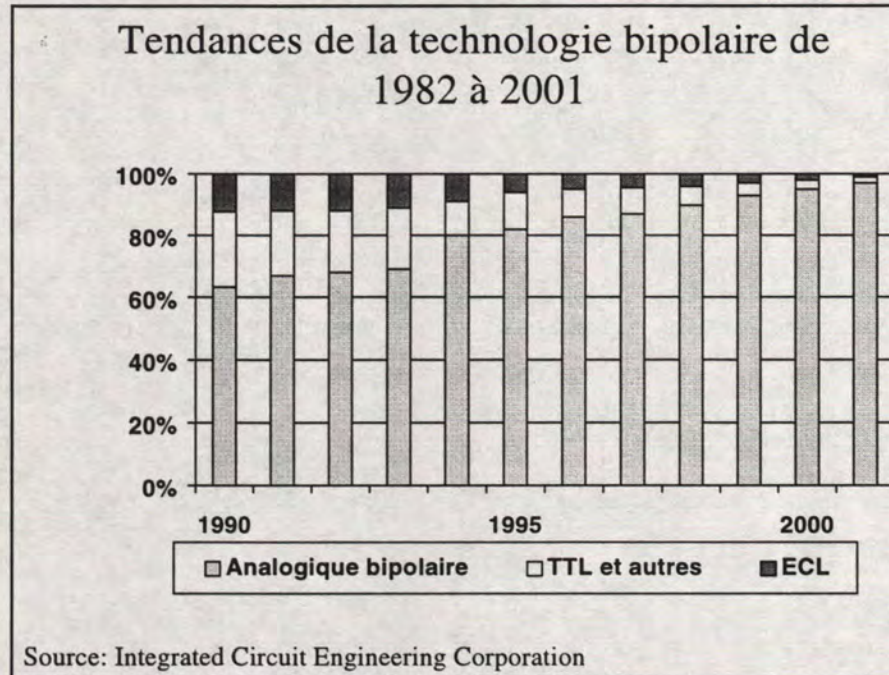
Dans le domaine des radiofréquences, le BiCMOS joue un rôle intégral, car il permet l'autointégration d'une forte complexité, de taux de données élevés et d'une fonction analogique précise. Les transistors BiCMOS remplacent lentement une partie des produits haut de gamme détenue par les ECL et les CI CMOS, car ils sont plus avantageux que les transistors numériques bipolaires et les CMOS. Les transistors BiCMOS sont la nouvelle norme de l'industrie pour les hautes vitesses ainsi que le remplacement des CMOS, car ils combinent les CMOS avec les transistors bipolaires pour produire une puce unique. Grâce à la combinaison des technologies CMOS et bipolaire, on peut fabriquer des puces qui offrent des cheminements bipolaires performants et des cheminements à plus haute densité, grâce à l'utilisation des CMOS. Cela permet d'utiliser efficacement la technologie BiCMOS dans de nombreux dispositifs courants tels que les MPU, les CI intelligents sur le plan de la puissance, les convertisseurs analogiques-numériques, les contrôleurs d'unités de disquette et de mémoire, les SRAM, les circuits prédiffusés, les cellules standard, etc.



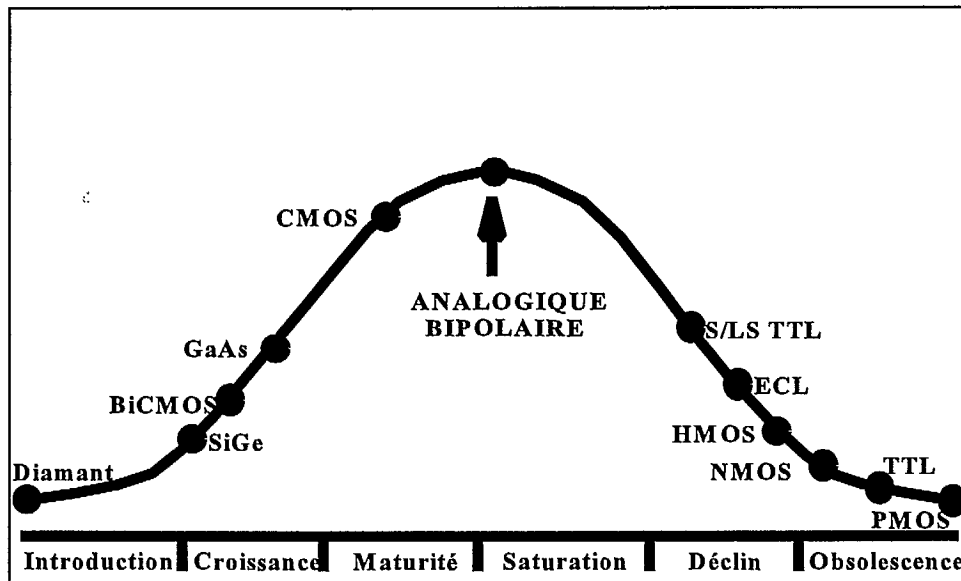
L'avenir des transistors BiCMOS dépendra de la découverte de technologies rentables pour concevoir des procédés BiCMOS spécialisés. L'économie joue un rôle prépondérant dans la création des BiCMOS, en raison des coûts suscités par les procédés complexes servant à combiner les transistors bipolaires et MOS en un dispositif unique. En raison de cette restriction, le marché des CI BiCMOS devrait chuter d'environ 9 % en moyenne chaque année. On estime que cette technologie représente actuellement 4 % de l'ensemble du marché des CI.

La technologie bipolaire est populaire avec les CI analogiques car les transistors bipolaires permettent un meilleur gain et un traitement de puissance plus efficace. Un autre point en faveur des transistors bipolaires est le fait qu'ils tendent à être plus robustes que leurs équivalents CMOS. Les CI bipolaires ne sont pas nécessairement plus efficaces que les CMOS, à cause de la consommation accrue d'électricité des bipolaires par fonction logique. Cela signifie que les CMOS sont meilleurs sur le plan technique que les CI bipolaires, sauf lorsque ces derniers peuvent fonctionner à des vitesses optimales au-delà de celle de leurs CMOS équivalents. Ces applications incluent les communications pour l'industrie des télécommunications et les processeurs principaux qui peuvent utiliser la vitesse des transistors bipolaires pour maximiser le rendement de puissance.

Le transistor bipolaire à hétérojonction (HBT) est un autre dispositif à semiconducteurs RF qui subit l'influence du phénomène sans fil. Les HBT sont utilisés dans des systèmes cellulaires numériques personnels.



Les progrès qui ont eu lieu dans le développement du silicium comme base des circuits intégrés ont atteint un point où il est possible de voir qu'il y a des limitations physiques associées à l'usage exclusif du silicium. La vitesse des circuits est un sujet épineux puisque le silicium ne peut résister aux vitesses élevées de la gamme des GHz. L'utilisation de germanium et de silicium permet de faire appel à des circuits plus rapides et à des fréquences plus élevées. La technologie des dispositifs SiGe a amélioré les fréquences de coupure au-delà de 100 GHz.



Source: ICE - Status 1997

Comme on l'a mentionné auparavant, certains dispositifs bien connus qui offrent un rendement à haute vitesse tel que les ECL connaissent une baisse de popularité en faveur d'autres dispositifs plus performants tels que les transistors GaAs et BiCMOS.

À mesure que les applications des communications RF s'éloignent des dispositifs discrets, l'intégration sera rendue possible par l'un des procédés technologiques suivants ou par tous ces procédés : GaAs, SiGe et BiCMOS. Selon Compound Semiconductor, le marché des transistors GaAs pourrait atteindre 2 milliards de dollars en l'an 2000, c'est-à-dire 1,3 milliard de dollars de plus qu'en 1996. Cela représente un TCAC de 15 %. La majeure partie de cette croissance est attribuable à une hausse spectaculaire de la fabrication de téléphones mobiles. On s'attend à ce que le marché des communications soit la source de 68 % des applications des transistors GaAs en l'an 2000. Un fait qui peut intéresser les entreprises canadiennes est que 90 % de la production de transistors GaAs est répartie presque également entre les É.-U. et le Japon. La croissance des transistors GaAs a permis de créer un marché en plein essor pour le matériel de communications. La CMC octroie des licences aux universités canadiennes pour la technologie GaAs. La fabrication de transistors GaAs est entreprise par Nortel. Des travaux considérables de conception des dispositifs GaAs sont effectués dans les laboratoires d'Industrie Canada au CRC.

**Tendances de développement
et technologiques**

Tendances de développement et technologiques

Les communications sans fil utilisent les ondes radio pour transmettre des informations à distance sans fil. Bien que la radio soit devenue une technologie de base dans le monde entier, c'est y à peine plus de cent ans, Marconi a inventé le premier dispositif susceptible de transmettre des signaux en code Morse sur une courte distance, soit en 1895. La première grande guerre a offert la première possibilité d'utiliser sérieusement les radiocommunications. Celles-ci ont été beaucoup utilisées à bord des navires militaires. La première station de radiodiffusion commerciale a commencé à émettre en 1920 et le récepteur radio est devenu bientôt un appareil domestique standard. Le premier système de radio terrestre mobile opérationnel a été utilisé en 1928 en modulation d'amplitude (MA). Cette technique s'est révélée insatisfaisante puisque les immeubles élevés et les accidents de terrain nuisaient à la transmission. L'invention de la modulation de fréquence (MF) en 1935 a offert une meilleure qualité de la voix, une consommation moindre d'électricité, l'utilisation de matériel moins encombrant et une meilleure résistance aux problèmes de propagation que la modulation d'amplitude. Les progrès réalisés au cours de la Deuxième Guerre mondiale ont donné lieu à l'implantation du premier système radio mobile relié au réseau téléphonique public. En 1947, les ingénieurs d'AT&T ont conçu la radiotéléphonie cellulaire. Le principe de cette nouvelle technique était qu'on pouvait installer de nombreux émetteurs à faible puissance dans une ville, les appels étant transmis d'un émetteur à un autre à mesure qu'une personne se déplaçait. On ne disposait pas alors d'une technologie sans fil efficace et cette technologie ne serait pas encore disponible pendant deux décennies. En 1977, le FCC a approuvé aux États-Unis deux licences expérimentales pour les communications mobiles et en 1981, a réservé la plage de 50 MHz du spectre sur la gamme de 800 MHz pour l'utilisation des téléphones cellulaires. À mesure que les coûts de l'expansion et de l'exploitation du réseau cellulaire diminuaient, les frais du temps d'antenne ont baissé et l'utilisation de la téléphonie cellulaire s'est répandue comme une traînée de poudre dans le monde. En Europe, les problèmes émergents attribuables à l'incompatibilité des réseaux cellulaires de divers pays ont donné lieu au développement du système mondial des communications mobiles (GSM). La nouvelle norme choisie déviait des options analogiques standard AMPS et TACS, puis est passée à l'accès multiple à répartition dans le temps (AMRT) numérique. L'utilisation commerciale du service GSM a débuté au milieu de 1991 et s'est répandue rapidement dans le monde entier. Le 23 novembre 1992, les abonnés cellulaires aux États-Unis ont atteint 10 millions. Au milieu de 1996, ce nombre avait atteint 40 millions. Le réseau GSM comprend maintenant la gamme initiale de 25 MHz, le système cellulaire numérique, aussi appelé réseau de communications personnelles (RCP), sur la gamme de 1 800 MHz, et le réseau SCP nord-américain sur la gamme de 1 900 MHz. La haute qualité de la parole, les faibles coûts des terminaux et des services, la capacité d'itinérance internationale, le rendement spectral, la compatibilité avec le RNIS et la capacité de soutenir toute une gamme de nouveaux services du GSM promettent de faire du cellulaire analogique le premier système de communications mobiles.

Les composants électroniques constituant la portion radiofréquences d'un dispositif sans fil sont appelés composants électroniques RF (dispositifs actifs et passifs). La technologie RFIC n'est encore qu'à l'enfance de l'art. Les facteurs déterminants seront le faible coût, l'excellente

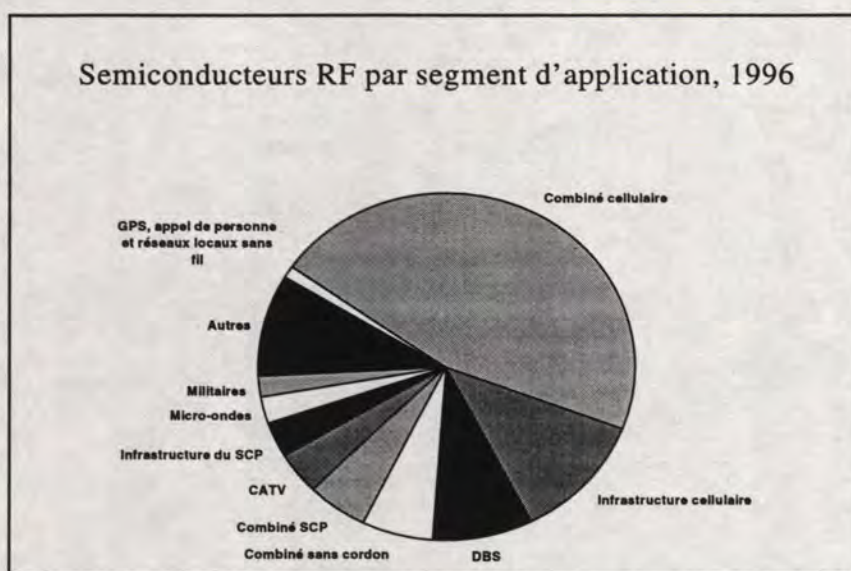
performance et le volume élevé, qui nécessiteront l'adoption de nouvelles démarches quant à la conception des systèmes et des circuits, de la technologie des semiconducteurs et des techniques de conditionnement. Les RFIC ont des composants critiques de la section du matériel terminale des dispositifs sans fil, puisqu'ils assurent le traitement du signal de l'antenne et qu'ils transmettent des renseignements numérisés sur les signaux au récepteur de données.

Des nouveaux produits pour les communications mobiles numériques telles que les SCP offerts par Mobility Canada, Clearnet, Microcell et Rogers Cantel sont déployés à un rythme plus élevé que tout autre produit de consommation qui a jamais été lancé au Canada. Cette fonctionnalité améliorée des produits et des produits connexes sur la gamme de fréquences de 800 MGz à 2 GHz est assurée en grande partie par les circuits de base et de microprocesseurs du dispositif. Les améliorations de la technologie RFIC sont encore aux premiers stades de croissance. Même si les plus grands efforts dans le domaine des CI analogiques au silicium ont été dirigés par le passé vers les circuits de base dont la fréquence se situe sur la bande des MGz, nous assistons à la conception de récepteurs radio très perfectionnés. Certaines de ces conceptions viennent d'UCLA où les transistors des amplificateurs RF sont intégrés à ces CI, même s'ils nécessitent des composants discrets tels que les inductances pour être chargés sur les circuits d'accord.

Les téléphones cellulaires mobiles et manuels sont les deux premières applications à grande échelle des émetteurs-récepteurs radio destinés au commerce. Les téléphones sans cordon ont été conçus environ à la même époque. Pour soutenir le grand nombre d'abonnés sur la portion du spectre qui leur est affectée, les téléphones cellulaires ont besoin d'un large volume de traitement des signaux, qui nécessite un haut niveau d'intégration des CI sur les cartes de circuits imprimés. Les téléphones cellulaires conventionnels utilisaient habituellement des CI au GsAs sur les blocs de réception et d'émission. La nouvelle génération de produits numériques des SCP exige une plus forte intégration de l'électronique RF et FI. La miniaturisation à l'aide de l'intégration des CI a été conçue par des entreprises de semiconducteurs tels que Siemens et Philips pour les applications GSM, qui ont fait oeuvre de pionniers dans ce domaine. À la suite de la prolifération des abonnés cellulaires sur la gamme du spectre de 900 MHz, les techniques d'étalement du spectre constitueront le principal plan de modulation et de démodulation. UCLA a mis au point des CI d'émetteurs-récepteurs qui mélangent facilement les signaux des circuits analogiques et numériques et utilisent les transistors CMOS et la technologie CI de prédilection pour l'émetteur-récepteur au complet, notamment la tête de radiofréquence. L'usage de tensions pour CMOS de l'ordre de 3V et de substrats au silicium pour les dispositifs discrets assurera une dissipation à faible puissance, puisque l'électricité consommée est directement proportionnelle au carré de la tension.

Les récepteurs d'appel ont été développés continuellement depuis 1980. Cependant, ce n'est qu'au cours des deux ou trois dernières années que la modulation binaire par déplacement de fréquence (FSK) a rendu possible le débit de signaux de données supérieurs à 1 200 b/s. Les circuits de démodulation ont permis ces débits en raison des techniques CI numériques. Mais les sections RF du récepteur d'appel de personne sans fil n'ont pas évolué beaucoup depuis les années 1980. Même si la technologie ne change pas rapidement, pendant la première moitié de 1997, les

dispositifs d'avertissement et les téléphones sans cordon ont connu des hausses des ventes de 286 % et de 220 % respectivement. Le Yankee Group a prévu que le nombre de clients des services bidirectionnels d'appel de personne aux É.-U. passera de moins de 400 000 en 1997 à 77 millions en 2005. Les conceptions des téléphones cellulaires passent de plus en plus à la gamme de 900 MHz et incluent les circuits de démodulation CI les plus perfectionnés. Bien que le taux de croissance apparemment élevé puisse refléter la taille de ces deux segments du marché du matériel de télécommunications, elle révèle la forte croissance globale du secteur des télécommunications. On a obtenu de nouveaux résultats d'essai pour un récepteur d'appel de personnes de 900 MHz, qui constitue une nouvelle réalisation sur ce marché. Cette réalisation représente un pas vers l'avant dans l'évolution graduelle de la radio intégrée.



Source: Dataquest (août, 1997)

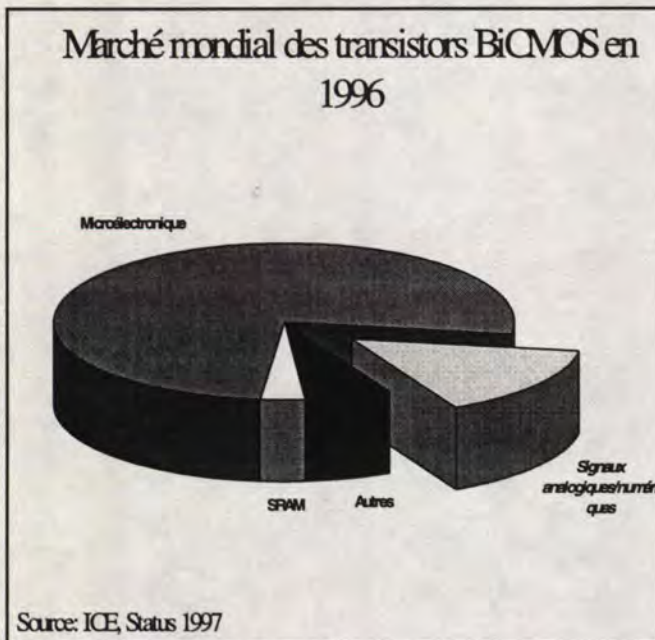
L'adoption de petits modules et de jeux de puces favorise l'intégration de fonctions de récepteur GPS à divers produits tels que les téléphones cellulaires et les véhicules. Le regroupement du GPS et d'autres services a permis d'accroître la valeur des services offerts. Les avantages des communications sans fil ont été observés par l'industrie de la télédistribution. Dans cette dernière, c'est la demande de services bidirectionnels qui a favorisé la mise au point de modems sans fil possédant des capacités bidirectionnelles et qui a augmenté la capacité des données. Des développements semblables ont aussi lieu dans les produits STML.

Le réseau local sans fil est un réseau local qui est dépourvu du coût ou des restrictions matérielles d'une connexion câblée. Outre la facilité d'installation et d'utilisation, un réseau local sans fil possède les caractéristiques d'être isolé et d'être doté de courtes liaisons. Ces qualités permettent d'installer des antennes relativement petites et d'utiliser des gammes de hautes fréquences. Les technologies du saut de fréquences et d'étalement du spectre sont considérées

d'habitude comme plus robustes et plus éconergétiques, mais incapables d'offrir un débit de données aussi élevé que les radio à fréquence directe.

Un autre segment d'applications qui a connu des changements et une croissance spectaculaires est celui des cartes à mémoire. La carte à mémoire est une application RF qui offre la possibilité d'épargner beaucoup de temps et de ressources. Qu'elle soit utilisée à des fins de sécurité, pour les postes de péage ou pour les transactions financières, la carte à mémoire peut servir chaque personne à maintes reprises.

Les semiconducteurs discrets sont définis comme des composants tels que les transistors, les diodes, les inductances et les condensateurs. Ces dispositifs sont interconnectés d'habitude à l'extérieur et ils jouent un rôle de premier plan dans la création de blocs comme les amplificateurs. Les marchés axés sur les applications liées aux produits RF sont les SCP et les combinés cellulaires ainsi que leurs infrastructures correspondantes. Le matériel d'infrastructure comporte d'ordinaire des appareils différents de conception, de production et de marketing, par rapport au secteur des dispositifs portatifs des téléphones mobiles, qui comprennent des unités de produits tels que les téléphones sans cordon qui ne peuvent visiter les stations de base comme les appareils d'appel de personne, les PDA et le GPS. Les dispositifs micro-ondes sur la bande au-delà de 2 GHz comme pour les applications LMCS nécessitent des techniques de conception très différentes et les dispositifs actifs emploient surtout la technologie GaAs. Le marché des semiconducteurs RF en 1996 a connu une forte hausse de la croissance, c.,-à-d. 6 %, par rapport à un déclin d'environ 6 % dans l'ensemble du marché des semiconducteurs. Les produits à semiconducteurs RF les plus répandus étaient les modules CI hybrides, les CI monolithes et les composants discrets. Selon Dataquest, le marché global des semiconducteurs RF représente 2,3 % du marché mondial des semiconducteurs, les CI monolithes RF étant le produit à la croissance la plus rapide dans ce secteur technologique. La tendance vers une hausse de l'intégration a déjà commencé, tel que mentionné plus tôt dans ce chapitre. Aucune technologie n'est aussi dominante que le CMOS. On estime que le CMOS et que ses améliorations représenteront environ 90 % du marché en l'an 2000. Les transistors BiCMOS sont en plein essor en tant que technologie de créneau performante et représenteront environ 4 % du marché des CI en l'an 2000. Les combinaisons de CMOS et de BiCMOS continuent à progresser et à évoluer afin de répondre à la majorité des demandes de performance des CI. Les transistors BiCMOS et SiGe sont considérés comme des remplaçants haute vitesse des CMOS purs en raison de leur capacité de remplir les fonctions des transistors CMOS et bipolaires sur la même puce. Selon l'ICE, le marché des CI BiCMOS devrait atteindre un TATC de 11 % entre 1994 et 2000, tandis que le segment analogique représente le secteur du marché le plus intense pour les dispositifs BiCMOS, en particulier dans les systèmes de communications.



ParkerVision, une entreprise américaine dont le siège social est situé en Floride, a annoncé une percée importante dans la technologie RF. Cette entreprise prétend être en mesure de révolutionner complètement l'industrie RF en rendant la majeure partie des circuits RF actuels périmés. Elle fait la publicité de son innovation sous le nom de « récepteur de conversion directe universelle », qui pourrait être utilisé dans de nombreux produits RF actuels, notamment le téléphone, les appareils de recherche de personne et les systèmes de sécurité. La consommation d'électricité de ce produit est inférieure à 10 mA, mais il peut laisser passer des signaux pouvant atteindre 3MHz. On prétend qu'il possède un « excellent signal permettant d'obtenir un gain et une sensibilité élevés » à une fraction du coût de la technologie RF actuelle. Un représentant de la compagnie affirme, lorsqu'il parle des capacités de son récepteur de conversion directe universelle, que cet appareil « offre une liste de souhaits aux concepteurs de produits RF et sans fil ».

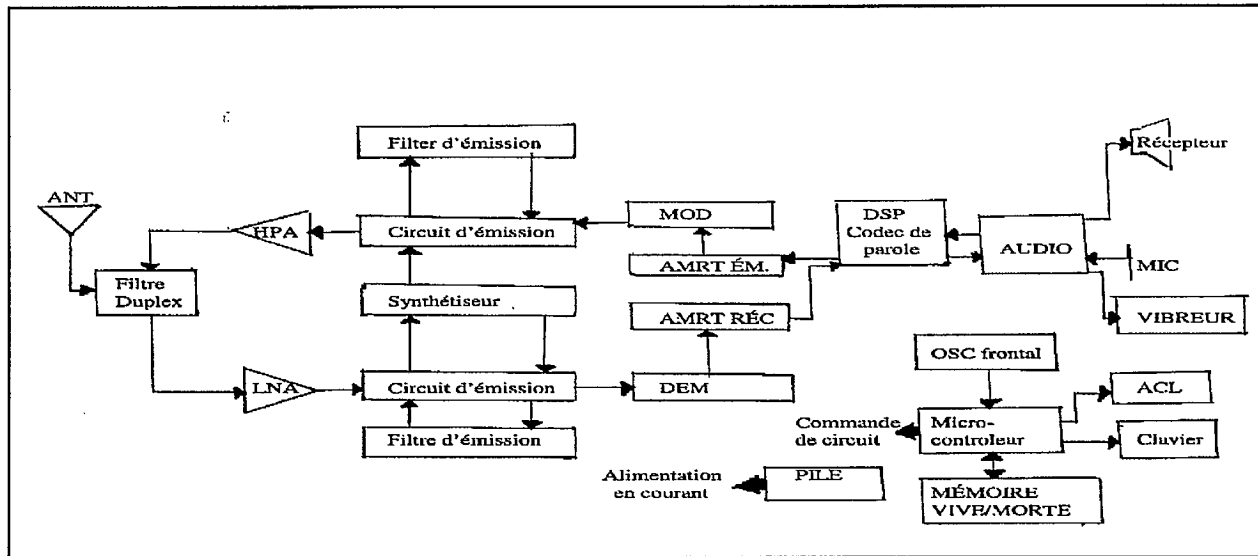
Aux É.-U., Texas Instruments a lancé une campagne dans le domaine de la technologie sans fil en offrant une huitième gamme de produits. Cette initiative vient compléter la stratégie de cette entreprise, qui consiste à produire tous les principaux composants au silicium des téléphones cellulaires. La nouvelle TI de la production vise les téléphones cellulaires numériques, les téléphones numériques sans cordon et les combinés des systèmes de communications personnelles (SCP). Durant le troisième trimestre de 1997, à la suite du lancement de ce plan, les profits de Texas Instruments ont augmenté de façon spectaculaire quant au renouvellement des commandes de puces spécialisées. Ses DSP sont utilisés actuellement dans de nombreux produits, notamment les téléphones cellulaires et les modems haute vitesse.

Les sociétés, afin de maximiser le rendement et la compatibilité, ont tendance à combiner les ressources et à faire des alliances afin de soutenir mutuellement la recherche et le développement. Une de ces alliances est le système universel de télécommunications mobiles (SUTM), que la société Sony a annoncé à la fin de 1997. Cette alliance a pour but de créer une interface radio standard. Cette interface rendra les nombreux aspects de l'accès multiple à répartition dans le temps (AMRT) et de l'accès multiple par différence de code (AMDC). Les membres de cette alliance incluent certains des principaux chercheurs de ce domaine, qui travaillent pour des sociétés telles que Nortel et Motorola.

La combinaison des normes multiples et des fréquences des SCP et de la radiotéléphonie cellulaire donnera lieu à l'utilisation, par bon nombre d'abonnés, de téléphones à deux modes et à deux bandes d'ici la fin de la décennie. La pratique actuelle la plus répandue est l'usage de composants non intégrés ou de CI ainsi que de composants discrets et passifs. Les fournisseurs offrent des têtes radiofréquence pour les téléphones cellulaires en combinant et appariant les commutateurs d'émetteurs-récepteurs, les LNA, les PA et les convertisseurs à alternat. L'objectif des fabricants et des chercheurs, tels que ceux de l'University of Toronto, consiste à réaliser une tête radiofréquence sur une seule puce pour la radiotéléphonie mobile de l'avenir.

Lucent Technologies vient de lancer une nouvelle puce qui, à son avis, pourrait réduire de beaucoup la taille et le coût de nombreux dispositifs électroniques portatifs tels que les appareils de recherche de personne et les téléphones cellulaires. Cette société est en pleine expansion dans ce secteur dynamique et s'est trouvé un bon nombre de collaborateurs. De concert avec Phillips, elle a commercialisé un téléphone SCP de 1,9 GHz, qui comporte la technologie analogique et la technologie cellulaire AMRT. Ses conceptions DSP peuvent en théorie fonctionner trois fois plus rapidement que celle de puces d'un coût semblable. Le personnel de recherche et de développement de Lucent prétend qu'il possède la capacité et l'expertise nécessaires pour répondre aux demandes uniques de l'industrie mondiale des communications sans fil.

Conception d'un téléphone cellulaire numérique standard



Dans de nombreux dispositifs cellulaires, la source de courant joue un rôle important quant au choix des fonctions et des puces utilisées. Sans les piles, bon nombre de dispositifs cellulaires auraient du mal à évoluer, car ils ont sans cesse besoin de plus de courant et que les alimentations jouent un rôle crucial. La dérivée de la consommation de courant est perçue à partir de l'analyse de la conception du téléphone cellulaire standard illustrée ci-dessus. L'Institut des procédés chimiques et de la technologie environnementale (IPCTE) du Conseil national de recherches du Canada travaille actuellement à la mise au point de piles avancées. Ses travaux de recherche et de développement de pionnier sont axés sur des matériaux permettant de stocker l'énergie. Le principal matériel électrochimique utilisé est le lithium. Les recherches de l'Institut ont donné lieu à la conception d'un bon nombre de techniques de traitement importantes et pratiques liées à l'essai et à la fabrication de piles. Les résultats provenant de l'IPCTE ont contribué à la création d'inventions brevetées fort prometteuses.

Les piles rechargeables sont vitales pour les nouvelles communications mobiles. La nouvelle pile rechargeable à ions de lithium qui fait actuellement l'objet de recherches à la Dalhousie University est une des piles rechargeables les plus puissantes mises au point. Elle devrait fournir le double de l'énergie par unité massique des piles classiques utilisées aujourd'hui. Le besoin accru de puissance et de densité énergétique favorise ce développement. Le principe fondamental qui sous-tend cette pile est un processus connu sous le nom d'intercalage, c'est-à-dire l'insertion réversible d'atomes dans un solide. Cela signifie qu'on insère du lithium dans l'électrode d'une pile. Cette opération produit de l'électricité et on retire le lithium pour recommencer. Ce nouveau ratio

TENDANCES DE DÉVELOPPEMENT ET TECHNOLOGIQUES

puissance/masse permettra de concevoir des configurations plus petites pour les piles tout en conservant la même densité de puissance.

Activités canadiennes

Activités canadiennes

Le Canada a effectué des recherches sur les radiofréquences depuis que ce domaine a pris de l'importance après la Deuxième Guerre mondiale. La participation du Canada au domaine des radiofréquences porte sur tous les secteurs du développement et de la production des RFIC, notamment la R-D, la fabrication de semiconducteurs, les composants électroniques, les télécommunications et l'entretien. Grâce à une expansion continue, l'industrie canadienne est devenue l'un des protagonistes de l'industrie des communications sans fil et du développement des RFIC. Les prestataires de services ont élaboré de nombreux sites alpha ou beta de première classe pour l'essai et l'utilisation de ces produits.

Le *Centre de recherches sur les communications (CRC)* est le principal établissement de recherches sur les communications d'Industrie Canada. Plus de 200 ingénieurs et scientifiques du CRC participent à des recherches sur les communications sans fil, mobiles et par satellite, les circuits intégrés hyperfréquence et numériques, les nouveaux matériaux entrant dans la composition des semiconducteurs et les réseaux sans fil, etc. Leurs recherches peuvent faciliter l'accès aux possibilités technologiques et leur évaluation au Canada et dans le reste du monde, grâce à des accords coopératifs avec plus de 12 organismes de recherche en Amérique du Nord, en Europe et en Asie. Le CRC participe activement à des accords d'octroi de licences et à des projets conjoints et compte actuellement plus de 100 technologies protégées prêtes à être commercialisées. À l'heure actuelle, le CRC effectue de la R-D dans les technologies matérielles et logicielles applicables à la conception de circuits et sous-systèmes numériques basée sur des ASIC et des FPGA (réseaux diffusés programmables) très performants pour les applications des communications. Les principaux problèmes éprouvés par le CRC sont ceux du traitement, de l'alimentation et du conditionnement des applications futures qu'exigeront l'intégration des circuits de l'ordre d'un sous-système ou d'un système sur une puce. Les recherches sur les mémoires, les logiques et les processeurs mettent l'accent sur la méthodologie de conception des cellules génériques et des macrocellules pour les dispositifs DSP de communications basés sur de nouvelles techniques d'architecture et algébriques en vue de la réalisation des ASIC et des FPGA. La prévision des travaux futurs dans le domaine des MCM a donné lieu à des études sur les questions d'intégration des sous-systèmes et de la technologie mixte. Les travaux conjoints et les consultations scientifiques avec l'industrie et les universités canadiennes sont aussi un des grands objectifs du CRC.

Le PARI est l'un des principaux programmes du *Conseil national de recherches (CNR)*. En offrant une assistance technologique aux petites et moyennes entreprises, le CNR, par le biais du PARI, a réussi à offrir un appui susceptible de donner lieu à des inventions, à des innovations, à la compétitivité et au succès des entreprises pour ses clients. Dix mille clients reçoivent des conseils chaque année du PARI, dans le cadre de 3 500 projets techniques cofinancés. Le PARI est donc devenu le centre de la croissance et de l'amélioration de l'information technologique du Canada. Également au CNR, l'Institut canadien d'information scientifique et technique (CISTI) est un système d'information conçu pour aider ses clients dans le monde entier en leur donnant des renseignements médicaux, scientifiques et techniques. Cette solution à un défi important dans le

cycle de production des industries ciblées montre l'engagement pris par le CNR en vue de la stimulation de la croissance des industries à forte teneur technologique. Une des compétences de base du CNR est les TI, dont les technologies des procédés de semiconducteurs sont un élément essentiel.

Un autre programme lancé par Industrie Canada, *Partenariat technologique Canada*, a été créé afin d'aider les entreprises dans des segments industriels spécifiques à s'assurer que les produits précommerciaux atteignent le marché.

Le *Conseil de recherche sectorielle en sciences naturelles et en génie (CRSNG)* est un conseil financé par le gouvernement fédéral, qui effectue des investissements stratégiques dans les ressources scientifiques et technologiques du Canada. Les recherches universitaires de base sont soutenues par des subventions accordées à plus de 8 000 chercheurs canadiens. Une somme de plus de 400 millions de dollars par année a été investie dans des partenariats entre les universités et l'industrie, visant à favoriser les technologies émergentes et innovatrices telles que la microélectronique.

Le *Fonds canadien de relance économique* est un des principaux fonds d'investissement parrainés par la population active. Ce fonds a été créé en vue de fournir un facteur vital dans la croissance continue de l'économie canadienne en offrant une source d'investissements aux PME. L'équipe d'investissement du Fonds canadien de relance économique investit dans les entreprises en pleine croissance de l'industrie des communications sans fil du Canada et contribue à cette expansion. Les entreprises canadiennes plus modestes ont tiré parti des investissements de ce groupe afin de promouvoir leur expansion. À l'heure actuelle, un montant de plus de 65 millions de dollars est investi dans les secteurs informatique et électronique du Canada. Ces fonds ont aidé à soutenir et encourager des compagnies canadiennes telles que Research in Motion et Mitel Telecom Inc., qui sont des fabricants R-D établis dans l'industrie des communications sans fil. Le Fonds canadien de relance économique est une firme d'investissements qui songe à l'avenir de la technologie en appuyant les secteurs à croissance rapide de notre économie.

Une autre organisation qui oeuvre de concert avec les universités et l'industrie canadiennes est la *Société canadienne de microélectronique (SCM)*. Située à Kingston, en Ontario, la SCM fournit des services liés aux recherches et aux applications dans les domaines de la microélectronique et des microsystèmes, tels que les dispositifs utilisant le GaAs comme éléments constitutifs. La SCM a conçu, par exemple, plusieurs produits permettant aux entreprises d'accroître la capacité des produits existants et de changer la nature de ces produits, tout en permettant la création de nouveaux produits.

Micronet est un réseau de chercheurs provenant d'universités, de l'industrie et d'organismes de recherches gouvernementaux financés par le gouvernement du Canada en vertu de son programme de réseaux de centres d'excellence (RCE). Ouvrant en vue de la mise sur pied de nouveaux

systèmes microélectroniques, Micronet met l'accent sur des recherches portant sur l'élaboration de technologies relatives à des systèmes de communications personnelles et axés sur l'information. Dans le cadre de son programme de recherches préconcurrentielles, Micronet effectue des recherches de premier plan dans plusieurs domaines rattachés aux dispositifs, aux circuits et aux systèmes. Les recherches portant sur les dispositifs ont pour but d'étudier la technologie des procédés et les techniques de conception, de fabrication, de modélisation et de caractérisation des dispositifs à semiconducteurs submicroniques. Dans son programme de dispositifs, Micronet s'occupe de dispositifs submicroniques tels que les transistors bipolaires, les transistors MOS, les transistors à hétérojonction SiGe et des modèles de dispositifs pour la conception des circuits. Le projet de dispositifs submicroniques porte sur la conception, la fabrication, la caractérisation et la modélisation des MOS submicroniques. Ces travaux sont effectués d'habitude avec la collaboration d'une université, de l'industrie et d'organismes gouvernementaux, notamment la Société canadienne de microélectronique, Gennum, le Conseil national de recherches, Mitel et Nortel Technology, ainsi que les universités de l'Alberta, de la Colombie-Britannique, Carleton, Simon Fraser, de Toronto et de Waterloo. Un des principaux composants des circuits est la conception analogique et numérique à haute vitesse et à faible puissance. Le développement d'éléments constitutifs des CMOS, des BiCMOS et des transistors GaAs pour les applications de traitement des signaux à haute vitesse et à faible puissance est un grand sujet de préoccupation. Les travaux sur les circuits à mode de courant, les circuits analogiques-numériques mixtes et les convertisseurs de données, les éléments constitutifs sans fil et les circuits MTA sont effectués dans des universités un peu partout au Canada, conjointement avec l'Alberta Microelectronic Centre, la Compagnie Marconi du Canada, le CMC, Gennum, Goal Electronics, Infomagnetics, Mitel, MOSAID, le CNR, Nortel Technology, PMC-Sierra, Spar Aerospace, Wi-Lan et Xilinx. L'objectif des travaux sur les circuits consiste à élaborer des méthodologies de conception des circuits et à mettre en oeuvre des cellules et des éléments constitutifs utilisant à la fois les technologies CMOS et BiCMOS et GaAs, aux niveaux micronique et submicronique.

La recherche et le développement au sein des entreprises et des universités canadiennes ne sont pas nécessairement une initiative isolée. L'industrie et ses homologues universitaires a très bien accueilli de nombreuses initiatives conjointes. Par exemple, l'*Institut des recherches sur les télécommunications de l'Ontario (TRIO)*, l'un des centres d'excellence de l'Ontario, qui fait maintenant partie de l'ICRT, répond aux besoins de l'industrie ontarienne qui effectue des recherches universitaires correspondantes. Le recours à des partenariats avec l'industrie et les universités permet aux chercheurs des deux secteurs de mettre l'accent sur des programmes de recherches conjointes et d'obtenir des résultats précommerciaux pour les deux parties.

Les établissements de recherche et de développement susmentionnés qui sont financés partiellement par le gouvernement permettent aux entreprises privées de s'allier à des organismes de R-D, créant ainsi une large base de soutien afin de favoriser la croissance des activités canadiennes.

Pour ce qui est du secteur commercial, nous avons dressé une liste partielle de participants, qui fournissent des produits et des services dans ce domaine technologique.

APREL Laboratories, situés à Nepean, en Ontario, sont une entreprise de recherche et de développement indépendante, spécialisée dans l'industrie des communications sans fil. Ses laboratoires effectuent des recherches notamment sur le brouillage et la compatibilité électromagnétiques. Le personnel d'APREL s'est concentré sur ces domaines par le passé. Les projets réalisés pour les clients comprennent la quantification du brouillage pour les SCP; l'analyse, la synthèse et le développement de positions techniques sur le brouillage des SCP; des réalisations dans la méthodologie de mesures électromagnétiques et de la santé; et d'autres sujets complexes rattachés aux questions de la CME et du BI dans le domaine des communications sans fil, au sein de cette industrie en pleine croissance.

Cadence Design Systems a ouvert son centre de conception d'Ottawa en mai 1997. En tant que fournisseur de technologie et de services pour l'automatisation de la conception électronique, Cadence offre des services de caractérisation, d'essai, de modification et d'intégration afin de répondre à des besoins précis en puces, en cartes et en systèmes. Puisqu'il fait partie du réseau d'usines de conception, le Centre de conception d'Ottawa se spécialise dans le secteur des télécommunications puisqu'il possède des atouts dans la conception des systèmes, ainsi que des puces et des cartes microélectroniques.

FOCAM Technologies est une entreprise technique de conception de composants microélectroniques qui se spécialise dans les technologies des signaux analogiques, numériques ou mixtes. Focam compte de l'expérience dans la conception du matériel de télécommunications pour la transmission et le stockage des données au niveau des CI ainsi que des systèmes. Cette expérience est précieuse dans les domaines de l'audio, de la vidéo, des graphiques et de la compression des données en vue de la transmission et du stockage et a inclus des travaux sur les FPGA, les ASIC et les MCM. La combinaison des logiciels de conception et des postes de travail d'avant-garde de Focam donne à ses équipes de concepteurs la capacité de résoudre des problèmes complexes de conception et de fabrication des circuits intégrés.

Genesis Microchip est une compagnie qui se spécialise dans les produits graphiques. La technologie de filtrage des images et les circuits de synthèse de fréquence CMOS réalisés par Genesis sont reconnus comme parmi les meilleurs de l'industrie. En novembre 1997, Genesis s'est vu décerner le titre de « Outstanding Financial Performer » par la Fabless Semiconductor Association des É.-U.

Gennum Corporation de Burlington, Ontario, conçoit et fabrique des circuits intégrés au silicium et des circuits hybrides à couches minces. Gennum dispose d'installations internes pour la fabrication des tranches et des circuits hybrides et le conditionnement. Gennum est un fournisseur de composants de circuits intégrés pour les marchés de la vidéo et de la radiodiffusion

professionnelles. Elle offre également des produits numériques et analogiques pour un certain nombre d'objectifs, en particulier les marchés qui ont des exigences uniques sur le plan de la performance et de l'emballage, applicables à une certaine gamme de produits et de dispositifs de télécommunications tels que ceux qui sont soulignés dans le présent document.

Glenayre Technologies Inc., qui a acheté récemment *Wireless Access Inc.* de Santa Clara, offre à *Glenayre* son expertise quant aux appareils de recherche avancés et à la conception des CI. Ce développement commercial permettra à *Glenayre* d'étendre ses installations de R-D et de fabrication à Vancouver, où la compagnie a équipé dernièrement *Clearnet PO Inc.* de sa plate-forme modulaire MVP de traitement de la parole. *Glenayre* offre une solution personnalisée pour ses réseaux SCP. Cette entreprise a devancé bon nombre d'autres fabricants, en partie en raison de la profondeur des services qu'elle est en mesure de fournir.

Goal Electronics se spécialise dans des circuits à signaux mixtes des procédés CMOS, en vue de la production de circuits intégrés propres à certaines applications. En plus d'offrir des services de conception ASIC, *Goal Electronics* offre également des services de prototypage, notamment des essais et le conditionnement de circuits sur commande. Par l'entremise des fournisseurs de tranches de l'entreprise, une production limitée et complète est possible.

Nortel, dont le siège social est situé à Brampton, en Ontario, est actuellement à l'avant-garde de la technologie du silicium-germanium, qui est un des principaux jalons à court terme. Actuellement, cette entreprise conçoit des prototypes de puces pour IBM, qui seront de 30 à 50 % moins chers que les puces standard où l'on fait appel à la technologie SiGe. Les centaines de concepteurs de CI de *Nortel* réalisent des composants sans fil tels que les convertisseurs analogiques-numériques et numériques-analogiques, les mémoires enchâssées et les interfaces haute vitesse. *Nortel* offre des gammes complètes de dispositifs bipolaires et CMOS de pointe. Les ressources internes des composants semiconducteurs de *Nortel*, alliées à l'accès à des sources externes préférées, offrent des solutions quant à une foule de composants à semiconducteurs utilisés dans le matériel de télécommunications. Le commutateur DMS-100 de *Nortel* est employé pour les applications sans fil et câblées dans un sous-système d'infrastructure. *Nortel* est un nouveau fournisseur nord-américain de communications sans fil et il commence à être réputé comme un fournisseur principal de certaines des principales RBOC et des PTT internationales.

Philsar est une entreprise dont le siège social est situé à Ottawa et qui est spécialisée dans la conception de circuits intégrés personnalisés. Ses ingénieurs fournissent des systèmes, conçoivent des composants RF et offrent de l'expertise dans le domaine de la fabrication des semiconducteurs à signaux mixtes. Les projets de recherches conjoints réalisés à l'Université Carleton ont permis à *Philsar* de recueillir d'excellentes idées sur les techniques et l'optimisation de puissance des circuits analogiques-numériques à faible tension et à basse puissance. Les concepteurs de puces de *Philsar*, utilisant ces techniques de recherche, ont tenté de combiner un convertisseur A-N entièrement intégré, un modulateur I et Q numérique, des filtres FIR numériques, ainsi qu'une DAC double, en

interpolant les techniques FIR et delta sigma sur une seule puce. Cela a donné lieu à la création de l'ASIC frontal RF, le récepteur GPS intégré utilisant la technologie bipolaire de pointe.

PMC-Sierra, de Burnaby, Colombie-Britannique, produit et entretient des composants pour les systèmes de transmission et de réseaux à large bande. En mettant l'accent sur des réseaux haute vitesse, PMC-Sierra fabrique des puces de communication haute vitesse ainsi que des puces personnalisées à signaux mixtes et pour graphiques.

La création des circuits intégrés comporte souvent des essais et des erreurs. Lorsqu'on fabrique un lot de CI, un certain nombre d'entre eux ne seront pas utilisables à la suite du procédé de fabrication et de conditionnement. *Quadrillion Corporation*, de Kanata, en Ontario, a mis au point un produit appelé « Q-Yield » qui tente d'améliorer cet aspect de l'industrie des CI. En utilisant un procédé appelé « extraction des données », Quadrillion peut analyser et utiliser les données produites au cours d'un processus de fabrication normale des semiconducteurs permettant de résoudre les problèmes qui réduisent la production de puces. L'amélioration de rendement est un autre exemple de l'engagement et de l'initiative au sein de l'industrie canadienne des semiconducteurs, qui visent à améliorer tous les aspects de l'industrie des RFIC.

Research in Motion (RIM) a conclu une alliance stratégique avec COM DEV, Intel et Analog Devices pour la réalisation de produits de télécommunications sans fil. RIM possède de l'expertise dans la conception d'ASIC numériques et analogiques. Quatre télécommunicateurs SCP à bande étroite ont été sélectionnés pour exploiter de nouveaux services bidirectionnels d'appel de personne d'un océan à l'autre, qui exigent une technologie RF de pointe (composants, antennes et protocoles), afin de pouvoir utiliser cette technologie sur ce marché. RIM est un réalisateur et un fabricant canadien d'appareils bidirectionnels de recherche de personne, de radios à cartes de circuits imprimés et OEM pour l'industrie des données sans fil des SCP à bande étroite et les modems de données sans fil pour les ordinateurs portatifs et les systèmes numériques d'assistance personnelle. RIM prétend que c'est Internet et l'expansion du courrier électronique qui favorisent sa croissance. Les données commutées par circuit, comme les personnes qui utilisent des téléphones cellulaires, occupent les voies pendant toute la durée d'un appel. Cela signifie que cette technique est plus coûteuse et utilise moins efficacement le spectre que les données commutées par paquets; par ex., Internet et les réseaux locaux de bureau. RIM met l'accent sur la messagerie à commutation par paquets afin de tirer parti de ce créneau.

Une autre entreprise qui oeuvre dans le domaine du silicium-germanium est *SiGe Microsystems Inc.* Cette firme tente de tirer parti de l'atout qu'elle possède dans la technologie du traitement du silicium-germanium aux fins d'utilisation dans les dispositifs sans fil numériques à haute performance et à faible puissance ainsi que dans les ensembles connexes.

TRLabs, une organisation de recherches en télécommunications fondée en 1986, est un des consortiums de recherche à but non lucratif les plus grands du Canada. Ce consortium dépend de la

collaboration avec l'industrie, les universités et le gouvernement. TRILabs emploie des chercheurs, des professeurs, des étudiants d'université, un personnel technique et des professionnels. Cette organisation met l'accent sur de nombreux aspects des télécommunications, notamment les communications sans fil. Ouvrant actuellement dans le domaine de la technologie sans fil, TRILabs travaille sur les sujets suivants : réduction des besoins en performance sur les dispositifs de communications sans fil internes; fourniture de liaisons sans fil avec des systèmes optiques; et autres aspects des technologies sans fil nouvelles tels que les réseaux locaux sans fil utilisant une technologie nouvelle pour raccorder des systèmes à fibres optiques, qui ont été démontrés comme pouvant atteindre des vitesses de 150 Mb/s, avec un taux d'erreur de bit en-dessous de la moyenne, et que l'on trouve communément dans un système à fibres équivalent.

Nous n'avons mis en relief qu'une partie des travaux importants effectués dans ce secteur technologique et les omissions sont entièrement non intentionnelles.

Conclusion

Conclusion

L'industrie des CIRF amorce une grande période de croissance où nous mènent les Services de communications personnelles. Cette croissance de l'usage modifie les méthodes de travail et les modes de communication et offre de nombreux débouchés commerciaux aux entreprises RF. Il est évident que la participation du Canada au secteur des CIRF révèle une présence solide et croissante dans ce nouveau domaine. Actuellement, des travaux intenses de recherche et de développement et des gens d'affaires réceptifs fournissent au Canada les outils et les produits nécessaires pour demeurer le leader de nombreux secteurs des communications sans fil. Cet aperçu des « semiconducteurs RF et des activités connexes liées aux communications sans fil au Canada » a tenté d'étudier certaines des principales activités qui se déroulent au Canada dans le secteur dynamique des communications sans fil et des semiconducteurs. Nous concluons que l'élan donné dans ce secteur dynamique est fort prometteur. Nous possédons la masse critique et les compétences nécessaires pour jouer un rôle de premier plan dans cette évolution.

Glossaire d'acronymes

A-N	Analogique-numérique
AMC	Alberta Microelectronic Centre
AMDC	Accès multiple par différence de code
AMRT	Accès multiple à répartition dans le temps
ANP	Assistant numérique personnel
AsGa	Arséniure de gallium
ASIC	Circuit intégré à application spécifique
ATM	Mode de transfert asynchrone
BGA	Réseau à billes
BiCMOS	Semiconducteur à oxyde de métal complémentaire bipolaire
CI	Circuit intégré
CMOS	Semiconducteur à oxyde de métal complémentaire
CNA	Convertisseur numérique-analogique
CNR	Conseil national de recherches du Canada
CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie
CRTI	Centre de recherches sur les technologies de l'information
CSP	Ensemble de puces
FCC	Federal Communications Commission
FET	Transistor à effet de champ
FIR	Réponse finie à une impulsion
FPGA	Réseau de portes programmables par l'utilisateur
Ghz	GigaHertz, milliards de Hertz
GPS	Système de positionnement global Système de positionnement par satellite
GSM	Système global pour les communications mobiles Système mondial global (européen)
HBT	Transistor bipolaire à hétérojonction
ICIST	Institut canadien de l'information scientifique et technique
ICRT	Institut canadien de recherches en télécommunications
Khz	KiloHertz, milliers de Hertz
MACS	Systèmes microélectroniques et informatiques
MCM	Boîtier multipuce
Mhz	MégaHertz, millions de Hertz
MMIC	Circuit intégré monolithique hyperfréquences
MVP	Traitement modulaire de la parole
PARI	Programme d'aide à la recherche industrielle
PCN	Personal Communications Network (R.-U.)
Pucetournée	Puce au silicium inversée et non encapsulée
RCE	Réseau de centres d'excellence

RF	Radiofréquence
RIM	Recherche sur le mouvement
RLSF	Réseau local sans fil
RNIS	Réseau numérique à intégration de services
SCM	Société canadienne de micro-électronique
SCP	Système de communications personnelles
SDML	Système de distribution multipoint local
SiGe	Silicium-germanium
SPNC	Service de paquets numériques cellulaires
SRD	Satellite de radiodiffusion directe
STML	Système de télécommunications multipoint local
TCAC	Taux de croissance annuelle composé
TNS	Traitement numérique des signaux
WLL	Boucle locale sans fil

Documents de référence sélectionnés

1. Applied Microwave & Wireless, mai-juin 1997, vol. 9, n° 3, Noble Publishing Corporation, Tucker, Géorgie, É.-U.
2. Compound Semiconductor, numéros de 1997.
3. « Composants électronique : Code CTI 3352 - aperçu de l'industrie », Direction générale des technologies de l'information, Industrie Canada, 1996
4. Electronic Engineering Times, numéros de 1997.
5. Electronic Times, numéros de 1997.
6. EP&T Electronic Products and Technology Magazine, 1997.
7. Gourman, Jack. « The Gourman Report: 10th Edition », Random House Inc., New York, N.Y., 1997.
8. Lum, Earl, « The RF Semiconductor Market, 1997 : Focus Report », DataQuest, 1997.
9. « Renseignements sur le marché : importations de composants électroniques », Direction générale ICTM d'Industrie Canada, 1997.
10. McClean, Bill, éd., « Status 1997 - A Report on the Integrated Circuit Industry », Integrated Circuit Engineering Corporation, 1997.
11. Microwave Journal, numéros de 1997.
12. « Mid-term 1995 Status and Forecast of the IC Industry », Integrated Circuit Engineering Corporation, Scottsdale, Arizona, 1995.
13. Ottawa Citizen, numéros de 1997.
14. « Report on Wireless », Evert Communications Limited, 1997.
15. Strategies Unlimited, « RF Components for PCS Base Stations and Links: Market Review and Forecast 1995 - 2000 », février 1996.
16. Diverses trousse d'information de sociétés.
17. Whitbread, Mercedes, Murray Disman, « Wireless Communications Markets, Technology, and Trends », Electronic Trend Publications, 1997.
18. « Les communications personnelles sans fil », Direction générale des technologies de l'information, Industrie Canada, 1994.
19. Le cadre de compétitivité du Secteur des télécommunications des communications personnelles sans fil, Direction générale des technologies de l'information, Industrie Canada, 1994.
20. Wireless World, numéros de 1997.

Classement des programmes de génie électrique
tiré du Rapport Gourman

Institution	Note	Classement É.-U.
Massachusetts Institute of Technology	4,92	1
Stanford University	4,91	2
University of California-Berkeley	4,88	3
University of Illinois, Urbana Champaign	4,86	4
University of Toronto (1)	4,86	
University of California-Los Angeles	4,82	5
Université McGill (2)	4,82	
Cornell University	4,81	6
University of British Columbia (3)	4,81	
McMaster University (4)	4,80	
Purdue University-West Lafayette	4,79	7
University of Southern California	4,77	8
Princeton University	4,76	9
University of Michigan-Ann Arbor	4,75	10
Carnegie Mellon University	4,74	11
Polytechnic University	4,73	12
Queen's University (5)	4,72	
University of Alberta (6)	4,72	
University of Calgary (7)	4,71	
University of Texas-Austin	4,70	13
University of Manitoba (8)	4,70	
École polytechnique (9)	4,70	
University of Saskatchewan (10)	4,70	

Exportations américaines de matériel de télécommunications
(en millions de \$US)

	CDA juin 1997	CDA juin 1996	% changement
Appareils et pièces téléphoniques	266	164	62 %
Matériel et pièces téléphoniques	2 098	1 903	10 %
Matériel et pièces télégraphiques	716	570	26 %
Radioémetteurs	350	268	31 %
Radorécepteurs	188	182	3 %
Émetteurs-récepteurs	917	787	17 %
Répondeurs	59	78	-25 %
Communications	2 272	1 792	27 %
Téléphones cellulaires	903	1 021	-11 %
Télécopieurs	25	58	-57 %
Téléphones sans cordon	546	171	220 %
Modems	558	512	9 %
Téléavertisseurs	4	1	286 %
Câbles à fibres optiques	421	320	31 %
Autres pièces de câble	256	214	20 %
Total	9 580	8 042	19 %

QUEEN TK 5103.2 .04214 1998
Olcheski, Donald
Semiconducteurs RF et activi

DATE DUE
DATE DE RETOUR

DATE DUE	DATE DE RETOUR

38-296

CARR McLEAN

INDUSTRY CANADA/INDUSTRIE CANADA



128447