

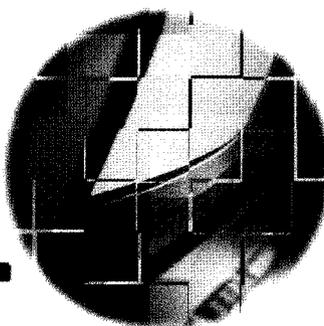


Industrie
Canada

Industry
Canada

TENDANCES

TECHNOLOGIQUES



EN COMMUNICATIONS



Table des matières

1.0	Introduction	1
1.1	Antécédents	1
1.2	Méthodologie	1
2.0	Tendances mondiales	3
2.1	Des communications omniprésentes - Tendance mondiale 1	3
2.2	Les communications et les réseaux mondiaux - Tendance mondiale 2	4
2.3	Les communications machine-machine - Tendance mondiale 3	5
2.4	Les interfaces naturelles homme-machine - Tendance mondiale 4	7
2.5	Les services de radiodiffusion, d'information et de divertissement - Tendance mondiale 5	8
2.6	La convergence - Tendance mondiale 6	9
3.0	Tendances technologiques	11
3.1	Un modèle de réseau de télécommunication	11
3.2	Les technologies de l'interface-usager	12
3.2.1	Introduction	12
3.2.2	Les outils d'interfaces-usagers	
3.2.3	Les technologies de gestion de l'information	13
3.3	Le traitement du signal d'origine	14
3.3.1	Introduction	14
3.3.2	La parole	14
3.3.3	Le son	15
3.3.4	La vidéo	15
3.3.5	Les autres sources (images fixes, textes, graphiques, ROC, saisie tactile de données)	16
3.4	Le réseautage	17
3.4.1	Introduction	17
3.4.2	Les tendances en matière de réseaux	17
3.4.3	L'architecture, la modélisation et la gestion des réseaux	18
3.4.4	L'interfonctionnement, la mobilité et l'acheminement	18
3.4.5	La sécurité des réseaux	19
3.5	Le traitement des signaux transmis	19
3.5.1	Introduction	19
3.5.2	La dispersion temporelle	20
3.5.3	L'interférence	20
3.5.4	La capacité de transmission	21
3.6	La voie	21
3.6.1	Introduction	21
3.6.2	La propagation	21
3.6.3	Les antennes	22

3.6.4	L'équipement électronique RF	22
3.6.5	Les systèmes terrestres sans fil	23
3.6.6	Les systèmes par satellite	23
3.6.7	Les systèmes par fibres optiques	24
3.6.8	Les réseaux câblés	25
3.7	Les technologies de base	26
3.7.1	Introduction	26
3.7.2	L'informatique et le traitement	26
3.7.3	Les appareils, les dispositifs et les composantes électroniques	27
4.0	Incidence des enjeux sociaux et environnementaux sur la technologie	29
4.1	Introduction	29
4.2	La protection de la vie privée	29
4.3	La sécurité	30
4.4	La réglementation	30
4.5	L'environnement	31
4.6	La culture	31
4.7	L'économie	32
5.0	Importance relative des technologies dans la progression des tendances mondiales	33
Annexe I	34
	Liste de sigles et d'abréviations	34
Annexe II	36
	Bibliographie	36
	Membres du comité	36

© Ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, 1998
C105-2/3-1998F
ISBN 0-662-83390-2
52473F

Renseignements: (613) 991-3313
Site Web: <http://www.crc.ca>

Also available in English

1.0 Introduction

1.1 *Antécédents*

En 1991, après la transformation du Centre de recherches sur les communications (CRC) en institut, un comité de cadres supérieurs a été chargé d'étudier la rationalisation du programme de recherche et de développement (R-D) de cet organisme. Un sous-comité réunissant des représentants de haut niveau des deux secteurs de recherche a été formé afin de prévoir les tendances technologiques dans les domaines des télécommunications et de la radiodiffusion. Le comité a publié en 1992 un rapport intitulé *Tendances technologiques en communications*.

Le nouveau programme de recherche défini après la restructuration du CRC, en 1997, visait à accentuer la R-D dans les communications sans fil, à titre de principal secteur d'activité. En 1998, à la demande du Conseil d'administration du CRC, le comité s'est réuni de nouveau et une deuxième édition de *Tendances technologiques en communications* a été publiée en octobre 1998.

Les objectifs du comité étaient les suivants :

- définir les tendances globales relatives aux services, aux systèmes et aux technologies;
- définir les nouveaux secteurs de recherche reliés au mandat d'Industrie Canada et du CRC;
- présenter ses conclusions dans un rapport.

Afin de faciliter l'interprétation des objectifs, le mandat suivant a été établi :

- mettre principalement l'accent sur les secteurs de recherche en télécommunication et en radiodiffusion propres à Industrie Canada;
- traiter accessoirement les autres clients;
- faire des prévisions pour une période de 5 à 10 ans;
- indiquer les technologies clés, mais sans faire de recommandations.

1.2 *Méthodologie*

Le comité s'est inspiré de la structure de base du rapport de 1992, mais il y a apporté de légères modifications. Il a reconnu que les tendances mondiales définies en 1992 avaient continué de progresser, mais les titres ont été modifiés afin de mieux

rendre compte de leur importance relative actuelle. Une nouvelle tendance mondiale, la convergence, a été ajoutée afin de tenir compte de son importance croissante et du fait qu'elle ne pouvait être traitée de façon adéquate dans les autres sections.

Le chapitre 2 comprend un résumé des six « tendances mondiales » en matière de communications :

- Des communications omniprésentes
- Les communications et les réseaux mondiaux
- Les communications machine-machine
- Les interfaces naturelles homme-machine
- Les services de radiodiffusion, d'information et de divertissement
- La convergence

Le chapitre 3 traite des tendances technologiques. Le modèle des modes de communication décrit dans le rapport de 1992 a de nouveau été retenu à titre de méthodologie de présentation du contenu du rapport. La méthodologie est décrite et illustrée dans ce chapitre.

Pendant l'étude de ces technologies, les membres du comité ont jugé important de se pencher sur les facteurs sociaux et environnementaux, du point de vue tant de la réglementation que des caractéristiques physiques, qui influenceront sur l'évolution des futurs réseaux de télécommunications. Cette étude est présentée dans le chapitre 4.

Les relations entre les tendances mondiales, les tendances technologiques et les facteurs sociaux et environnementaux ont permis de faire ressortir les principaux enjeux de la R-D et de tirer certaines conclusions mentionnées dans le chapitre 5.

L'annexe I comprend une liste des sigles et abréviations employés dans le présent rapport. Enfin, l'annexe II comprend une courte bibliographie.

2.0 Tendances mondiales

2.1 *Des communications omniprésentes*

Tendance mondiale 1

La tendance mondiale à l'omniprésence des communications, afin d'offrir l'« accès à tous, partout et en tout temps », se manifeste de façon évidente dans les nombreuses activités actuellement regroupées dans la catégorie générale des « services de communications personnelles » (SCP). La transition de l'identification de l'endroit du demandeur ou du demandé à l'identification du demandeur ou du demandé proprement dit, peu importe l'endroit où il se trouve, est une des grandes questions de l'heure, comme en témoignent les nombreuses initiatives nationales et internationales (p. ex., IMT-2000) à l'appui des systèmes et des technologies nécessaires à l'offre de services commerciaux. Cet intérêt soutenu s'explique en grande partie par l'acceptation généralisée des systèmes de téléphonie cellulaire mobile et des services interactifs de données, qui exigent des débits toujours plus élevés et des largeurs de bandes toujours plus considérables, ainsi que par la demande croissante que suscitent ces systèmes et ces services.

La demande de services de communication omniprésents semble s'étendre au monde entier et est dictée par le besoin d'interconnecter les usagers des services filaires terrestres et les usagers de services mobiles. Au nombre des services qui définissent les systèmes et les technologies de soutien nécessaires à l'omniprésence des communications, mentionnons :

- les services publics de téléphonie sans fil;
 - les services de communication d'entreprise sans fil;
 - les services mobiles de communication de données à distance;
 - les services de communication sécuritaires;
 - les services axés sur la sécurité personnelle;
 - les services d'information mobiles, comme le positionnement, l'identification de véhicules, les prévisions météorologiques et l'état des routes;
 - les services multimédias sans fil.
- Les enjeux technologiques particuliers du domaine des communications sans fil comprennent la sécurité des messages, l'économie du spectre et l'attribution de nouveaux spectres à des services qui exigent une plus grande largeur de bande. La R-D technologique découlant de cette tendance mondiale comprend :
- des liaisons optiques intersatellites, afin de constituer des réseaux de satellites;
 - des recherches sur la propagation et des composantes permettant d'exploiter les largeurs de bandes associées aux ondes millimétriques;
 - les technologies cellulaires et microcellulaires, y compris les liaisons sans fil intra-immeuble;
 - l'intégration des réseaux afin de faciliter la gestion de la mobilité des usagers;

- des techniques de transmission résistant à la sélectivité des fréquences;
- des technologies porteuses telles que des antennes et des dispositifs électroniques à faible consommation d'énergie;
- l'infrastructure des réseaux fédérateurs filaires nécessaire au soutien de communications omniprésentes pour les usagers de services fixes et mobiles.

Les principaux travaux de conception de systèmes reliés à cette tendance comprennent les nombreuses constellations de satellites, comme Iridium, Teledesic et Spacebridge, qui ont atteint divers stades de planification et de mise en œuvre; la conception de systèmes de « télédistribution sans fil » terrestres (SLTM); et d'autres systèmes inédits

destinés à accroître les moyens de communication offerts aux usagers, comme l'accès local sans fil, les systèmes fixes à haute densité et les infrastructures aéroportées à haute altitude.

En règle générale, du moins dans les pays développés, seul le « dernier kilomètre » de la transmission est en mode sans fil; la transmission des messages est assurée principalement par des réseaux filaires. Cette tendance est donc intimement liée à la *Tendance mondiale n° 2 – Les communications et les réseaux mondiaux*. De même, les travaux de normalisation portant sur des questions comme les interfaces de réseau, ainsi que l'identification et le contrôle des messages, sont indispensables à cette tendance et sont donc étroitement reliés à la *Tendance mondiale n° 6 – La convergence*.

2.2 *Les communications et les réseaux mondiaux* *Tendance mondiale 2*

On ne trouve guère d'exemples de croissance aussi rapide et fulgurante que celle d'Internet qui, il y a moins d'une décennie, était un réseau de communication presque fermé, afin de faciliter la coopération entre les scientifiques et les chercheurs universitaires. La croissance explosive d'Internet est le fruit de son adoption rapide par le secteur privé, pour les communications d'affaires et les applications commerciales. Bien qu'il demeure un important outil de recherche, Internet s'est transformé, plus récemment, en un « bien de consommation ».

La tendance appelée *Communications et réseaux mondiaux* est à l'image de la croissance de la demande, de la dépendance et des besoins en matière d'« accès aux informations, de toute nature et de toute origine ». Le futur réseau mondial offrira un environnement à la fois puissant et souple aux entreprises, aux établissements d'enseignement, aux milieux culturels et au monde du divertissement. L'image, le son et même le toucher seront intégrés à l'aide d'ordinateurs, d'afficheurs et de réseaux ultrapuissants. Les gens utiliseront cet environnement pour travailler, étudier, faire des opérations bancaires, acheter des biens et des services, se divertir et même se rencontrer. Cet environnement et ses interfaces demeureront sensible-

ment identiques, que ce soit au bureau, à la maison ou en voyage. La sécurité, la fiabilité et la protection de la vie privée en seront des caractéristiques intrinsèques.

Les clients pourront choisir parmi divers niveaux de services, à des prix également différents. Cet environnement tout à fait novateur favorisera l'agilité de l'économie, l'amélioration des soins de santé (en particulier dans les régions rurales), la réduction des pressions sur l'écosystème, l'accès facile à l'éducation permanente et au téléenseignement, la diversification des milieux de vie et de travail et la multiplication des occasions de participer à des activités locales, nationales et mondiales.

La R-D en matière de réseaux met l'accent sur les technologies et les services nécessaires pour rester à l'avant-scène de la révolution de l'information, pour en tirer profit et pour en atténuer les risques. Les principaux secteurs de recherche en matière de réseaux comprennent :

- les réseaux à grand rendement (p. ex., les giga-réseaux, les réseaux de fibres optiques, les réseaux sans fil à grand rendement);
- la gestion de réseaux hétérogènes et très étendus;

- des technologies favorisant la communication de l'information aux particuliers, la diffusion à des groupes désignés ou la radiodiffusion dans un réseau complet (l'acheminement par le réseau fait partie de la solution);
- les réseaux multimédias;
- l'informatique et les réseaux mobiles;
- l'analyse, la modélisation et la simulation de réseaux;
- les systèmes répartis ou coopératifs;
- les systèmes de haute confiance, afin d'obtenir des degrés élevés de disponibilité, de fiabilité et de rétablissement des services d'information;

- des systèmes de haute confiance qui assureront une protection efficace contre l'utilisation malveillante des réseaux ou des systèmes d'information, ou contre leur corruption fortuite.

Cette tendance est aussi étroitement reliée à la *Tendance mondiale n° 1 – Des communications omniprésentes*, puisqu'elle porte sur l'architecture de base des réseaux, ainsi qu'à la *Tendance mondiale n° 4 – Les interfaces naturelles homme-machine*, qui traite de l'accessibilité et de l'usage des technologies de l'information et des réseaux de communications.

2.3 Les communications machine-machine

Tendance mondiale 3

La part du trafic de télécommunication affecté à la transmission de données, par rapport aux conversations, ne cesse de croître. De nombreuses applications reposent sur l'échange de données entre au moins deux machines qui doivent de plus en plus coordonner l'exécution de leurs tâches avec d'autres appareils, dans un univers toujours plus complexe et de plus en plus intégré. Dans d'autres cas, un ordinateur peut surveiller et commander une ou plusieurs machines éloignées, parce que le contrôle sur place n'est pas économique ou sûr. Voici quelques exemples de services que l'on peut rattacher à cette tendance :

- le contrôle de procédés industriels;
- la télécommande et le suivi automatisés de véhicules, par exemple les systèmes de transport intelligents et le contrôle de la circulation aérienne;
- la télémédecine (comme la télémétrie médicale);
- le commandement, le contrôle et les communications militaires (C3);
- le contrôle automatisé de systèmes domestiques;
- la télésurveillance et la télécommande, comme le système d'acquisition et de contrôle des données (SCADA).

Le développement de certains services, par exemple le contrôle de procédés industriels et le contrôle de la circulation aérienne, va déjà bon train. D'autres travaux de développement, par exemple dans le secteur des systèmes de transport intelligents, progressent à des rythmes variables, selon les domaines. Bien que certaines démonstrations fort impressionnantes aient déjà été faites, l'autoroute entièrement automatisée avec contrôle de véhicules autonomes ne verra pas le jour avant au moins 20 ans. Ce retard s'explique surtout par des raisons d'ordre sociologique, économique et politique, plutôt que technique. Toutefois, les systèmes moins affectés par ces contraintes progressent plus rapidement. Mentionnons à titre d'exemples probants les systèmes de localisation automatique des véhicules et les systèmes de perception électronique du péage, que l'on est en train d'implanter dans nos réseaux routiers. Dans la même veine, des véhicules d'urgence munis d'un système de communication sans fil peuvent commander des feux de circulation afin d'avoir la priorité de passage aux intersections. Ces techniques peuvent aussi servir à accroître l'efficacité des transports en commun.

Les systèmes pouvant recueillir et trier des informations venant de données radiodiffusées, afin de les mettre à la disposition des exploitants et des passagers de véhicules, sont également appelés à

devenir un facteur important de l'exploitation des réseaux de transport au cours des cinq à dix prochaines années. Un tel système de communication machine-machine employé à titre de processeur frontal et destiné à des usagers humains pourrait même être doté de fonctions autonomes, par exemple transmettre des avertissements météorologiques et des alertes de congestion de la circulation.

Il y a une décennie, la plupart des projets de télé-médecine étaient axés sur la consultation médicale ou sur la formation permanente dans des collectivités éloignées. De nos jours, ces applications ne représentent plus que 30 % des activités du domaine de la télé-médecine. Dans les pays développés, le principal pôle de croissance se situe dans le secteur des soins à domicile, où divers appareils et diverses technologies remplacent certains services hospitaliers traditionnels. Tous ces systèmes reposent sur l'interfonctionnement et la fiabilité des services de télécommunication. Au nombre de ces services, mentionnons la surveillance des déplacements de personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer, la surveillance périodique des stimulateurs cardiaques et la surveillance continue des signes vitaux de patients.

D'ordinaire, bon nombre des nouveaux systèmes de communication machine-machine, comme le système de perception automatisée du péage sur les autoroutes, exigent des communications à courte distance qui utilisent souvent des largeurs de bandes relativement fortes. Mentionnons aussi la popularité croissante, à l'avenir, des liaisons sans fil entre les ordinateurs portatifs et les ordinateurs de bureau, afin d'assurer la mise à jour automatique des données lorsque les deux appareils sont en communication. À terme, ce concept s'appliquera aussi aux ordinateurs portables. Bien que les progrès dans ce domaine soient surtout le fait d'applications militaires (comme les communications au combat), les ordinateurs portables finiront aussi par s'implanter dans les usines et, à coup sûr, dans le marché grand public. En effet, au fil de l'informatisation des domiciles, un ordinateur portable relié par une liaison sans fil à une résidence permettra de télécommander divers appareils domestiques.

Cette tendance a une forte corrélation avec la *Tendance mondiale n° 1 – Des communications omniprésentes*, parce que bon nombre des systèmes visés par cette tendance, comme les téléphones mobiles, les communications mobiles par satellite et les communications intra-immeuble, constituent l'infrastructure des communications machine-machine.

Dans d'autres situations, l'accès sera assuré par une liaison « filaire » et les données seront sans doute transmises à l'aide de fibres optiques. Quoi qu'il en soit, les communications machine-machine peuvent se superposer à ce type de liaison, de façon transparente pour les autres usagers de la même liaison. On pourra ainsi mettre en œuvre de nouvelles applications de communication machine-machine même lorsqu'il ne sera pas possible de recourir à des infrastructures distinctes.

Les principales technologies dans ce domaine comprennent les technologies de transmission destinées aux communications mobiles, aux communications sans fil intra-immeubles (radiocommunications et infrarouge) et aux communications par fibres optiques. L'évolution de la technologie de l'équipement RF électronique vers des fréquences toujours plus élevées favorise l'utilisation d'un nouveau spectre destiné aux communications à courte distance et à forte largeur de bande. Bien qu'elles ne soient pas obligatoirement comprises dans les systèmes de communication, des technologies de base comme les techniques de localisation, les technologies des détecteurs, les technologies des piles, l'encryptage, la tolérance aux défaillances, les systèmes experts et les réseaux neuromimétiques pourraient jouer un rôle important dans le rythme d'évolution de cette tendance.

Au fil de la multiplication des systèmes sans fil, les ingénieurs devront tenir compte des préoccupations croissantes en matière de santé et de sécurité et prévenir les risques d'interférences entre les systèmes. Par le passé, ces questions ne suscitaient guère d'inquiétude, parce que les systèmes étaient habituellement éloignés des humains et occupaient un espace réservé du spectre des fréquences radioélectriques. Or, les nouveaux systèmes de communication machine-machine partagent de plus en plus souvent un spectre commun et fonctionnent à proximité d'autres systèmes sans fil et de leurs

usagers, d'où les craintes à l'égard des effets des sources d'énergie RF sur le corps humain et sur des systèmes électroniques vitaux (comme les stimulateurs cardiaques).

Afin d'assurer l'efficacité du développement et de la mise en service de ces systèmes, il faudra normaliser les protocoles de communication sous-jacents et établir des règles pour le partage du spectre et l'interfonctionnement des systèmes. D'ailleurs, la question de l'interfonctionnement sera particulièrement importante pour les applications de communications mobiles comme la perception électronique du péage et d'autres systèmes de

paiements électroniques. Par exemple, l'utilisation de systèmes différents et incompatibles par les exploitants de routes à péage se révélerait onéreuse et peu commode pour les propriétaires de véhicules.

Les enjeux économiques, environnementaux et relatifs à la sécurité entourant les communications machine-machine s'accompagneront d'intenses pressions sociales afin de bien coordonner les efforts d'automatisation. Au cours des prochaines décennies, cette tendance aura de profondes répercussions sur notre mode de vie et sur l'industrie des télécommunications.

2.4 *Les interfaces naturelles homme-machine*

Tendance mondiale 4

Les caractéristiques du système d'exploitation Windows et le World Wide Web ont amené les gens à exiger une simplification accrue des interfaces-usagers des ordinateurs et des systèmes de communication. L'époque où il fallait retenir et taper des commandes non intuitives est maintenant révolue. Les gens s'attendent à ce que les informations multimédias s'affichent à l'écran et qu'ils puissent traiter ces informations directement, à l'aide d'une souris.

Cette situation a accentué les attentes à l'égard d'interfaces mieux conçues et d'emploi plus facile. Une nouvelle génération de technologies d'interfaces informatiques non axées sur le fenêtrage pointe à l'horizon et l'on peut prévoir des progrès remarquables au cours de la prochaine décennie dans les domaines suivants :

- les interfaces de reconnaissance de la parole et de traitement des langues naturelles;
- les environnements de réalité virtuelle;
- les agents intelligents;
- les filtres d'information;
- la présence sociale dans des environnements coopératifs.

Les applications concrètes issues de ces attentes nouvelles à l'égard d'interfaces-usagers plus perfectionnées exigent des logiciels beaucoup plus

complexes. Les interfaces ligne par ligne n'exigent que quelques lignes de code dans un logiciel. En revanche, les fenêtres, les icônes, les menus et les pointeurs exigent une programmation beaucoup plus complexe. Dans la majorité des logiciels courants, l'interface-usager représente plus de la moitié du code, et souvent jusqu'à 90 %. La mise en œuvre d'interfaces plus perfectionnées exigera une programmation d'une ampleur considérable.

Toutefois, ces deux difficultés – la demande de nouvelles interfaces plus faciles à apprendre et à utiliser, mais qui exigent une programmation plus élaborée – peuvent avoir une solution identique. En effet, les interfaces peuvent être plus conviviales si l'on adopte une présentation et un mode d'utilisation communs, afin que des logiciels différents puissent utiliser les mêmes fonctions de façon identique. L'utilisateur n'est donc pas obligé d'apprendre de nouvelles procédures pour exécuter les mêmes fonctions et il est moins porté à confondre les procédures propres à des logiciels différents.

L'adoption d'interfaces-usagers communes réduit également la charge de travail des programmeurs. Même si 90 % du code est réservé à l'interface-usager, les programmeurs ne sont pas obligés de consacrer la même proportion de leur temps à produire le code de l'interface, puisque celui-ci peut être extrait de bibliothèques de code rédigé

d'avance ou produit automatiquement par des outils de programmation perfectionnés.

Ainsi, la tendance mondiale dominante en matière d'interfaces-usagers, au cours de la prochaine décennie, portera-t-elle sur l'adoption généralisée d'une interface-usager commune. Divers types de systèmes de communication sembleront ainsi converger, non pas seulement parce que les techno-

logies sous-jacentes reposeront sur un format numérique commun, mais aussi parce qu'elles seront présentées de la même façon à l'utilisateur. Les interfaces qui pourront vraisemblablement occuper ce créneau au cours de la prochaine décennie sont les navigateurs du World Wide Web, comme ceux que nous utilisons actuellement. Toutefois, ils seront assez souples pour intégrer de nouvelles technologies d'interface.

2.5 *Les services de radiodiffusion, d'information et de divertissement*

Tendance mondiale 5

Le nombre et la diversité des services de divertissement, d'information et de radiodiffusion proposés au public ne cessent d'augmenter. Bon nombre de ces services sont assurés par le système de radiodiffusion. Depuis quelques années, Internet est également devenu une importante source d'information et de divertissement, comme en témoigne la popularité grandissante de l'accès à Internet par le téléviseur (Web TV). Les consommateurs exigent aussi des services de divertissement et d'information toujours mieux adaptés à leurs goûts et à leurs besoins personnels. À preuve, la multiplication récente des canaux spécialisés diffusés par câble et par satellite.

La tendance à la *diffusion ciblée* – combler les besoins de segments particuliers du public à l'aide de services d'information et de divertissement différents – continuera de progresser aux dépens de la *radiodiffusion* traditionnelle, qui vise à proposer les mêmes informations ou services de divertissement à tout le monde.

Bien que les systèmes de distribution des services de radiodiffusion disposent déjà d'importantes largeurs de bande pour satisfaire aux besoins des particuliers, les fournisseurs de services chercheront de nouveaux mécanismes de distribution, en particulier les services sans fil, afin de pouvoir proposer encore plus de services d'information et de divertissement. Comme la plupart des usagers ont déjà accès à une importante largeur de bande, à l'aide du câble et des satellites, ces voies d'accès seront exploitées à une plus grande

échelle afin d'offrir les nouveaux services que laisse présager l'autoroute de l'information.

Le passage de la technologie analogique à la technologie numérique marque le début d'une ère nouvelle pour les services de radiodiffusion. En effet, le numérique servira à la fois à la production et à la distribution des émissions. Les radiodiffuseurs pourront tirer profit de nouvelles possibilités et offrir des services connexes non traditionnels connexes. Cette transition accélérera la convergence de la radiodiffusion et de l'informatique, grâce à la distribution d'informations et de services numériques jusqu'au foyer. Le numérique prolongera l'infrastructure de l'autoroute de l'information et accentuera la pénétration d'Internet. Dans le grand public, le téléviseur et l'ordinateur personnel continueront vraisemblablement de servir à des fins différentes pendant de nombreuses années encore. Toutefois, les techniques de radiodiffusion numérique favoriseront une plus grande interchangeabilité.

Les jeux informatiques sont devenus extrêmement populaires parce que l'utilisateur peut agir sur des événements qui lui sont présentés à l'écran. L'interaction devrait s'étendre aux services de radiodiffusion, dans le domaine du divertissement, et ainsi favoriser la participation de l'auditoire ou les réactions des consommateurs qui veulent obtenir un complément d'information sur un sujet présenté au petit écran. Les annonceurs devraient également profiter de l'interactivité pour offrir la possibilité de commander des produits en ligne.

La distribution de services d'information et de divertissement dans un contexte de mobilité prendra une importance croissante. Certains pays font déjà l'expérience de services de télévision dans les véhicules. Toutefois, les systèmes de télévision numérique qui commencent à voir le jour en Amérique du Nord n'ont pas encore tenu compte de ce besoin. D'autre part, des systèmes de radiodiffusion sonore numérique actuellement en cours de développement visent à offrir des services de divertissement et d'information mobiles fiables.

À l'avenir, la vidéo devrait jouer un rôle encore plus important dans la diffusion de l'information. La diversification des résolutions spatiales et temporelles devrait favoriser celle de l'utilisation de l'information vidéo et la taille des écrans d'affichage. Les exigences des consommateurs à l'égard d'un choix accru pour la création et l'affichage d'images se traduiront par des améliorations qui offriront plus de liberté aux créateurs d'information vidéo. De même, les consommateurs disposeront d'un choix accru d'appareils pouvant accéder à l'information vidéo, et la qualité pourra s'adapter aux circonstances et au budget.

Au fil de l'amélioration de la qualité technique de la vidéo et de la télévision, on constatera une demande plus soutenue de simulations réalistes. Les premières expériences montrent que la vidéo et la télévision en trois dimensions (stéréoscopique) favoriseront les progrès en ce sens. Le divertissement par la réalité virtuelle actuelle fera une percée chez les consommateurs, à mesure que des processeurs puissants pourront offrir un degré d'interactivité très élevé, des images de meilleure qualité et un plus grand degré de réalisme, le tout à un prix abordable.

Les systèmes de radiodiffusion numériques qui verront bientôt le jour ne pourront pas offrir immédiatement toute la gamme des services de divertissement et d'information améliorés. Toutefois, ils intégreront l'infrastructure nécessaire au développement de ces nouveaux services qui se concrétiseront grâce à des percées dans les technologies des circuits intégrés RF et numériques et à des processeurs toujours plus rapides et plus puissants. Les progrès en matière de technologie d'affichage favoriseront la production d'afficheurs plats dont la qualité et le coût se compareront à ceux des afficheurs actuels.

2.6 *La convergence*

Tendance mondiale 6

Les services de communication avaient autrefois une portée plutôt restreinte et désignaient principalement la radio et la télévision commerciale ainsi que les communications téléphoniques. Ces services employaient des techniques de transmission incompatibles et presque entièrement analogiques. Récemment, les services et les appareils de communication se sont rapidement diversifiés et offrent des fonctions toujours plus nombreuses, d'où l'attente que tous les services reposent sur des technologies numériques et feront appel à la transmission de données par paquets, favorisant ainsi une consolidation remarquable dans la distribution des services, l'infrastructure des communications et le matériel grand public. À l'heure actuelle, beaucoup d'entreprises qui utilisent des technologies très différentes se livrent une chaude lutte pour s'emparer d'un marché fragmenté. Bien que cette vive concurrence offre d'excellentes oc-

casions d'affaires, beaucoup de consommateurs et de petites entreprises n'apprécient guère cette diversité et la complexité de la situation actuelle. La confusion qui règne sur le marché favorise un phénomène de rapprochement de technologies apparentées, que l'on appelle « convergence ».

Les consommateurs ne veulent pas utiliser un grand nombre d'appareils différents. Le matériel complet reposera donc vraisemblablement sur un ordinateur multimédia auquel seront branchés les périphériques nécessaires : imprimante, numériseur, télécopieur, photocopieur et appareils audiovisuels. Les sous-ensembles seront également fréquents, lorsque la transférabilité sera jugée importante ou lorsqu'il faudra faire appel à des fonctions spécialisées, par exemple dans un ensemble de divertissement à domicile. La prépondérance de l'ordinateur personnel à titre d'appareil central

est déjà évidente et plusieurs fournisseurs de services de télécommunication prévoient le remplacement progressif du téléphone par des services de télécommunication assurés par un ordinateur personnel et Internet. À titre d'étape provisoire de la convergence, des produits comme les téléphones cellulaires multimodes et les logiciels d'écoute de la radio deviennent de plus en plus répandus. L'évolution de cette tendance est dictée par des progrès technologiques axés sur l'accroissement de la vitesse et la réduction de la taille, des coûts et de la consommation d'électricité des circuits intégrés essentiels à l'ordinateur personnel. À l'exemple des tendances relatives aux *services de divertissement grand public*, les technologies d'affichage, de stockage et d'encodage sont considérées comme importantes.

Les usagers ne veulent pas apprendre à utiliser un grand nombre d'interfaces différentes. L'interface-usager de nombreux appareils et services devra donc reposer sur un sous-ensemble plus simple de l'interface Internet dominante (p. ex., le navigateur Web). Cette question est traitée de façon plus approfondie dans la section intitulée *Les interfaces naturelles homme-machine*.

Les usagers ne veulent pas non plus que des services semblables soient proposés d'innombrables façons et soient assortis de caractéristiques et de qualités de service différentes. Dans une large mesure, la qualité et l'étendue des services devraient paraître identiques aux yeux de l'utilisateur, peu importe l'endroit où il les utilise et l'équipement employé. Beaucoup de travaux sont donc axés sur la conception et la mise en œuvre de protocoles de communications mobiles par Internet. Cette tendance se manifeste aussi dans les concepts et pratiques proposés par l'UIT pour la troisième génération de systèmes de communication mobiles et de communication par satellite. Il s'ensuit que les services disponibles dans les environnements mobiles et assurés par des appareils portatifs seront de plus en plus souvent le prolongement de services fixes, malgré certaines con-

traintes économiques et techniques quant à la qualité et à la portée de ces services. À l'exemple de la tendance mentionnée dans la section intitulée *Des communications omniprésentes*, les technologies clés comprennent l'encodage et la compression des données d'origine, les techniques de transmission pour les communications sans fil à grand débit et l'amélioration des protocoles de réseau afin de tenir compte de l'accroissement des temps d'attente et des taux d'erreur sur les paquets propres à certaines liaisons de communication.

Les consommateurs ne veulent pas traiter avec un grand nombre de fournisseurs de services. L'établissement d'un point de contact unique pour la facturation et le soutien technique d'un ensemble intégré de services est jugé plus commode et efficace. Cette tendance est parfois appelée « regroupement des services ». À première vue, cette tendance semble dépourvue de toute caractéristique technique. Toutefois, elle a néanmoins d'importantes conséquences techniques. Une grande part des travaux de recherche technique sur les systèmes de communication porteront sur la prestation d'un vaste assortiment de services ayant des caractéristiques de transmission différentes, du point de vue de la fiabilité et de l'efficacité, d'une part, et de contraintes telles que la limitation de la largeur de bande et la puissance, d'autre part. D'autres difficultés se rattachent à l'interfonctionnement d'installations de transmission différentes et souvent concurrentielles.

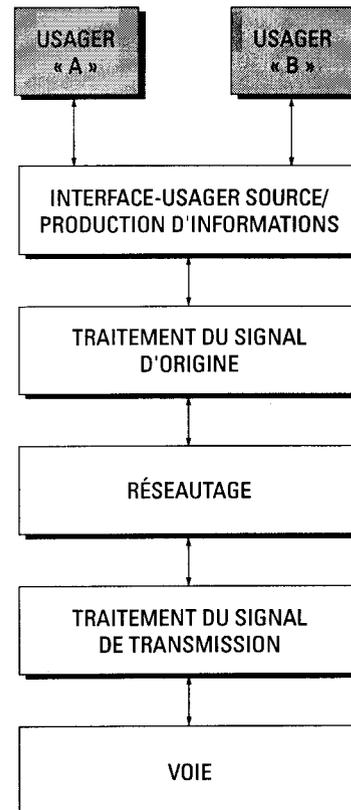
L'évolution récente de la réglementation a tenu compte des modifications apportées aux technologies qui favorisent la convergence. Il devrait désormais être possible d'obtenir n'importe quel service en s'adressant à n'importe quel fournisseur et ce, par divers moyens de distribution et à l'aide d'un seul et unique appareil. Malgré le potentiel technologique, dans les faits, la route vers la convergence est parsemée d'embûches et les limites concrètes de la convergence ne seront pas atteintes dans un avenir prévisible.

3.0 Tendances technologiques

3.1 *Un modèle de réseau de télécommunication*

Le modèle ci-contre permet de décrire le processus d'une communication entre l'émetteur A et le récepteur B, afin de pouvoir évaluer les principales tendances technologiques du domaine des télécommunications de façon minutieuse et ordonnée. Un signal envoyé de A à B exige l'utilisation de toutes les technologies du modèle. Chacune d'elles est indispensable à la communication et est tributaire des autres, formant ainsi une entité fonctionnelle du réseau global de télécommunication. Les sections qui suivent décrivent les tendances technologiques de chaque division fonctionnelle.

DIVISIONS FONCTIONNELLES D'UN RÉSEAU OU D'UNE APPLICATION DE TÉLÉCOMMUNICATION



3.2 *Les technologies de l'interface-usager*

3.2.1 Introduction

La surcharge d'information est le problème le plus évident issu de la croissance explosive des nouveaux services de communication et limite la demande à l'égard de ces services. La solution doit mettre l'accent sur la simplification de l'accès à l'information, sur le tri des informations non sollicitées et sur des modèles de présentation plus compréhensibles. Les progrès réalisés dans les technologies des interfaces-usagers permettront d'obtenir les outils fondamentaux nécessaires pour corriger ce problème et régler d'autres questions comme l'amélioration de l'accès pour les personnes peu habituées à utiliser des ordinateurs.

3.2.2 Les outils d'interfaces-usagers

La reconnaissance de la parole

De nombreuses recherches portent sur le développement de techniques de reconnaissance de la parole, en raison d'une forte demande perçue en matière d'interfaces vocales. Certes, la reconnaissance de la parole fera sans doute quelques percées, mais elle ne permettra vraisemblablement pas de remplacer le clavier par un microphone, en raison des différences grammaticales entre la langue parlée et la langue écrite. Toutefois, dans quelques années, nous verrons des ordinateurs qui pourront transcrire une dictée. Les personnes atteintes de blessures à la main ou au poignet, causées par des efforts répétés, n'en seront pas pour autant soulagées, parce que la reconnaissance de la parole imposera un effort au larynx. Les principales applications concrètes de la reconnaissance de la parole se rattacheront à l'utilisation du téléphone à titre de terminal d'ordinateur pour des applications telles que des systèmes intelligents de menus à commandes vocales.

Au cours de la prochaine décennie, l'utilisateur devra continuer de réagir directement à des messages guides, parce que les technologies de reconnaissance de la parole ne pourront pas intégrer des vocabulaires suffisants, compte tenu de l'autonomie de l'utilisateur, pour que les systèmes de menus à commandes vocales puissent recon-

naître des paroles imprévues. Des systèmes améliorés d'achat par téléphone demanderont aux clients de prononcer les noms de produits inscrits dans des catalogues imprimés ou diffusés. La reconnaissance de la parole pourrait permettre d'utiliser des systèmes d'informations sur la circulation à bord des véhicules, à l'aide de liaisons numériques sans fil ou par radiocommunication, mais seulement si l'on réussit à s'assurer que les commandes vocales ne détournent pas l'attention du conducteur de la conduite de son véhicule.

Les interfaces en langage naturel

Les interfaces qui acceptent des questions ou des commandes en langage courant demeureront en demande. Les interfaces en langage naturel, qui reposent sur des méthodes à forte intensité de main-d'œuvre, peuvent être élaborées de façon manuelle par l'établissement d'une règle pour chaque phrase susceptible d'être prononcée. La compréhension véritable du langage naturel, c'est-à-dire l'approche adoptée par les linguistes informaticiens et par les chercheurs en intelligence artificielle, se heurte encore à des problèmes théoriques particulièrement ardues. Au cours des cinq prochaines années, les applications grand public, comme des systèmes d'aide en ligne pour les logiciels les plus populaires, feront appel à des techniques de conception manuelles qui sont très coûteuses. À plus long terme, les progrès de la reconnaissance de la parole et de la reconnaissance du langage naturel auront de profondes répercussions.

Les interfaces de réalité virtuelle

Les interfaces de réalité virtuelle (RV) permettent aux gens d'utiliser des modèles tridimensionnels enregistrés dans des ordinateurs. Pour voir la troisième dimension, l'utilisateur doit pouvoir soit déplacer le modèle devant un point d'observation fixe, soit déplacer le point d'observation autour d'un modèle fixe. Ces modes d'affichage seront jumelés à des systèmes sonores tridimensionnels qui permettront de localiser la source de sons émis par les modèles. De même, des interfaces haptiques, comme des gants et des manettes à retour de force, permettront une interaction tactile avec des modèles de réalité virtuelle. Les interfaces de

réalité virtuelle ne sont pas encore devenues une caractéristique standard des jeux informatiques, mais elles sont un élément fondamental de la conception assistée par ordinateur et deviennent de plus en plus fréquentes pour visualiser des ensembles de données économiques et scientifiques. Le langage de modélisation de réalité virtuelle (VRML) offre une norme ouverte pour l'encodage de modèles de réalité virtuelle. Au terme de la normalisation du VRML, de l'intégration de visionneuses VRML dans les navigateurs Internet, ainsi que de la disponibilité d'outils permettant de créer des modèles VRML, la réalité virtuelle est appelée à devenir un nouvel outil de conception d'interfaces-usagers, en particulier des interfaces destinées à la gestion de grandes quantités d'informations. Comme les modèles de réalité virtuelle utiles et intéressants exigeront de très grands ensembles de données, les interfaces et les services de réalité virtuelle se traduiront par une forte hausse de la largeur de bande exigée des réseaux.

3.2.3 Les technologies de gestion de l'information

La recherche de l'information

La recherche d'informations par la consultation de textes complets, afin de trouver des mots particuliers, ne donne guère de bons résultats en raison des phénomènes d'homonymie et de synonymie. Les méthodes plus perfectionnées obligent l'ordinateur à pouvoir lire et comprendre des documents, ce qui ne peut s'accomplir que par le calcul de mesures statistiques de la fréquence des termes ou par la compréhension des langues naturelles. Il faudra prévoir au moins cinq ans de travaux de développement avant de pouvoir obtenir de bons algorithmes statistiques. D'autre part, la compréhension des langues naturelles exigera plus de deux décennies de recherche. Dans l'avenir immédiat, les meilleurs index seront conçus par des experts au lieu d'être produits automatiquement par des logiciels. Ainsi, les plus grands progrès en matière de recherche d'informations, au cours des prochaines années, viendront-ils de la conception d'outils destinés à aider les bibliothécaires qui maîtrisent l'utilisation de l'ordinateur et les experts à créer des bibliothèques virtuelles et à les tenir à jour.

Le tri de l'information

L'élimination des informations inappropriées peut améliorer les résultats de la recherche d'informations. Le tri de l'information est particulièrement important dans le courrier électronique, en raison du phénomène de l'« arrosage » de courrier non sollicité, c'est-à-dire des envois de nature publicitaire qui peuvent masquer des messages vraiment importants. Or, les auteurs de ces « arrosages » réussissent à déjouer les filtres de tri presque immédiatement après leur mise au point. Des méthodes toujours plus perfectionnées de tri de l'information, fondées sur le contenu, émergent de cette course à obstacles. De nouveaux algorithmes perfectionnés de classement de l'information permettront d'accroître l'efficacité des moteurs de recherche du World Wide Web. Les résultats de recherches, même après un tri, ne seront pas aussi bons que ceux que l'on peut obtenir à l'aide d'index manuels, mais ils marqueront néanmoins une nette amélioration par rapport aux moteurs de recherche actuels.

La visualisation de l'information

Les systèmes d'information actuels ne sont pas en mesure d'afficher de grandes quantités d'informations de manière concise et significative. À ce jour, d'excellentes technologies d'affichage des nombres ont été conçues, entre autres pour des statistiques, des graphiques et des tableaux descriptifs. Au cours des prochaines années, des travaux de recherche seront nécessaires afin de concevoir des technologies semblables pour l'affichage de notions et de concepts. Les premières démarches en ce sens, portant notamment sur les réseaux sémantiques et les plans cognitifs, n'ont guère été fructueuses, parce qu'elles reposaient sur l'association de mots ou de courtes expressions à des concepts complexes. Il faudra trouver de meilleures façons de visualiser l'espace conceptuel afin de faire une percée fondamentale dans le domaine de la psychologie cognitive. Nous devons découvrir comment le cerveau humain acquiert et encode des concepts complexes, afin de pouvoir les reproduire dans des interfaces-usagers.

La création de l'information

Le World Wide Web a progressé à une vitesse fulgurante parce qu'il facilite la création de l'infor-

mation. Or, les gens veulent présenter l'information de façon plus efficace et la méthode actuelle de rédaction de documents dynamiques repose sur l'utilisation du langage JavaScript et d'appliquettes Java. Les gens qui doivent consacrer beaucoup de temps et d'efforts à la rédaction de textes ne disposent plus de temps pour s'initier à la science exacte de la programmation informatique. Ils auront besoin d'outils qui les aideront à créer des documents dynamiques sans devoir acquérir d'autres connaissances supplémentaires. Beaucoup de recherches dans les domaines des environnements de programmation tel-tel (WYSIWYG), des assistants de programmation intelligents et des trousseaux de programmation seront nécessaires.

Les agents, les robots et les avatars

Les agents et les robots sont des logiciels qui accomplissent leur tâche dans le cyberspace sans intervention humaine. Chacun d'eux exécute une fonction précise à la portée d'une entité dotée d'une intelligence restreinte. Les agents et les robots mobiles se déplacent dans les divers nœuds d'Internet, à la recherche d'informations particulières. Ils suppriment les informations inutiles ou corrigent les liens hypertextes erronés ou périmés. Les agents statiques sont confinés à un seul ordinateur et cherchent des informations ou gèrent le trafic afin d'orienter les usagers et les agents mobiles qui circulent dans le World Wide Web.

À mesure qu'ils deviendront plus puissants, les agents et les robots menaceront l'intégrité de l'information dans le cyberspace, d'où une demande accrue de réseaux sûrs, dans lesquels l'origine de chaque agent et robot sera connue et ne pourra pas être simulée ou répudiée. Des robots spécialisés, appelés avatars, feront partie des univers de réalité virtuelle. Le terme « avatar » vient du sanscrit et signifie une incarnation d'un dieu. Il désigne en l'occurrence la représentation d'un être humain dans un univers virtuel. Les avatars devront reproduire un grand nombre de comportements quasi humains, ce qui les obligera à faire preuve d'une intelligence au moins égale à celle d'un robot. Or, comme il n'y a aucune limite au degré de perfectionnement attendu des agents, des robots et des avatars, de même, les recherches dans ce domaine pourront se poursuivre sans fin.

Accessibilité

La conception de nouvelles technologies d'interface posera de nouveaux défis aux personnes handicapées et exigera de nouvelles technologies d'adaptation. Une personne privée de l'utilisation d'un sens sera incapable d'utiliser certains types d'interfaces-usagers. Toutefois, les chercheurs peuvent trouver des façons de recourir à un autre sens pour trouver les informations voulues.

3.3 Le traitement du signal d'origine

3.3.1 Introduction

L'encodage du signal d'origine désigne le processus de numérisation d'informations analogiques sous forme de signaux radioélectriques, avant la réduction du volume de données à transmettre par l'élimination des redondances et des informations non essentielles à l'aide de mécanismes de compression avec ou sans perte. Des progrès importants ont été faits afin d'accroître la capacité de transmission des systèmes sans fil et filaires. Parallèlement, la demande de services à large bande, comme la vidéo, ne cesse de croître. Or, comme le spectre est une ressource limitée que l'on ne peut réutiliser que partiellement, la com-

pression à la source de l'information demeurera une grande priorité. Les types de signaux qui peuvent se prêter à l'encodage comprennent la parole, le son, la vidéo et d'autres signaux comme les images fixes, le texte, les graphiques, la ROC et la saisie tactile de données.

3.3.2 La parole

Les travaux dans le domaine de la compression de la parole continueront de viser à abaisser le débit nécessaire à la transmission de signaux de qualité téléphonique de 8 kb/s – la norme récemment recommandée par l'UIT – à 4 kb/s, et la transmission de la parole de qualité non télé-

phonique de 2,4 kb/s à au moins 1,2 kb/s, voire à moins de 1 kb/s, sans perte de qualité. Afin d'atteindre ces objectifs, il faudra améliorer les modèles du tractus aérien et du tractus auditif. Ces modèles seront vraisemblablement conçus au cours des prochaines années. La recherche sur la transmission de la parole à faible débit est principalement axée sur les communications sans fil à des fins militaires et sur les systèmes SCP civils.

Presque tous les travaux en matière de traitement de la parole reposent sur l'hypothèse d'une fréquence maximale de 4 kHz (habituellement entre 3,2 et 3,5 kHz). Toutefois, certaines applications exigent une plus grande fidélité. La recherche en matière de compression de la parole à une fréquence de 8 kHz vise à obtenir les mêmes débits qu'aux fréquences ordinaires de la parole..

3.3.3 Le son

Le traitement des signaux sonores sera encore axé sur la conception d'algorithmes de compression perfectionnés qui tireront profit de modèles perceptuels afin de réduire les débits. Ces travaux visent deux objectifs : obtenir une qualité sonore élevée à un débit plus faible qu'à l'heure actuelle; et obtenir de faibles débits pour des applications multimédias, lorsque la qualité sonore nécessaire n'est pas élevée.

L'écoute de la musique et la radiodiffusion exigent des algorithmes de compression à faible débit permettant d'obtenir une qualité sonore élevée. À l'heure actuelle, avec les normes du groupe MPEG-2, on a pu obtenir une qualité sonore transparente à 64 kb/s par voie, grâce à la méthode d'encodage audio perfectionné (AAC). L'objectif visé consiste à ramener les débits entre 32 et 56 kb/s par voie.

La principale source sonore primaire actuelle repose sur la norme du disque audionumérique (CD) qui utilise une fréquence d'échantillonnage de 44,1 kHz; la norme de 16 bits par échantillon est maintenant jugée insuffisante. Une prochaine norme stipulera une fréquence d'échantillonnage de 96 kHz et entre 20 et 24 bits par échantillon. Cette norme est déjà employée pour certains ap-

pareils d'enregistrement numérique professionnels (DAT). Selon les prévisions, cette source de base permettra de produire des trains binaires sonores de qualité variable dont les consommateurs pourront profiter dans l'équipement de reproduction de disques vidéo numériques (DVD). Le matériel de reproduction futur devrait être doté de dispositifs de décodage multistandards, pouvant décoder divers degrés de qualité sonore à des débits également différents. Cette possibilité marquera un pas vers l'évolutivité, que l'on juge indispensable aux applications multimédias.

La recherche dans le domaine de la compression à des débits très faibles, orientée par le groupe MPEG-4 de l'ISO, fera largement appel à des techniques de modélisation de la perception et de synthèse de l'encodage. Selon les prévisions, les connaissances en matière de modélisation de la perception devront être actualisées, puisque les premiers travaux de recherche dans ce domaine remontent aux années 1930 et 1940.

3.3.4 La vidéo

La recherche faite depuis une décennie a mené à l'établissement de la nouvelle norme de compression MPEG-2, maintenant très répandue dans le domaine de la vidéo. Cette norme visait d'abord à assurer une reproduction de bonne qualité de la vidéo, nécessaire aux diverses applications multimédias et à la radiodiffusion. Elle repose sur l'algorithme de transformation en cosinus discrets (TCD). Toutefois, compte tenu de son stade de développement, la technique TCD ne devrait pas permettre de faire d'autres gains d'efficacité de l'encodage.

À court terme, la recherche visera à produire des techniques d'encodage vidéo stéréoscopique compatibles avec la nouvelle technologie vidéo numérique et qui pourra être mise en œuvre à un coût relativement modeste, particulièrement dans le secteur de la production d'émissions de télévision. Les questions qui exigent des recherches plus approfondies comprennent la perception par l'auditeur et l'élaboration d'une méthode d'encodage simple et efficace permettant de bien distinguer les différences dans les images de gauche et de droite.

À plus long terme, la recherche en matière de compression et d'encodage vidéo visera à satisfaire aux exigences de diverses applications, notamment l'amélioration de la qualité de l'image à débit constant, l'évolutivité et la possibilité de faire varier la qualité de l'image d'un train binaire vidéo constant qui conviendra à l'équipement de l'utilisateur ou à l'application visée. L'évolutivité dépassera les possibilités actuelles de certains profils MPEG-2, en plus d'entraîner une faible perte de qualité à un débit particulier.

Dans le cadre du projet ISO/IEC MPEG-7, qui vise à concevoir un langage de description fondé sur des objets, on espère pouvoir utiliser des séquences d'images à l'aide de techniques orientées sur des objets. Un autre objectif consiste à concevoir des techniques d'encodage multiformat permettant de voir des séquences dans des formats (TVDS, TVHD, etc.) adaptés à diverses applications. L'adaptation du train binaire encodé à divers débits, par exemple pour respecter les capacités de transmission de divers moyens de communication ou pour éviter les problèmes d'encombrement des réseaux, fait également partie des objectifs. Le transcodage est une technique prometteuse qui se prête à cette transformation de l'encodage sans exiger un décodage complet du train binaire original, et ce, avec une perte de qualité minimale. Ces techniques accroissent la souplesse des applications qui peuvent ainsi s'adapter à des moyens de transmission ayant des débits différents. Selon les prévisions, les techniques d'encodage orientées sur les objets pourront satisfaire à bon nombre de ces exigences tout en assurant un encodage plus efficace que les techniques fondées sur la TCD. Des recherches en cours visent aussi à mettre au point une technique d'extraction conjointe de diverses caractéristiques vidéo, par exemple des objets, des mouvements et des textures, afin d'accroître l'efficacité de l'encodage. Bon nombre de ces recherches sont exécutées dans le cadre du programme de travail du groupe MPEG-4. Des applications concrètes pourraient voir le jour d'ici cinq ans. Toutefois, les progrès sont partiellement fonction de la capacité des futurs microprocesseurs de traiter ces algorithmes complexes en temps réel.

À long terme, on souhaite obtenir des architectures d'encodage et de compression beaucoup

plus ouvertes, permettant d'utiliser un seul récepteur pour la réception et le décodage des divers types de compression. Cette souplesse reposera sur l'efficacité du téléchargement de l'algorithme d'encodage dans le décodeur, en même temps que le train binaire vidéo. La technique d'encodage perceptuel, appliquée avec succès à l'encodage de la parole et du son afin de réduire les débits de façon sensible, est également à l'étude pour l'encodage vidéo. Toutefois, comme l'information vidéo est beaucoup plus complexe que le son, les progrès devraient être plus lents.

3.3.5 Les autres sources (images fixes, textes, graphiques, ROC, saisie tactile de données)

Les technologies d'encodage et de compression du texte, des images fixes et de la reconnaissance optique des caractères (ROC) sont relativement stables et décrites dans des normes bien connues. La recherche se poursuivra afin d'appliquer la technologie de la ROC à des textes manuscrits.

Les graphiques

Plusieurs normes graphiques existent et les travaux récents visent à les affranchir des plateformes informatiques. De plus, des progrès sensibles ont été faits depuis quelques années dans le domaine des techniques relatives aux graphiques à trois dimensions. Bien que ces images soient encore représentées en deux dimensions, l'information intégrée à l'image permet de modifier le point d'observation d'un objet. Cette technologie est fortement utilisée en dessin industriel ainsi que dans les jeux informatiques et l'on s'attend à ce qu'elle fasse une percée dans les applications commerciales au cours des prochaines années. Les progrès futurs de cette technologie seront le fruit de travaux visant à améliorer les interfaces actuelles et à les rendre plus conviviales.

La saisie de données tactile

Diverses sources de saisie de données, par exemple les gants électroniques, serviront à commander des mouvements humains tels que la manipulation d'outils et d'appareils dans des endroits éloignés, afin d'accomplir des tâches dangereuses ou qui entraînent des risques pour la santé. Ces informa-

tions viendront en partie aussi de capteurs automatisés. Les besoins en matière de compression de données seront fonction de la redondance des informations et de leur corrélation dans le temps et dans l'espace. Beaucoup de sources de saisie

tactile de données sont encore inédites et il reste à en préciser la nature. Le domaine de la « réalité virtuelle » ainsi que la nécessité d'exécuter des opérations télécommandées, notamment dans l'espace, devraient fortement influencer les progrès dans ce domaine.

3.4 *Le réseautage*

3.4.1 Introduction

Le réseautage porte sur l'intégration des installations de communication dans un environnement interfonctionnel, gérable et sûr qui favorise la distribution des services de télécommunication, de radiodiffusion et d'information, peu importe l'endroit ou l'appareil. Ces installations comprennent des capteurs, des postes de travail informatisés, des téléviseurs, des téléphones, ainsi que des terminaux de communication mobiles et fixes de tous types. Il peut s'agir de systèmes informatiques répartis allant des réseaux locaux (immeubles ou usines) aux réseaux longue distance (nationaux, continentaux et intercontinentaux). Ces réseaux sont interconnectés par divers moyens – câbles, fibres optiques, liaisons optiques en espace libre, ondes radioélectriques et satellites.

3.4.2 Les tendances en matière de réseaux

Au cours de la prochaine décennie, les travaux de développement dans le domaine de la technologie des réseaux demeureront axés principalement sur :

- la demande d'accroissement sensible de la capacité des réseaux et une vitesse accrue pour la distribution des informations;
- le besoin d'interfonctionnement entièrement transparent des réseaux;
- les exigences relatives à la sécurité de l'information;
- la convergence des réseaux de communication de données, de téléphonie, de télécommunication et de radiodiffusion, ainsi que la convergence rapide des technologies de l'informatique, des communications et de l'information;

- l'établissement d'une « infosphère » interactive accessible à tous.

Les applications réparties à large bande que l'on peut prévoir comprennent : l'informatique; les milieux de travail; les univers virtuels interactifs; les services de divertissement et de visualisation interactive assurés par des réseaux. Des applications comme la vidéoconférence, le multimédia interactif et l'échange de données informatisées représenteront toujours une part appréciable du trafic pendant les cinq prochaines années. Il faudra donc accroître l'efficacité des réseaux actuels et les nouveaux réseaux devront être beaucoup plus rapides, grâce entre autres à la réduction des coûts et à la progression rapide du rendement des technologies de l'informatique, de la microélectronique, de la transmission optique et des radio-communications.

Bon nombre des applications à large bande mentionnées ci-dessus exigeront des réseaux locaux ayant un débit d'au moins 1 Gb/s et feront appel à des technologies de transmission à grand débit comme giga-Ethernet et ATM. L'interconnexion de réseaux locaux éloignés exigera des réseaux fédérateurs qui pourront acheminer des gigabits de données à de très grands débits. Des liaisons longue distance à des débits de quelques Gb/s et plus existent actuellement, entre autres le réseau Internet aux États-Unis. Des réseaux ayant un débit de l'ordre du téra-bit, pour les établissements de recherche et d'enseignement, sont au stade de la planification, par exemple CANARIE au Canada et le NREN aux États-Unis. On oublie souvent aussi que le volume de trafic acheminé par les réseaux augmente en proportion de la demande des utilisateurs de micro-ordinateurs qui veulent obtenir des accès plus rapides.

3.4.3 L'architecture, la modélisation et la gestion des réseaux

L'interconnexion de millions de réseaux hétérogènes, à l'échelle mondiale, accroîtra de façon phénoménale la complexité des réseaux. Ceux-ci utiliseront plusieurs moyens de propagation, achemineront des applications diversifiées et intégrées reposant sur plusieurs médias et assureront la distribution de divers services exigeant des débits variés. Il faudra accroître l'intelligence des réseaux pour assurer leur mise en œuvre et leur gestion et pour faire contrepoids à la capacité humaine de bien comprendre le comportement de ces grands systèmes. Le recours à des architectures ouvertes demeurera indispensable. De même, l'établissement et le respect de normes internationales seront d'une importance primordiale. Des travaux de R-D seront nécessaires dans les domaines suivants :

- les architectures de réseaux de pointe reposant sur l'intelligence répartie pour assurer la mise en œuvre efficace de mécanismes d'autorégulation, de caractéristiques adaptatives, la détection des intrusions, etc.;
- des architectures destinées à assurer l'intégration efficace de réseaux de communications personnelles (RCP) sans fil et par satellite, de réseaux de radiodiffusion et de télévision numériques, ainsi que de réseaux informatiques traditionnels, dans un « réseau de réseaux »;
- des agents intelligents répartis, y compris des systèmes experts qui assureront la gestion des réseaux;
- l'application de nouvelles méthodes algorithmiques, comme les techniques de réseaux neuronniques et la théorie du chaos pour la mise en œuvre et la gestion des réseaux;
- les techniques d'analyse, de modélisation et de simulation.

Les réseaux sont devenus si complexes qu'il faut d'abord évaluer de nouvelles architectures et de nouveaux algorithmes et protocoles à l'aide de modèles semi-analytiques ou par la modélisation et la simulation. Les outils de R-D comprendront des bancs d'essai de réseaux spécialisés et per-

fectionnés; lorsqu'il est impossible d'établir des modèles ou de faire des simulations en raison de la complexité du problème ou de l'absence de données techniques de base.

3.4.4 L'interfonctionnement, la mobilité et l'acheminement

Les technologies des divers réseaux se retrouvent dans un « réseau de réseaux » ou dans une inforoute formée de réseaux disparates allant des réseaux HF d'un débit de quelques kilobits aux réseaux optiques d'un débit de l'ordre du téra-bit. Chaque réseau se caractérise par la qualité du service qu'il est en mesure d'assurer et chaque application ou service repose sur la qualité de service (QS) du réseau sous-jacent. Le défi que posent les réseaux récents et futurs consiste à assurer l'intégration, l'interfonctionnement et la sécurité des communications, et ce, de façon transparente, pour des usagers de services mobiles.

Tous les types de réseaux locaux devront pouvoir s'interconnecter davantage entre eux ainsi qu'avec des réseaux longue distance. Ces réseaux comprennent les réseaux à accès par radiocommunication, comme les systèmes par satellite et par microcellules et les réseaux sans fil intérieurs et extérieurs, afin de répondre à la demande d'accès universel aux services mobiles. Les segments fixes des réseaux fédérateurs pourront comprendre diverses combinaisons de réseaux hertziens, sur fils de cuivre et optiques. Comme la qualité de service nécessaire fluctuera selon les applications, les réseaux devront pouvoir prendre en charge plusieurs faisceaux ayant chacun une largeur de bande et des caractéristiques particulières de sensibilité au temps, tout en protégeant leurs interactions intrinsèques. L'« interfonctionnement » de ces réseaux représente un défi de taille. Les domaines qui exigent des travaux de R-D comprennent :

- l'intégration des services de communication, de radiodiffusion, d'informatique et d'information dans des réseaux communs;
- des protocoles pour la diffusion de l'information aux particuliers, la diffusion sélective à des groupes déterminés ou la radiodiffusion vers un réseau complet (l'acheminement par les réseaux fait partie de la solution);

- des protocoles adaptables (en fonction d'une plage de débits et de réseaux différents);
- des techniques d'acheminement comme l'acheminement à règle fixe et selon le point d'origine;
- des algorithmes d'acheminement multidimensionnels et multicritères;
- des techniques de contrôle de l'encombrement et de l'écoulement du trafic dans des réseaux hétérogènes;
- la configuration de la qualité du service et de l'adressage aux limites de réseaux de nature différente (p. ex. réseaux filaires et sans fil);
- des systèmes de haute confiance (robustes) permettant d'obtenir des degrés élevés de disponibilité, de fiabilité et de rétablissement des services d'information.

3.4.5 La sécurité des réseaux

Les médias ont souvent fait état de la facilité d'intercepter des communications sans fil et des situations embarrassantes qui peuvent en résulter. De fait, tous les réseaux de communication présentent le même degré de vulnérabilité. La sécurité devient donc un aspect primordial des systèmes de communication. Les principaux facteurs comprennent ce qui suit :

- la plupart des infrastructures critiques d'un pays (pour l'économie, la santé, les transports) dépendent jusqu'à un certain point des systèmes d'information sous-jacents qui reposent

eux-mêmes sur les réseaux de communication;

- l'interconnexion mondiale de divers réseaux ou systèmes ouverts (privés et publics) ne cesse de progresser;
- le nombre d'utilisateurs de ces systèmes ouverts augmente rapidement.

Bien que les technologies d'encryptage en vrac soient bien comprises, les technologies destinées à assurer la sécurité intégrale de la couche réseau, ainsi que de la couche d'encodage au point d'origine, prendront une importance croissante. Il faudra diversifier les services de sécurité comme la preuve d'origine, la non-répudiation, l'authentification des utilisateurs et la signature numérique, afin d'accroître la sécurité des nouvelles applications. Comme ces technologies ne permettront pas de satisfaire à toutes les exigences, il faudra absolument concevoir de nouvelles technologies afin de protéger les systèmes d'information et les réseaux contre l'utilisation abusive ou le sabotage.

Le fait que la sécurité ne soit plus considérée comme une exigence absolue révèle un changement d'attitude important, depuis quelques années. Ce phénomène aura de profondes répercussions sur les travaux futurs dans ce domaine. Les mesures de sécurité inviolables se justifient maintenant à la lumière d'analyses portant sur les investissements nécessaires, les risques de dommages, la valeur des pertes, les incidences sur l'exploitation et le coût du cycle de vie.

3.5 Le traitement des signaux transmis

3.5.1 Introduction

La présente section traite des tendances et des défis à prévoir dans des secteurs comme la détection et la correction des erreurs, l'encodage, la modulation et la détection, l'accès multiple, l'atténuation de la dégradation des signaux (compensation) et la synchronisation.

Les systèmes de transmission peuvent être classés dans deux catégories générales :

- les systèmes qui exigent des techniques de traitement des signaux simples mais efficaces, afin de réduire le coût de l'équipement. Cette catégorie comprend des systèmes à très grand débit, comme les systèmes de transmission par fibres optiques. Le choix des techniques est souvent dicté par les technologies des dispositifs, notamment les appareils optiques et optoélectroniques à grand rendement qui revêtent une importance particulière;

- les systèmes qui emploient des techniques perfectionnées afin d'optimiser la capacité ou le rendement des ressources disponibles (spectre attribué ou largeur de bande d'un câble). Les choix futurs seront fonction des progrès de la théorie des communications et du traitement des signaux. Mentionnons aussi les progrès de la technologie des circuits intégrés numériques à faible puissance, les technologies des antennes intelligentes et les techniques d'amplification linéaire à grand rendement énergétique.

En ce qui concerne la première catégorie, les techniques de transmission traditionnelles subsisteront, mais les débits atteindront de nouveaux sommets. La présente section porte principalement sur les systèmes de la deuxième catégorie.

3.5.2 La dispersion temporelle

Comme on l'a mentionné dans la section 2.1 – *Des communications omniprésentes*, la tendance sera axée sur la distribution des services à des débits toujours plus élevés. Il faudra donc augmenter la capacité de rendement de nombreuses liaisons de communication. Or, à mesure que le débit d'une liaison se rapproche de sa limite, la dispersion temporelle ou la sélectivité des fréquences devient un problème sérieux. Pour de nombreuses applications, la complexité et le rendement des méthodes de compensation habituelles peuvent se révéler inacceptables. Les solutions au problème de la dispersion temporelle comprennent :

- des stratégies de compensation simplifiées fondées sur la modélisation de la voie de rang inférieur;
- la vérification de la voie et le pré-encodage (pré-encodage de Tomlinson-Harashima);
- les techniques de transmission par porteuses multiples (MRFO);
- la réception par balayage avec transmission en spectre étendu.

Il conviendrait de faire des recherches sur les possibilités de regroupements inédits de ces méthodes.

3.5.3 L'interférence

L'optimisation du rendement global d'un moyen de transmission produit souvent des interférences intra-système ou inter-systèmes; ce qui cause une dégradation importante. Les recherches dans les domaines de l'évitement et de l'atténuation des interférences sont donc fort importantes. Voici deux exemples de technologies d'atténuation des interférences :

- la détection des usagers multiples;
- l'annulation adaptative des interférences, compte tenu de la nature cyclostatique des interférences.

L'accès multiple par répartition en code (AMRC) semble vouloir l'emporter sur la technique à bande réduite d'accès multiple par répartition dans le temps (AMRT) dans le secteur des applications sans fil, qui sont fortement perturbées par les interférences intravoies venant de cellules adjacentes (transmission terrestre) ou de faisceaux adjacents (communication par satellite). Cet avantage vient du fait que l'interférence intravoie correspond à la moyenne de tous les usagers des cellules adjacentes, ce qui entraîne d'ordinaire une réduction du niveau et des fluctuations de l'intensité du brouillage. Presque tous les systèmes cellulaires et de SCP de la troisième génération ont choisi la technique de l'AMRC.

En ce qui concerne les communications de départ, le brouillage intrafaisceau est habituellement réduit par l'utilisation de l'AMRC synchrone. L'annulation de l'interférence permet d'accroître la capacité en atténuant une partie des effets des interférences intravoies. Pour la réception de communications, on préfère l'AMRC asynchrone parce qu'il est difficile de bien synchroniser les signaux transmis par des appareils mobiles. En l'occurrence, la détection d'usagers multiples dans un groupe de stations de base semble fort prometteuse. Il est intéressant de constater que cette tendance pourrait signifier le retour de l'AMRT à bande étroite dans la liaison de retour des futurs systèmes (à partir de la quatrième génération)! Ce phénomène s'explique par le fait que la transmission dans la même voie n'est plus considérée comme un « brouillage », mais comme une voie

- des études spéciales sur de nouveaux services, comme la réception de signaux de radiodiffusion et de communication par satellite à l'intérieur des immeubles et des véhicules;
- les applications cellulaires et microcellulaires, y compris la propagation à l'intérieur des immeubles, les systèmes terrestres de « télédistribution sans fil » (p. ex., SLTM);
- l'augmentation progressive des fréquences des systèmes de télécommunication, par exemple la bande Ka, voire les bandes Q/V (40/50 GHz) pour les satellites et 60 GHz pour les services intra-immeubles;
- les obstacles à la propagation qui intéressent les systèmes par satellite à faible tolérance (VSAT et USAT);
- la mise en place possible d'infrastructures aéroportées à haute altitude et les interférences entre ces systèmes;
- la compatibilité et l'interférence électromagnétique, ainsi que l'attribution et la normalisation des fréquences;

L'amélioration des modèles d'estimation de l'affaiblissement des voies et les techniques d'atténuation dynamique de l'affaiblissement sont indispensables à la réussite de la mise en œuvre des systèmes futurs, en particulier dans les fréquences plus élevées et pour des applications comme les systèmes de télécommande de véhicules.

3.6.3 Les antennes

La progression phénoménale des systèmes sans fil comme les SCP et le GPS a stimulé une forte demande d'antennes miniatures, demande que l'arrivée d'appareils de communications sans fil personnels qui offrent beaucoup d'autres services ne fait qu'accroître. L'efficacité de la mise en service des nouveaux systèmes tels que les SLMT et les satellites dans la bande Ka sera liée à la disponibilité d'antennes peu encombrantes, faciles à installer et peu coûteuses. Les antennes des stations de base et des terminaux grand public devront satisfaire à des exigences toujours plus rigoureuses, par exemple pour la poursuite des signaux et les antennes non orientables antibrouillage, afin

d'offrir une bonne couverture dans des situations de fort évanouissement à des fréquences élevées ou d'éliminer les interférences entre les systèmes. À ces exigences techniques s'ajoutera le désir d'offrir des antennes acceptables, du point de vue de l'esthétisme, compte tenu de leur prolifération rapide dans le grand public. Les secteurs de développement technologique, en particulier dans le domaine de la bande Ka et des fréquences plus élevées, au cours des cinq prochaines années, comprendront vraisemblablement ce qui suit :

- Des caractéristiques d'adaptation et de rendement souples : utilisation efficace du spectre par une plus grande directivité et par l'orientation des faisceaux; contrôle et forme des diagrammes de rayonnement des faisceaux et possibilité d'annuler les signaux indésirables; réseaux actifs; utilisation accrue du traitement numérique des signaux et des antennes « intelligentes ».
- L'intégration de l'électronique et des antennes : regroupement des solutions conceptuelles des circuits et antennes et des logiciels; pour les ondes millimétriques, inclusion de certains éléments d'antenne dans des semi-conducteurs, avec les composantes électroniques, y compris dans certains cas le traitement numérique des signaux ou les circuits optoélectroniques pour le contrôle du rayonnement et la distribution des signaux; utilisation de la combinaison de puissance spatiale aux fréquences plus élevées.
- L'esthétisme des antennes : nouvelles antennes UHF ultra petites; amélioration des logiciels et des appareils destinés au traitement des formes complexes et parfois arbitraires actuellement impossible aux fréquences plus élevées; recours accru à des méthodes fondées sur des techniques optiques comme les lentilles.

3.6.4 L'équipement électronique RF

Les progrès de l'équipement électronique RF seront de plus en plus axés sur l'augmentation des fréquences, sur la nécessité de réduire la taille, la consommation d'énergie et les coûts des composantes et des sous-systèmes, ainsi que sur l'accroissement de la mobilité des usagers. Les princi-

poux secteurs de développement technologique comprennent ce qui suit :

- la vitesse croissante des opérations exécutées par des microcircuits se traduira par une amélioration accrue des fonctions et, partant, par l'intégration de sous-systèmes analogiques et numériques dans une seule puce;
- la mise au point de techniques de faible consommation d'énergie et de piles miniatures à grande efficacité destinées aux appareils de communication portables;
- la puissance de calcul et d'émission, de même que la vitesse des microprocesseurs, devraient presque doubler au cours des cinq prochaines années et tripler d'ici dix ans, permettant ainsi la numérisation des récepteurs directement au niveau des fréquences radioélectriques et l'accroissement des fonctions afin de satisfaire à des exigences toujours plus complexes;
- la demande d'accroissement de la largeur de bande pour les communications sans fil exigera d'importantes améliorations des technologies des fréquences millimétriques au-delà de 60 GHz.

3.6.5 Les systèmes terrestres sans fil terrestres

La progression des communications personnelles et la distribution de services de radiodiffusion à des usagers mobiles exigeront d'importants travaux de développement touchant les systèmes cellulaires et microcellulaires, les systèmes de communication à l'intérieur des immeubles et les systèmes mobiles terrestres. Les applications microcellulaires permettent de faire des gains appréciables aux chapitres de la largeur de bande et de la capacité, et elles permettent d'offrir des services comme la localisation de véhicules à l'intérieur de cellules. Les systèmes de distribution sans fil comme les SLTM permettront d'offrir aux entreprises et aux particuliers des voies à large bande, assorties vraisemblablement de fonctions de communications bidirectionnelles destinées aux services interactifs. Les services finiront par s'étendre à l'échelle mondiale, grâce à l'intégration de systèmes cellulaires terrestres et de systèmes de communications mobiles par satellites géostationnaires à orbite géosynchrone et à orbite basse (comme IMT-2000), permettant ainsi d'assurer la quasi-

omniprésence des communications.

Afin de pouvoir tirer profit de ces tendances, il faudra accroître considérablement les capacités de modélisation des voies de transmission et mettre au point de nouvelles techniques d'identification et de réaction dynamique à l'évanouissement des voies. Des améliorations techniques devront être apportées dans les secteurs des antennes, de l'accès et de la connectivité des terminaux, du traitement numérique des signaux et des sources d'alimentation des appareils portatifs. Il faudra également trouver des solutions aux problèmes d'interconnexion des systèmes dans des réseaux complexes.

Les systèmes de radiocommunications fixes terrestres, auparavant majoritairement analogiques, se sont transformés en systèmes numériques à grand débit utilisant la bande 6/4 GHz et des fréquences plus élevées, malgré les problèmes de modélisation de l'évanouissement multivoies. À l'avenir, les systèmes hertziens terrestres joueront surtout un rôle de soutien, à mesure qu'augmentera la part des réseaux sur fibres optiques.

Dans le domaine de l'optique, force est de constater la popularité croissante des liaisons de communication intérieures à l'aide de réseaux de bureau qui sont peu coûteux, offrent un débit élevé, sont insensibles aux interférences électromagnétiques et n'exigent aucune licence. L'affaiblissement important causé par l'atmosphère limite l'application des liaisons optiques en espace libre pour les communications extérieures. Les tendances au chapitre des liaisons optiques en espace libre comprennent : les sources d'émission à grande puissance sans danger pour la vue; l'accroissement des débits; des configurations de réseaux multivoies surviables; des liaisons sans vue directe; et le multiplexage par répartition en longueur d'onde afin d'isoler des nœuds situés à proximité les uns des autres.

3.6.6 Les systèmes par satellite

Les réseaux de communication par satellite reposaient, jusqu'à récemment, sur une architecture de commutation de circuits assurée par un répéteur à tube coudé relativement simple installé à bord d'un satellite géostationnaire. Les réseaux de VSAT

faisaient donc appel à une topologie en étoile qui exige l'interconnexion à double transit de terminaux VSAT par l'intermédiaire d'une station centrale ou principale. Afin d'accroître l'efficacité et la diversité des services multimédias interactifs, les systèmes par satellites géostationnaires peuvent maintenant interconnecter de petits terminaux d'utilisateurs fondés sur l'architecture de commutation de paquets. Les charges utiles de ces satellites comprennent maintenant des dispositifs de traitement et de commutation et des antennes à faisceaux multiples. Quelques processeurs de première génération continuent de fonctionner à bord de satellites comme Inmarsat III et Hot Bird 4.

La mise en œuvre de réseaux fondés sur des constellations de satellites non géostationnaires est un développement relativement récent. Quelques systèmes LEO (orbite basse), comme Orbcomm, offrent des services de messagerie en mode différé à faible débit. Deux des principaux systèmes LEO, Iridium et Globalstar, assureront des services de données et des services téléphoniques vers des terminaux portatifs d'ici la fin de 1998. D'autres systèmes de satellites non géostationnaires en cours de planification, comme Teledesic et Skybridge, visent à offrir des services multimédias à grand débit à l'échelle mondiale, d'ici cinq ans.

Le développement de ces futurs réseaux par satellite exige des recherches dans de nouvelles technologies comme les dispositifs de traitement et de commutation embarqués, les antennes de satellite à faisceaux multiples, les liaisons intersatellites et les terminaux terrestres à bas prix. L'arrivée de nouvelles technologies de communication par satellite s'accompagnera de l'obligation de toujours concevoir, analyser et confirmer les configurations des nouveaux systèmes, les architectures des réseaux et les applications destinées aux utilisateurs. En raison de l'encombrement constant du spectre dans les bandes C et Ku, bon nombre de nouveaux systèmes utiliseront sans doute les bandes millimétriques (Ka, V et Q) afin de tirer profit des importantes largeurs de bandes disponibles dans ces fréquences. Des recherches sont nécessaires afin d'atténuer les effets de propagation dans ces bandes et de concevoir des systèmes qui offriront un rendement acceptable. De plus, des travaux de R-D sont nécessaires afin d'établir

la base industrielle de nouvelles technologies pouvant exploiter les grandes largeurs de bandes disponibles dans ces fréquences.

3.6.7 Les systèmes par fibres optiques

Les réseaux de fibres optiques permettent actuellement aux entreprises de télécommunications interurbaines commerciales de compter sur une grande largeur de bande et sur un réseau fédérateur à grande capacité pour le service téléphonique (p. ex., MCI, Sprint et AT&T). Les exploitants s'efforcent d'accroître leur part du trafic en misant sur de nouvelles technologies telles que le multiplexage par répartition en longueur d'onde (MRL) qui permet d'abaisser le coût unitaire et, partant, les prix, d'où une hausse supplémentaire du trafic et de l'utilisation des réseaux. Les télécommunicateurs prévoient donc une augmentation du trafic et une diminution du coût des appels interurbains et ils espèrent pouvoir proposer des tarifs d'à peine 1 cent la minute! Depuis trois ans, le nouveau marché du MRL a déjà atteint 1,3 milliard de dollars.

La nature du trafic devrait également évoluer. Les communications téléphoniques représentent actuellement une grande part du trafic commercial actuel, et l'on prévoit une croissance annuelle de 8 %. La croissance annuelle prévue au chapitre des communications de données s'établit à 35 % et le trafic d'Internet devrait doubler chaque année. Des réseaux optiques sous-marins assurent actuellement la transmission à des débits de 40 Gb/s sur 8 000 kilomètres. Des systèmes MRL sur fibres optiques, comprenant plus de 100 voies, sont actuellement installés et offrent une capacité de transmission dépassant 1,2 Tb/s. La tendance relative à l'accroissement de la capacité devrait se maintenir.

Malgré ces réussites, il reste trois problèmes à régler avant que le MRL devienne le moyen d'acheminement privilégié : la normalisation des longueurs d'onde; la réduction du coût des réseaux MRL; et d'autres solutions d'accès pour le « dernier kilomètre », peut-être à l'aide d'interconnexions sans fil et métalliques-optiques à faible coût. Trois facteurs peuvent accélérer ou modifier

l'utilisation des réseaux MRL à fibres optiques : l'intégration du MRL aux réseaux courte distance, afin de remplacer les super liaisons interurbaines conventionnelles; l'apparition d'autres facteurs d'utilisation du MRL; et la transition vers la pleine fonctionnalité des réseaux.

Nous verrons dans l'avenir une expansion de la capacité des réseaux optiques et de fibres optiques. Le MRL sera exploité de concert avec d'autres technologies, de nouvelles techniques de modulation, de nouvelles méthodes d'atténuation de la baisse de rendement des fibres qui perdent leur transparence et peut-être une nouvelle génération de fibres optiques. Rien n'a été décidé non plus quant à la mise en œuvre de réseaux MRL passifs entièrement optiques.

Les solutions font actuellement l'objet de recherches au niveau des composantes. Des interconnexions optiques, actuellement en cours de développement, permettront de rétablir un réseau à l'aide de la commutation optique. Les EDFA à faible prix de revient et à forte largeur de bande permettent d'accroître le nombre de voies disponibles pour le MRL. La qualité de service des réseaux à fibres optiques sera améliorée et le TEB sera abaissé à 10^{-13} .

De nouvelles technologies permettront aussi de simplifier le MRL et de l'employer à plus grande échelle : lasers à fibres optiques et recours à des polymères perfectionnés pour des applications comme la commutation, la modulation, l'acheminement et l'intégration des composantes.

3.6.8 Les réseaux câblés

L'installation de fibres optiques exige un accroissement du débit des autres systèmes filaires. La déréglementation récente et les démarches visant à protéger les investissements dans la PTNB et le câblage coaxial résidentiel orientent la tendance relative à l'offre de nouveaux services à l'aide de réseaux filaires tels que la télédistribution et la téléphonie. L'évolution des réseaux filaires est intimement liée à la révolution que l'on constate actuellement dans le domaine des branchements d'abonnés (réseau d'accès). L'établissement des normes giga-Ethernet est également un facteur important.

Depuis quelques années, les débits possibles des réseaux filaires tels que la PTNB, le fil de cuivre, etc., ont beaucoup augmenté. En effet, on peut maintenant obtenir des débits de 155 Mb/s par la PTNB-3 et de 622 Mb/s par la PTNB-5. Les fils de cuivre actuels peuvent maintenant servir à la technologie ADSL-1 (ligne d'abonné numérique asynchrone), qui peut transmettre entre 1,5 et 2 Mb/s sur une distance maximale de six kilomètres à l'aide du câblage téléphonique, ou de la technologie ADSL-3 dont la portée est d'environ deux kilomètres à un débit de 6 à 8 Mb/s. Évidemment, la distance possible est inversement proportionnelle à l'augmentation du débit. La technique de la ligne d'abonné numérique à très grand débit (VDSL), actuellement en cours de développement, permettrait d'assurer un débit de 26 Mb/s sur une distance de 600 mètres ou de 52 Mb/s sur une distance de 240 mètres à l'aide de fils de cuivre. À l'exception du câble coaxial de télédistribution, l'avenir des réseaux filaires semble se restreindre principalement aux communications intra-immeubles à courte distance et à la dernière extrémité du branchement d'abonné.

Afin d'appuyer les nouveaux services prévus pour la clientèle de résidence et l'accroissement de la gamme des appareils de communication adaptés à ces services, de nouvelles technologies d'exploitation des réseaux sont actuellement mises en place. Ces technologies comprennent des réseaux de fibres optiques jusque dans le voisinage de l'abonné, le dernier segment étant assuré par des câbles coaxiaux ou des services HDSL, ADSL et VDSL à grand débit, aussi appelés réseaux XDSL, à l'aide de branchements d'abonnés sur fils de cuivre et de réseaux hybrides de fibres optiques et de câbles coaxiaux. (Les réseaux sans fil ont été décrits au début de la présente section.)

Les principaux enjeux techniques liés à l'accroissement des débits des réseaux de fils de cuivre comprennent ce qui suit :

- une largeur de bande limitée (p. ex., 100 MHz pour la PTNB de catégorie 5);
- un fort affaiblissement au-delà de 100 MHz dans le câblage de catégorie 5 (au-delà de 112 MHz, le bruit ou la diaphonie est souvent supérieur à l'intensité du signal);

- aucune application de signalisation actuellement normalisée ou en cours de normalisation ou de développement ne prescrit les composants de la PTNB.

L'encodage est donc une technologie clé de l'évolution des réseaux câblés. Des progrès sont nécessaires dans les domaines de l'annulation du dérapage de base, de la réduction de la diaphonie et de la protection contre le bruit. Dans l'exemple du giga-Ethernet sur PTNB, le principal défi consiste à concevoir une technologie de signalisation efficace

et économique qui permettra des débits extrêmement élevés sur plus de 100 mètres à l'aide de quatre paires de câbles de catégorie 5, puisque la limite d'une paire se situe à 100 MHz. Le groupe de travail giga-Ethernet 802.3z reconnaît la nécessité de concevoir une technologie de circuits analogiques/numériques complexe (environ 250 000 étapes) pour que les paquets de réseaux Ethernet puissent être acheminés par la PTNB de cuivre à des débits mesurés en gigabits par seconde.

3.7 *Les technologies de base*

3.7.1 Introduction

Certaines technologies ralentissent les progrès à divers stades de perfectionnement des systèmes de télécommunication déjà décrits. La présente section vise à en souligner l'importance et à mettre l'accent sur des progrès possibles. Les technologies mentionnées portent sur les ordinateurs et les logiciels ainsi que sur les appareils, les dispositifs et les composantes électroniques.

3.7.2 L'informatique et le traitement

La recherche et le développement touchant les applications informatiques de pointe est à l'origine à la fois d'importantes percées dans le domaine des super-ordinateurs et du développement commercial d'appareils, de logiciels et de technologies dérivées destinés aux ordinateurs de bureau et de moyenne puissance. Au début de XXI^e siècle, la capacité de traitement des ordinateurs de pointe se mesurera en téraflops et la technologie d'enregistrement des données atteindra le téraoctet. Après 2010, les ordinateurs devraient atteindre une vitesse de traitement de l'ordre du pétaflop et le stockage de masse se mesurera en exaoctets. La recherche en matière d'informatique de pointe portera sur des concepts perfectionnés tels que les technologies quantiques, optiques et bio-informatiques. De plus, des gains de rendement semblables marqueront les technologies actuelles, par exemple les matériaux supracon-

ducteurs à température élevée, l'électronique moléculaire et l'application d'interconnexions optiques aux communications à l'intérieur des puces et entre elles. La puissance globale et la capacité de traitement des ordinateurs personnels et des postes de travail devraient continuer de doubler tous les 18 mois au-delà de l'an 2010.

Les travaux de développement porteront aussi sur des architectures de traitement massivement parallèle (MPP) et sur des systèmes d'exploitation et des logiciels pouvant exploiter les caractéristiques de l'architecture MPP. Ces progrès se prêteront à des applications destinées aux postes de travail et aux ordinateurs personnels et se traduiront par d'importants gains de la capacité de traitement. À terme, ils exigeront aussi des réseaux informatiques et du matériel de télécommunication inter et intra-ordinateurs toujours plus rapides et plus intelligents. De nouvelles méthodes seront étudiées afin d'assurer la mise en œuvre de l'architecture MPP et la conception de nouveaux logiciels, systèmes d'exploitation, langages et compilateurs destinés à ces nouveaux systèmes à traitement parallèle et à la gestion de données à très grande échelle (de l'ordre du téraoctet et plus).

Afin de tirer profit des gains de vitesse et de rendement des microprocesseurs issus de ces travaux de développement, d'autres progrès seront faits dans la conception des systèmes d'exploitation et des logiciels, dans le développement de systèmes intelligents et dans les architectures de base du

matériel informatique. Une catégorie particulière de MPP, c'est-à-dire le traitement réparti parallèle (PDP) ou les réseaux neuromimétiques artificiels formés d'un grand nombre d'unités de traitement interconnectées et coopératives, entraînées à apprendre des algorithmes, devrait retenir l'attention et viser, à moyen et à long terme, la conception de systèmes intelligents. Des systèmes répartis dans lesquels des parties d'une tâche de traitement de l'information seront confiées à des ordinateurs distincts verront le jour. Ces systèmes exigeront des logiciels permettant à l'ordinateur client d'accomplir la plus grande partie possible du traitement, tout en masquant les communications entre le serveur et le concepteur des applications.

L'augmentation constante de la taille des logiciels soulève des problèmes liés à la durée et au coût de la conception, ainsi qu'à la vérification de l'exactitude du produit final. La « taille » des logiciels semble suivre sa propre version de la

loi de Moore, c'est-à-dire que l'espace nécessaire à l'installation du logiciel sur un disque rigide double approximativement à chaque nouvelle version, c'est-à-dire presque annuellement. Pour corriger ces difficultés, on conçoit actuellement des langages de description formelle qui traduiront automatiquement une caractéristique du logiciel en code exécutable. Des techniques de validation devront également être conçues afin de s'assurer que le logiciel respecte les règles de syntaxe et de sémantique. Enfin, pour que le logiciel exécute effectivement les fonctions prévues, des techniques de vérification de la conformité sont actuellement en cours de développement. Tous ces progrès mèneront à la mise au point d'outils perfectionnés dans le domaine de l'ingénierie logicielle assistée par ordinateur (ILAO). La conception de compilateurs et de langages informatiques « jumelés » vise à simplifier et à réduire le code des futures applications informatiques.

3.7.3 Les appareils, les dispositifs et les composants électroniques

Les principales tendances dans cette catégorie viennent surtout du désir et de la nécessité de maximiser la complexité fonctionnelle possible, compte tenu de contraintes de puissance et de taille. Voici quelques points à retenir :

- Le principal facteur dans ce domaine sera certainement l'augmentation constante de la puissance et de la rapidité des circuits intégrés au silicium formés de semi-conducteurs à oxyde de métal complémentaire (CMOS). Dans un plan technologique publié récemment, la Semiconductor Industry Association prévoit la production de dispositifs commerciaux au silicium qui permettront de faire des progrès considérables au chapitre du rendement, comme l'indique le tableau qui suit :

PRODUIT	ANNÉE		
	1997	2003	2012
Capacité de mémoire vive dynamique (DRAM)	267 Mb/puce	4,3 Gb/puce	275 Gb/puce
Capacité du microprocesseur	11 MTrans/puce	76 MTrans/puce	1,4 GTrans/puce
Vitesse du microprocesseur	750 MHz	2,1 GHz	10 GHz
Coût du µP par million de transistors	2,90 \$	0,56 ¢	0,047 \$
Coût la mémoire vive dynamique par million de bits	0,06 ¢	0,75 ¢	0,03 ¢

- De nouveaux dispositifs tels que des transistors bipolaires à hétérostructure (SiGe) (TBH) et des dispositifs à puits quantiques pourraient offrir des vitesses encore plus élevées pour des applications spécialisées. Des systèmes entièrement fondés sur la photonique permettront aussi de

faire des gains de vitesse appréciables. La consommation d'énergie des puces continuera cependant de causer des difficultés, puisque l'accroissement des fonctions ralentira l'amélioration des méthodes de conception de consommation énergétique et la réduction de la tension

d'exploitation jusqu'à 0,5 V. À cet égard, il faudra concevoir de nouvelles techniques de transmission de l'information à l'intérieur et à l'extérieur des puces.

- Le « système sur une puce » deviendra réalité grâce à la convergence des technologies des composants analogiques, numériques et optoélectroniques et à leur intégration dans des sous-systèmes intégrés. Ces progrès exigeront plus de R-D afin de trouver les technologies, les architectures et les méthodes de conception qui permettront d'optimiser le rendement dans des opérations à fonctions mixtes. Il faudra prévoir une plus grande collaboration entre les principaux concepteurs de circuits intégrés, puisqu'il deviendra trop onéreux de concevoir de nouvelles macro-fonctions toujours plus perfectionnées destinées à ces systèmes.
- Nous verrons bientôt une intensification de la R-D dans les techniques des « cartes mères » multicouches, entre autres les techniques prometteuses des céramiques à cuisson simultanée à basse température, qui commencent à voir le jour. Il faudra également essayer de regrouper des dispositifs à semi-conducteurs différents et des catégories de dispositifs différentes, comme le CMOS de silicium, les transistors bipolaires SiGe et les transistors bipolaires à hétérostructure GaAs afin d'obtenir des niveaux de rendement exceptionnels.
- La R-D se poursuivra sur de nouveaux matériaux semi-conducteurs comme le phosphore d'indium (InP) destinés à des dispositifs spécialisés qui exigent des vitesses élevées et des fonctions optoélectroniques. On mettra aussi davantage l'accent sur les circuits à faible consommation d'énergie, à dissipation réduite de la chaleur et à grande efficacité ainsi que sur les batteries à grande densité et sur les dispositifs de stockage d'énergie destinés à satisfaire aux exigences de portabilité ainsi qu'à des dispositifs comme l'identification des radiofréquences et les étiquettes intelligentes.
- Les techniques de microfabrication de semi-conducteurs favoriseront l'intégration de fonctions acoustiques, de détection de la pression et du mouvement, ainsi que d'autres fonctions électromécaniques, à diverses fonctions électroniques « sur plaquette ».
- Des circuits électroniques à faible perte commenceront à utiliser les fréquences millimétriques jusqu'à 100 GHz et seront destinés principalement à des applications du secteur des transports, comme l'évitement de collisions et la détection de proximité des applications de contrôle de véhicules.

4.0 Incidence des enjeux sociaux et environnementaux sur la technologie

4.1 *Introduction*

Les progrès de la technologie des communications peuvent entraîner autant des problèmes environnementaux et sociaux que d'innombrables occasions dans les mêmes domaines. Toutefois, les nouveaux enjeux sociaux et environnementaux

influencent eux aussi sur le développement de la technologie des communications. Le présent chapitre décrit brièvement quelques-uns des enjeux qui exerceront une influence sur l'évolution future de la technologie des communications.

4.2 *La protection de la vie privée*

Le droit à la vie privée est un des fondements de la *Déclaration canadienne des droits*. Toutefois, il devient de plus en plus difficile de protéger ce droit fondamental au fil de la croissance des systèmes de communication sans fil et d'Internet.

L'interconnexion des réseaux se traduit par un accroissement des échanges d'informations personnelles et commerciales. Les données existantes, notamment les opérations financières électroniques, les dossiers de crédit, les états financiers, les relevés d'études, les dossiers médicaux et les antécédents de conduite, peuvent être réutilisées afin d'établir des profils exhaustifs de particuliers ou d'entreprises. Ces enregistrements peuvent être transmis outre-frontières et vendus ou intégrés à d'autres bases de données.

Les données peuvent aussi être traitées à l'insu de la personne qui les a fournies. De plus, les infor-

mations sont souvent employées à des fins tout à fait étrangères aux buts de leur collecte. Compte tenu des innombrables possibilités d'abus, il faudra veiller à l'efficacité de la protection de la vie privée.

Les moyens électroniques servent de plus en plus souvent à envoyer des informations non sollicitées qui suscitent de nombreuses plaintes d'intrusion dans la vie privée. La technologie de messagerie électronique doit être perfectionnée et utilisée de façon à confirmer le droit du particulier à la protection de sa vie privée. Dans le domaine des radiocommunications personnelles, il est illégal d'utiliser des récepteurs numériques pour intercepter des conversations téléphoniques acheminées par des services de communications personnelles sans fil.

4.3 *La sécurité*

La sécurité est une caractéristique fondamentale de toutes les infrastructures publiques de communications. Elle favorise la confiance des consommateurs, les occasions d'affaires et le maintien des valeurs démocratiques. Un environnement sûr assure la confidentialité nécessaire aux opérations financières, aux traitements médicaux et aux autres activités personnelles qui font appel à des réseaux de télécommunication.

De même, il faudra accorder une attention particulière à la sécurité si l'on veut que le commerce électronique puisse vraiment prendre son essor à titre de nouveau secteur d'activité économique. La liberté de commerce et d'échange d'informations à l'aide des réseaux de télécommunication est à l'avantage du commerce électronique. Toutefois, les entreprises doivent pouvoir vérifier l'identité des clients et des autres entreprises avec lesquels elles traitent.

Beaucoup d'entreprises utilisent actuellement Internet pour l'échange de données informatisées. Un sondage fait aux États-Unis en 1997 a révélé que les ventes par Internet avaient augmenté de 1 000 % par rapport à l'année précédente et qu'elles pourraient atteindre les 330 milliards de dollars US en 2002. Une évolution semblable est prévue au Canada. Malgré cette progression phénoménale, les problèmes de sécurité et de protection de la vie privée sont encore considérés comme des obstacles. En effet, 46 % des répondants à un sondage récent d'Industrie Canada considéraient que la sécurité et la protection de la vie privée étaient des questions importantes ou très importantes. Nombre d'entreprises et de particuliers estiment d'ailleurs qu'Internet est un réseau

non sécuritaire.

L'utilisation croissante des moyens électroniques pour enregistrer des informations personnelles a soulevé des inquiétudes quant à la vulnérabilité et à la sécurité des banques de données gouvernementales. L'accès sans fil aux ordinateurs compromet davantage la sécurité des fichiers de données électroniques.

À l'heure actuelle, diverses technologies commerciales sont mises en service afin d'aider les usagers à se protéger contre les risques d'Internet. Mentionnons à ce chapitre des solutions axées sur l'authentification, l'autorisation, la confidentialité, la preuve de réception et les signatures numériques. Ces mesures revêtent une grande importance et la technologie est appelée à jouer un rôle de premier plan dans l'accroissement de la sécurité des réseaux de télécommunication.

Des groupes nationaux et internationaux se penchent également sur les enjeux politiques de l'exportation d'algorithmes d'encryptage, sur l'accès aux données par les organismes d'application de la loi et sur l'illégalité de toute forme d'encryptage dans certains pays, entre autres choses.

Enfin, à l'ère de l'information, le fonctionnement même de la société, c'est-à-dire les administrations publiques, l'industrie et les particuliers, repose de plus en plus sur les réseaux informatiques et de communication. Ces réseaux peuvent être vulnérables à des perturbations causées par des catastrophes naturelles ou par des actes délibérés. Il importe donc de les concevoir de telle sorte qu'ils puissent survivre à ces situations.

4.4 *La réglementation*

L'introduction et la mise en œuvre de nouvelles technologies peuvent être entravées par une réglementation, des normes et des politiques de communications périmées. Les gouvernements ont entrepris de modifier le cadre réglementaire et socio-économique afin de favoriser l'implantation rapide

et sans entrave des nouvelles technologies. Les droits de licence et la mise aux enchères du spectre sont des mécanismes que les organismes de réglementation utilisent pour stimuler la concurrence chez les fournisseurs de services de communication, afin qu'ils conçoivent des systèmes différents

et de nouvelles technologies destinées au marché, tout en respectant des lignes directrices générales. Les normes et la réglementation évoluent afin que les spécifications de l'équipement de radiocommunications ne restreignent pas l'offre de nouveaux appareils, mais définissent plutôt les limites de leur exploitation afin de prévenir le brouillage et les interférences. Cette nouvelle politique et ce nouveau cadre de réglementation visent à promouvoir la R-D et à stimuler la concurrence et l'amélioration des services. Certaines entreprises ont estimé toutefois que ce nouvel environnement a causé

une confusion qui avantage les principaux intervenants en place, au prix de l'entrée en concurrence par des entreprises dynamiques et novatrices, mais beaucoup plus petites.

La réglementation influe également sur la technologie dans le domaine de l'attribution du spectre. Bien que la méthode d'attribution tienne compte des possibilités technologiques et de la demande des usagers, les travaux de R-D à l'égard de technologies particulières sont largement dictés par la disponibilité du spectre.

4.5 L'environnement

En règle générale, la technologie des communications ne cause guère de pollution environnementale et elle peut même contribuer à la réduire. Toutefois, compte tenu de l'essor phénoménal du segment des communications personnelles, diverses questions doivent être étudiées de façon plus approfondie.

La croissance mondiale de l'utilisation d'appareils électroniques et électriques augmente les niveaux de base des champs électromagnétiques qui nous entourent. Or, des crêtes de champs électromagnétiques peuvent gêner l'exploitation des appareils de communication et de certains appareils médicaux. L'affaiblissement des signaux peut également causer un dysfonctionnement des systèmes de télécommande de véhicules qui reposent sur les communications. Ce phénomène pourrait restreindre les possibilités de développement d'autres systèmes semblables à l'avenir.

Les risques biologiques possibles de l'exposition prolongée à des champs électromagnétiques de

faible intensité suscitent des controverses qui exigent des études plus approfondies. Les recherches doivent porter principalement sur les radiations émises par des appareils de poche, ainsi que sur les effets cumulatifs de radiations émises par de nombreux émetteurs utilisés à proximité les uns des autres. Il faudra restreindre l'intensité des champs électromagnétiques, ce qui pourrait influencer sur la conception des appareils et des systèmes de communication. Il faudra aussi prouver que l'équipement de communication est conforme aux niveaux d'exposition sécuritaire recommandés.

Pour des raisons d'esthétisme, les collectivités tolèrent de moins en moins la pollution visuelle associée aux grandes antennes. Les fournisseurs de services devront donc faire preuve de plus d'imagination et installer leurs antennes à des endroits stratégiques. De même, les chercheurs devront s'efforcer de réduire la taille des antennes afin qu'elles puissent s'intégrer plus harmonieusement à leur environnement.

4.6 La culture

Les communications évoluent vers un accès mondial aux systèmes d'échanges d'informations et de produits culturels entre les Canadiens et les autres pays. Les industries culturelles canadiennes font face à une concurrence accrue qui offre toutefois

de nouvelles possibilités à de nouveaux fournisseurs d'informations et de produits culturels. L'établissement de normes mondiales en matière de communication et l'interconnectivité planétaire seront des facteurs primordiaux de la distribution

des produits culturels canadiens dans le monde entier.

La diffusion mondiale de l'information a entraîné la nécessité de bloquer les sources d'informations non désirées. À l'heure actuelle, beaucoup de gens estiment en effet être surchargés d'informations et ils éprouvent de la difficulté à distinguer l'information utile de celle qui ne l'est pas. Il faudra concevoir de nouveaux logiciels de tri et peut-être même créer de nouvelles institutions afin de régler ce problème.

4.7 *L'économie*

L'économie du Canada repose de plus en plus sur l'information et les technologies des communications et de l'information (TCI) en sont les principaux moteurs. En 1996, ce secteur représentait 7,2 % du PIB national et 37,3 % de la R-D. De 1990 à 1996, la croissance annuelle composée de toute l'économie canadienne s'est établie à 1,5 %, mais celle du secteur des TCI a atteint 7,6 %. Dans une large mesure, la prospérité future du Canada sera liée à l'adoption de nouvelles technologies, en particulier dans le secteur des nouveaux services.

Les technologies des communications et de l'information sont synonymes de diversité et d'autonomie des particuliers et elles réduisent les écarts entre les grandes et les petites entreprises. Les administrations publiques devront favoriser un milieu permettant aux particuliers d'utiliser des technologies électroniques pour accroître leur productivité et pour concevoir des produits et des services d'information.

Les télécommunications forment un des secteurs les plus prospères de l'économie canadienne et elles joueront un rôle encore plus important à l'avenir, grâce à la production de nouveaux produits et

La télévision et les autres médias axés sur l'image devraient influencer sur le comportement de certaines catégories de personnes. Certes, la télévision de pointe et la radio numérique de qualité CD se traduiront par une amélioration sensible de la qualité des services de divertissement; toutefois, des problèmes comme la violence chez les jeunes et l'analphabétisme peuvent aussi être des conséquences négatives de l'écoute excessive de la télévision. Selon les prévisions, le public exigera des études plus approfondies sur ces questions.

services. À l'heure actuelle, les fournisseurs de services cellulaires et de SCP du Canada doivent investir 2 % de leurs revenus bruts redressés dans des activités connexes de recherche et de développement, ce qui représente des centaines de millions de dollars au cours des cinq prochaines années. Ces investissements auront de profondes répercussions sur la performance du Canada en matière de R-D.

La mondialisation offrira d'innombrables occasions au Canada et aux autres pays qui pourront participer à l'ère de l'information. Afin d'en tirer profit, le Canada doit préconiser une culture d'apprentissage permanent et établir un système d'enseignement qui encourage les jeunes gens à s'intéresser dès l'enfance aux sciences et à la technologie. Il doit aussi veiller à la disponibilité du financement de la R-D afin que nous puissions concevoir autant des technologies que des contenus destinés à l'économie du savoir du XXI^e siècle.

5.0 Importance relative des technologies dans la progression des tendances mondiales

Le groupe n'avait pas pour mandat de faire des recommandations sur des activités de R-D. Toutefois, les membres du comité ont jugé bon d'essayer de faire une évaluation qualitative du degré d'importance de chaque secteur technologique nécessaire à la constance des progrès

dans chacune des *tendances mondiales*. Une rangée supplémentaire a été ajoutée afin de tenir compte de la *convergence*. De plus, le comité a légèrement modifié l'interprétation des *tendances mondiales n° 1 et n° 2*, d'où une légère modification des évaluations à cet égard.

Tableau 1 : Importance relative des technologies dans la progression des tendances mondiales

		TECHNOLOGIES					
		1 Interfaces-usagers	2 Traitement du signal d'origine	3 Réseautage	4 Traitement du signal de transmission	5 Voie	6 Technologies de base
TENDANCES MONDIALES	A. Des communications omniprésentes	M	É	É	É	É	É
	B. Les communications et les réseaux mondiaux	É	F	É	M	M	É
	C. Les communications machine-machine	F	F	M	M	M	M
	D. Les interfaces naturelles homme-machine	É	M	F	F	F	É
	E. Les services de radiodiffusion, d'information et de divertissement	É	É	M	M	M	É
	F. La convergence	É	É	É	É	M	M

CLASSEMENT : Élevée : La R-D dans ce domaine de la technologie est très importante pour le progrès de cette tendance mondiale.
Moyenne : La R-D dans ce domaine est importante pour le progrès de cette tendance mondiale et certaines questions importantes doivent être réglées. Les progrès seront fonction des percées dans d'autres tendances mondiales.
Faible : Le progrès de cette technologie n'est pas indispensable à celui de la tendance mondiale.

Annexe I

Liste de sigles et d'abréviations

μP	-----	microprocesseur	CMOS	-----	semi-conducteur à oxyde de métal complémentaire
3D	-----	trois dimensions	DAT	-----	bande audionumérique
AAC	-----	encodage audio perfectionné	DRAM	-----	mémoire vive dynamique
ADSL	-----	ligne d'abonné numérique asynchrone	DVD	-----	disque vidéo numérique
AMRC	-----	accès multiple par répartition en code	EDFA	-----	amplificateur à fibre dopée à l'erbium
AMRT	-----	accès multiple par répartition dans le temps	EHF	-----	fréquence millimétrique (30-300 GHz)
ATM	-----	mode de transfert asynchrone	EMC/EMI	--	compatibilité/interférence électromagnétique
B.dm	-----	bande décimétrique	EPL	-----	encodage prédictif linéaire
Bande Ka	---	18-26,5 GHz (désigne parfois les communications par satellite dans la bande 20/30 GHz)	Exaoctet	-----	10 ¹⁸ octets
Bande Q	---	36-46 GHz	FET	-----	transistor à effet de champ
Bande V	-----	46-56 GHz	GaAs	-----	arséniure de gallium
C3	-----	commandement, contrôle et communication	Gb/s	-----	gigabit par seconde
CANARIE	---	Réseau canadien pour l'avancement de la recherche, de l'industrie et de l'enseignement	GEO	-----	orbite terrestre géosynchrone
CATV	-----	télédistribution; télévision par antenne collective	GHz	-----	gigahertz (10 ⁹)
CD	-----	disque audionumérique; disque compact	GPS	-----	système de positionnement global
CI	-----	circuit intégré	HDSL	-----	ligne d'abonné numérique à grand débit
			HTML	-----	langage de balisage hypertexte
			ILO	-----	ingénierie logicielle assistée par ordinateur

IMT -----	télécommunications mobiles internationales		de services
InP -----	phosphure d'indium	ROC -----	reconnaissance optique des caractères
ISO/IEC ----	Organisation internationale de normalisation	RV -----	réalité virtuelle
JPEG -----	Joint Photographic Experts Group	SCADA -----	système d'acquisition et de contrôle des données
km -----	kilomètre	SCP -----	services de communications personnelles
LEO -----	orbite terrestre basse	SiGe -----	germanium de silice
LTCC -----	céramique à cuisson simultanée à basse température	SLTM -----	système local de télécommunication multipoint
Mb/s -----	mégabit par seconde	Tb/s -----	térambit par seconde
MDBF -----	modulation par déplacement binaire de phase	TBH -----	transistor bipolaire à hétérostructure
MDPQ -----	modulation par déplacement de phase en quadrature	TCD -----	transformation en cosinus discrets
MPEG -----	Motion Picture Experts Group	TCI -----	technologies des communications et de l'information
MPP -----	traitement massivement parallèle	TEB -----	taux d'erreur sur les bits
MRFO -----	multiplexage par répartition en fréquence orthogonale	Téraflop ----	10^{12} opérations à virgule flottante par seconde
MRL -----	multiplexage par répartition en longueur d'onde	TVDS -----	télévision à définition standard
NREN -----	National Research and Education Network	TVHD -----	télévision à haute définition
OSNG -----	orbite de satellite non géostationnaire	UHF -----	bande décimétrique
PDA -----	assistant numérique personnel	UIT -----	Union internationale des télécommunications
PDP -----	traitement parallèle réparti	USAT -----	antenne de microstation
Pétaflop ----	10^{15} opérations à virgule flottante par seconde	VDSL -----	ligne d'abonné numérique à très grand débit
PIB -----	produit intérieur brut	VRML -----	langage de modélisation de réalité virtuelle
PTNB -----	paire torsadée non blindée	VSAT -----	station terminale à antenne à petite ouverture
QS -----	qualité de service	WWW ----	World Wide Web
RCP -----	réseau de communications personnelles	WYSIWYG -	tel-tel
R-D -----	recherche et développement	XDSL -----	ligne d'abonné numérique « indéterminée » (DSL)
RF -----	fréquence radioélectrique; radiofréquence		
RNIS -----	réseau numérique à intégration		

Annexe II

Bibliographie

1. *The National Technology Roadmap for Semiconductors*, Semiconductor Industry Association, 1997.
2. *Technologies pour le XXI^e siècle – Informatique, information et communications*, Conseil national des sciences et de la technologie, Comité de l'informatique, de l'information et des communications; supplément du budget du Président pour l'exercice financier 1998.
3. *Technologie 1998 : Analyse et prévisions*, janvier 1998.

Membres du comité

Rene Douville, président

Dave Rogers

Gerry Chan

Ezio Berolo

Metin Akgun

Thom Whalen

Ted Hayes

Barry McLarnon

John Lodge

Ken Sala

Gérard Nourry