

TÉLÉCOMMISSION

Étude 4 a)

L'avenir de la technologie des communications

QUEEN
HE
7815
.A5214
no. 4a

Ministère des Communications

Queen
HE
7815
A5214
no. 4a

TK
5102.5
C35
4(a)f
c.11

Industry Canada
Library Queen

AOUT 27 1998
AUG

Industrie Canada
Bibliothèque Queen

TÉLÉCOMMISSION

Étude 4 a)

L'AVENIR DE
LA TECHNOLOGIE DES COMMUNICATIONS

© Droits de la Couronne réservés

En vente chez Information Canada à Ottawa,
et dans les librairies d'Information Canada:

HALIFAX
1735, rue Barrington

MONTREAL
1182 ouest, rue Ste-Catherine

OTTAWA
171, rue Slater

TORONTO
221, rue Yonge

WINNIPEG
393, avenue Portage

VANCOUVER
657, rue Granville

ou chez votre libraire.

Prix: \$3.00 N° de catalogue Co41-1/4AF

Prix sujet à changement sans avis préalable

Information Canada
Ottawa, 1972

AVANT-PROPOS

La présente étude exprime le point de vue de personnes et de groupes ou le point de vue concerté d'organismes dans les domaines techniques où ils sont particulièrement compétents.

Tout ceux qui ont contribué à cette étude ne sont pas nécessairement d'accord sur tous les détails et peuvent ne pas appuyer entièrement l'opinion de leurs collègues. Cependant, il nous a été possible de tirer des conclusions générales et de présenter en détail un grand nombre de points de vue techniques dans chacun des domaines examinés.

Le groupe chargé de l'étude 4 a) a reçu des communications officielles des organismes suivants:

1. Les Industries Électroniques du Canada
2. Le Réseau téléphonique transcanadien

Les personnes désireuses de recevoir des exemplaires de ces communications devront s'adresser directement aux auteurs.

Ce rapport a rédigé, pour le compte du ministère des Communications, par un groupe de travail composé de représentants de divers organismes, institutions et entreprises. Il ne reflète donc pas nécessairement les vues du Ministère ni celles du gouvernement fédéral et n'engage en aucune façon leur politique.

Le lecteur devra considérer ce rapport comme un document de travail dont la terminologie n'est pas nécessairement celle qu'ont adoptée les auteurs d'autres études de la Télécommission.

PARTICIPANTS

Les personnes suivantes ont participé à l'étude:

MM. J.H. Chapman	Ministère des Communications (président)
J.E. Almond	TELESAT Canada
A.P.H. Barclay	Les Industries électroniques du Canada
W.C. Benger	Laboratoires de recherche et de développement de <u>Northern Electric</u>
R.K. Brown	Ministère de l'Industrie et du Commerce
J.S. Crispin	Société canadienne des télécommunications transmarines
W.A. Cumming	Conseil national de recherches
N.G. Davies	Centre de recherches sur les communications (Ministère des Communications)
J.D. Fahey	Bell Canada
W.M. Lower	Les Industries électroniques du Canada
K.J. MacDonald	Télécommunications CN-CP
J. Miedzinski	Conseil de la radio-télévision canadienne
G. Miller	Les Industries électroniques du Canada
D.F. Parkhill	Ministère des Communications
S.F. Quinn	Société Radio-Canada
R.P. Skillen	Bell Canada
F.W. Simpson	Centre de recherche sur les communications (ministère des Communications)

REMERCIEMENTS

La contribution de Bell Canada aux parties de l'étude concernant les sociétés exploitantes de télécommunications reflète les points de vue techniques généralement acceptés du Réseau téléphonique transcanadien. L'apport des Industries électroniques du Canada n'engage que cet organisme.

Des remerciements personnels sont dus aux membres du groupe d'étude et à leurs collaborateurs pour leur précieuse contribution aux travaux. Ainsi, on doit à des sous-comités de spécialistes la rédaction des études sur les techniques fondamentales.

A l'occasion, le groupe de travail s'est adressé à des personnes ou à des organismes qui n'ont pas participé directement à l'étude pour obtenir des renseignements sur certains aspects particuliers. Leurs points de vue ont été extrêmement utiles.

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
1. <u>INTRODUCTION</u>	1
Généralités	1
Plan d'étude	1
Terminologie	2
Période envisagée	4
2. <u>LE MILIEU FUTUR</u>	4
Généralités	4
Le réseau des sociétés exploitantes de télécommunications	5
La radiodiffusion	11
Les communications mobiles	20
Communications mobiles maritimes	21
Communications mobiles aériennes	22
Communications mobiles terrestres	24
Traitement et mise en mémoire des données	25
3. <u>TECHNOLOGIE FONDAMENTALE</u>	28
Technologie des mémoires	28
Technologie des semi-conducteurs	29
Technologie des ordinateurs	30
Technologie de la transmission	32
Sources d'alimentation	33
Filtrage numérique et analogique	34
Technologie des dispositifs d'entrée-sortie	35
4. <u>LES RÉPERCUSSIONS DE LA TECHNOLOGIE SUR LES PARTIES COMPOSANTES DES SYSTÈMES DE COMMUNICATIONS</u>	36
Généralités	36
Le réseau commuté de communications	36
Transmission	37
Modulation et multiplexage	39
Evolution des systèmes de transmission au Canada	40
Répercussions futures des nouvelles techniques	43
Installations à grande distance de l'avenir	43
Équipement terminal	44
Milieux de transmission	45

Installations à courte distance de l'avenir	53
Equipement terminal des installations à courte distance	53
Milieux de transmission à courte distance	54
Futures installations centrales de distribution	56
Commutation	60
Evolution de la commutation au Canada	62
L'avenir des systèmes de commutation	64
Transducteurs	69
Evolution des transducteurs	72
L'avenir des transducteurs	75
Communications mobiles	77
Circuits intégrés	77
Ordinateurs	77
Signalisation numérique et circuits logiques	78
Synthèse des fréquences	79
Dispositifs d'impression	80
Télévision à balayage lent	80
Antennes actives	80
Répéteurs	80
Utilisation des satellites	81
Techniques particulières de conservation du spectre	82
Mise en mémoire et traitement des données	88
5. <u>LES RÉPERCUSSIONS SUR LES SYSTÈMES</u>	89
Le réseau des sociétés exploitantes de télécommunications	89
Introduction	89
Rapports entre les sous-systèmes du réseau	94
Besoins futurs du réseau	98
Le réseau futur	108
L'exploitation du réseau	114
Les conditions économiques	117
La radiodiffusion	118
Utilisation du spectre pour la radiodiffusion	119
Systèmes de câblodiffusion	120
Dispositifs ménagers de reproduction audio-visuelle	121
Les satellites	122
Téléviseurs ménagers	123
Technologie des semi-conducteurs	124
Communications mobiles	124
Communications maritimes	124
Communications aéronautiques	128
Communications mobiles terrestres	131
Réseaux d'informatique	139

6.	<u>CONCLUSIONS</u>	140
	Le milieu	140
	Technologie fondamentale	141
	Technologie de la transmission	142
	Technologie de la commutation	144
	Technologie numérique	144
	Développement des systèmes	145
	<u>ANNEXES</u>	149
	Annexe A Mandat	149
	Annexe B Technologie fondamentale	152
	Annexe C Les communications dans les ménages - Radiodiffusion	191
	Annexe D Progrès technologiques futurs et nouveaux concepts de systèmes - Sous-comité du matériel mobile terrestre et maritime des Industries électroniques du Canada	209
	Annexe E Résumé du <u>Staff Paper One</u> rédigé par Eugen V. Rostow pour le <u>President's Task Force on</u> <u>Communications Policy</u>	283

L'AVENIR DE LA TECHNOLOGIE DES COMMUNICATIONS

1. INTRODUCTION

Généralités

La Télécommission doit son existence à l'évolution accélérée de la technologie des communications et aux préoccupations engendrées par ses répercussions sur le mode de vie des Canadiens. Cette étude traite des rapports de cette technologie avec nos besoins futurs.

Une technologie nouvelle ou perfectionnée peut avoir de multiples répercussions sur les communications en amenant une diminution du coût des services en place, en les perfectionnant, en assurant une meilleure intégration et un meilleur entretien, etc. et en introduisant de nouveaux services.

La mise en place et l'utilisation généralisée de services nouveaux sont les plus difficiles à prédire parce qu'elles dépendent de nombreux facteurs. Il est manifeste que l'attrait, le prix, les capitaux immobilisés dans les services existants, le consentement de l'utilisateur à les utiliser et à les payer et l'esprit inventif humain sont quelques-uns de ces facteurs. En outre, les méthodes existantes qui se font concurrence ne restent généralement pas statiques. Une technique ou un service nouveau doit rivaliser avec des versions plus anciennes qui bénéficient aussi des perfectionnements d'une technologie récente.

Plan d'étude

L'envergure des activités couvertes par le terme "communications" soulève un problème. Le groupe d'étude ne peut pas utilement passer en revue toutes les réalisations techniques importantes qui apparaissent actuellement. Il est aussi intrinsèquement impossible d'envisager les surprises que réserve l'avenir et qui, nous le savons par expérience, surviennent communément. Le groupe d'étude s'est par conséquent limité à certains domaines d'importance primordiale des communications dans lesquels il est probable que les changements technologiques auront les répercussions les plus marquantes sur notre société. Les points suivants ont été successivement abordés:

- 1) Le milieu futur dans ces domaines, ou plus généralement, les prévisions du groupe d'étude quant aux besoins qui se manifesteront pendant la période de temps envisagée dans l'étude;
- 2) les techniques fondamentales considérées comme les plus importantes dans ces domaines, et ce qu'on peut attendre de leur application pendant les périodes envisagées;

- 3) les répercussions des nouveaux développements technologiques sur les éléments importants de ces domaines des communications;
- 4) les répercussions sur les systèmes ou le degré d'influence des progrès réalisés sur les systèmes ou les domaines considérés;
- 5) les conclusions qui peuvent être tirées des considérations techniques.

Les apports à une étude technique sont nécessairement détaillés. Dans la substance de ce rapport, nous avons par conséquent essayé de mettre en évidence les faits, les tendances et les axes d'orientation principaux.

Les considérations sur l'avenir sont toujours aléatoires; les divers participants ont effectué les leurs d'après leurs points de vue personnels. Pour de nombreuses raisons, il n'est pas possible d'allier ces considérations, et, ainsi qu'il fallait s'y attendre, les participants présentent parfois des vues divergentes sur les tendances et les programmes d'exploitation. En annexes à ce rapport figurent des documents plus complets présentés par des particuliers, des organismes ou des groupes.

Terminologie

Quand des termes spécialisés, techniques ou relatifs aux systèmes sont utilisés, nous avons essayé de les définir au fur et à mesure de leur présentation. Néanmoins, nous avons défini ici quelques-uns des termes essentiels et les plus communément utilisés.

Termes généraux

Les communications désignent généralement la transmission ou l'échange d'information. Au cours de cette étude, ce mot a été généralement préféré au terme télécommunications, qui est plus spécifique et qui est généralement utilisé pour les communications par des moyens électromagnétiques.

Le mot technologie ou technique est le terme généralement appliqué à tous les aspects de la science appliquée ayant un intérêt commercial ou une utilisation prévisible. Dans cette étude, nous parlons de la technologie des communications et des effets qu'ont sur elle les réalisations et les technologies nouvelles. Les nouveautés peuvent appartenir au domaine des composants, aux techniques nouvelles de circuits, à de nouveaux concepts de transmission, à des matériels nouveaux et à des optiques entièrement nouvelles, etc.

Termes de radio

La radiodiffusion désigne la communication unidirectionnelle par propagation électromagnétique dans l'espace, dans le sens restreint de communications de masse.

La diffusion est l'envoi de signaux (comme les communications de masse) directement à des destinataires individuels. Elle peut se rapporter aux systèmes de radiodiffusion définis ci-dessus ou à des systèmes de propagation guidée comme la câblodiffusion (système de télévision à antenne collective, télévision par câble, télédiffusion, etc.)

La distribution consiste à envoyer l'information aux centres de diffusion à partir desquels elle peut être diffusée vers les destinataires.

Termes relatifs aux sociétés exploitantes

- | | | |
|-------------------------------------|---|---|
| Appel interurbain | - | Tout appel en dehors de la région d'appel locale, sujet à une taxe en sus de la taxe mensuelle. |
| Interurbain automatique | - | Capacité de composition directe des appels interurbains. |
| Région d'appel local | - | Comprend tous les téléphones pouvant être atteints moyennant la taxe uniforme mensuelle (sans taxe supplémentaire). |
| Composition abrégée | - | Service permettant d'atteindre certains téléphones en composant des numéros de deux ou trois chiffres. |
| Rappel automatique | - | Capacité de recomposer automatiquement le dernier numéro qui avait été auparavant composé à la main. |
| Appel de conférence | - | Technique permettant d'ajouter des interlocuteurs à une communication normale entre deux postes. |
| Musique par fil | - | Système spécial de distribution de musique sur ligne filaire. |
| Services d'émissions radiophoniques | - | Installations en fréquences acoustiques pour la transmission d'émissions entre radiodiffuseurs. |

- Services d'émissions visuelles - Installations en fréquence vidéo pour la transmission d'émissions entre radiodiffuseurs.
- Visiophone - Téléphone visuel pour communications bidirectionnelles.
- Installations de distribution - Installations de transmission entre abonnés et le central urbain de commutation.
- Installations de réseau - Installations de transmission entre centraux de commutation.
- Central local de commutation - Central de commutation assurant la liaison avec l'abonné.
- Central tandem de commutation - Central de commutation assurant la liaison entre les centraux de commutation.
- Appel extra-régional - Communication entre deux abonnés reliés à des centraux locaux de commutation différents.
- Appel intra-régional - Communication entre deux abonnés du même central local de commutation.
- Signalisation et contrôle - Signaux nécessaires à la sélection et au maintien d'une voie de transmission.

Période envisagée

Cette étude est destinée à couvrir la période de 1970 à 1990. Lorsque des estimations générales du temps de mise en oeuvre (mise en service) sont faites, la période de vingt ans est divisée en quatre intervalles égaux de 5 ans.

2. LE MILIEU FUTUR

Généralités

On a beaucoup écrit sur le nouveau milieu des communications dans lequel une vaste gamme de services nouveaux est devenue techniquement possible. On prévoit non seulement une grande variété de services mais aussi une période d'expansion extraordinaire.

Il est généralement admis que certains de ces services auront des répercussions profondes sur la vie de la famille et de la

collectivité ainsi que sur l'organisation industrielle et commerciale du pays. Il est également évident que le service de télécommunications et les industries de fabrication de ce secteur "doivent assurer l'infrastructure essentielle" sur laquelle repose "l'explosion des communications" ou "l'industrie de l'information".

Le but de ce chapitre est d'évaluer les besoins, les possibilités et les tendances générales du milieu canadien tel que les voient les techniciens engagés dans les domaines les plus importants des communications.

2.1 Le réseau des sociétés exploitantes de télécommunications

Tendances passées et futures

Cette partie du rapport a pour but d'examiner l'évolution passée des services de télécommunications dans le réseau des sociétés exploitantes canadiennes, et de faire des prévisions sur les tendances générales de l'évolution future. Les répercussions particulières de ces tendances sur le réseau des sociétés exploitantes sont traitées dans d'autres études de la Télécommission ainsi que dans le chapitre 5 de ce rapport. Il est évident qu'au cours de la dernière décennie il s'est produit une augmentation marquée du nombre de services acheminés par le réseau ainsi qu'un accroissement constant des nouveaux services offerts aux clients. Par conséquent, quand on examine l'évolution des services de télécommunications au cours des dernières années, il est aussi évident que les méthodes d'exploitation et les besoins actuels du réseau sont sensiblement différents de ceux d'il y a dix ou quinze ans.

Au milieu des années 50, le réseau acheminait essentiellement des services de type phonique (communications phoniques bidirectionnelles de personne à personne) avec une composante secondaire de services plus lents tels que le télégraphe et les systèmes de commande (communications codées de machine à machine). Au cours de la dernière partie de cette décennie, le réseau a été développé pour assurer la transmission des signaux de télévision; autrement dit, pour acheminer un service de communications visuelles unidirectionnelles de personne à personne.

La décennie de 1960 à 1970 a été marquée par le développement de la transmission des données¹, l'accent étant mis sur des vitesses plus grandes qui sont venues compléter les services à vitesse plus faible de la décennie précédente. Vers la fin de la décennie, les plans de mise en service du visiophone² étaient en cours de préparation. Ce dernier service, quand il sera mis en place d'ici quelques années, apportera une dimension visuelle bidirectionnelle supplémentaire à la gamme des communications de personne à personne.

En rétrospective, le champ des communications acheminées par le réseau est passé en 15 ans environ d'une capacité phonique bidirectionnelle à une capacité audio-visuelle³, à laquelle est venue s'ajouter une vaste gamme de services interactifs de machine à machine permettant des vitesses élevées de transfert des données.

Cette tendance au développement de l'espace des communications humaines continuera certainement grâce aux progrès techniques qui se manifestent actuellement dans le domaine de la recherche sur les télécommunications et qui permettront aux sens humains (y compris le toucher, le goût et l'odorat) d'être acheminés électromagnétiquement par les réseaux de communications. Il importe de prendre en considération les divers besoins humains d'interaction avec le milieu car ils sont d'une importance capitale pour les nouveaux moyens de communications. Les possibilités actuelles du réseau assurent déjà des communications phoniques faciles et rapides entre personnes quelles que soient les distances qui les séparent. Ces possibilités sont en perfectionnement constant quant à la qualité des signaux, au temps de mise en communication, etc. L'expansion du champ des communications humaines grâce à de nouveaux dispositifs qui permettront l'action conjuguée des cinq sens constitue le prochain but à atteindre. La possibilité de concevoir et de mettre en marché de tels dispositifs constitue le défi à affronter pour les communications de l'avenir.

Afin de faciliter l'examen et l'analyse ultérieurs de l'évolution des services, on peut diviser les moyens de communications actuellement disponibles en trois catégories. (Il faut reconnaître qu'il existe un danger inhérent à la classification des services car celle que nous concevons aujourd'hui ne représentera pas vraiment celle de demain). Ces trois catégories sont:

- 1) Les services téléphoniques
- 2) Les services visuels
- 3) Les services de données

Le premier groupe, la catégorie téléphonique, comprend le service téléphonique ordinaire (communications phoniques de personne à personne) dans lequel une personne parle à une autre au moyen d'une liaison fixe, ainsi que les services téléphoniques auxiliaires comme les appels de conférence, les messages enregistrés, les appels d'assistance, etc.

Cette catégorie de services a sensiblement évolué au cours de la dernière décennie grâce à la mise en service de l'interurbain automatique et de diverses sortes de dispositifs terminaux, et à l'amélioration de la qualité de la transmission. D'une manière générale, ces changements sont cependant relégués au second plan

par l'introduction et le développement de services spécialisés tels que les communications directes entre machines.

On entrevoit pour l'avenir une évolution du perfectionnement et de la complexité des services de type téléphonique. La gamme des changements attendus se présente ainsi:

- Nouveaux types perfectionnés d'équipement terminal d'utilisation plus facile pour l'utilisateur.
- Amélioration de l'aspect extérieur des appareils.
- Plus grande souplesse d'utilisation. Appareils sans cordon, ne nécessitant pas l'usage des mains, portatifs, etc.
- Amélioration de la reproduction de la voix.
- Extension des régions d'appel local actuelles pour satisfaire les besoins de communication croissants des usagers.
- Communications bidirectionnelles de type mobile grâce à des services de téléappel améliorés.
- Orientation vers une facturation par message pour le service local.
- Accès à divers types d'annonces et de services d'information.
- Mise en service de la composition abrégée, du rappel automatique, des appels de conférence et d'autres services de commutation.
- Transmission de musique stéréophonique et haute-fidélité.
- Radiodiffusion en studio.
- Distribution d'émissions radiophoniques et de musique par fil.

Le deuxième groupe comprend les services assurant l'émission et la réception des images.

Par exemple:

- Le visiophone
- La télévision de réseau et la télévision privée comprenant les services éducatifs, l'enseignement programmé, etc.
- Les représentations graphiques.

Les conférences audio-visuelles.

C'est dans ce domaine que l'évolution des services se révèle captivante pour l'imagination. Elle permet d'entrevoir une ère nouvelle dans les communications à distance de personne à personne. L'établissement progressif du visiophone comme moyen ordinaire de communications remplaçant le service téléphonique actuel permet d'envisager une implantation relativement facile de nombreux autres services à large bande. C'est également un domaine dans lequel les technologies sont actuellement en évolution, où les exigences de service sont relativement mal définies et dans lequel des changements considérables du réseau de communications existant seront nécessaires avant que le grand public puisse en bénéficier. C'est en outre un champ d'action où les progrès et les techniques nouvelles joueront un rôle critique dans la présentation au public d'une nouvelle dimension venant s'ajouter à l'espace collectif des communications d'aujourd'hui. C'est assurément un domaine aux possibilités de perfectionnement immenses pour les communications; il est aussi ouvert aux innovations, à la connaissance technique et au développement de débouchés commerciaux de tous ordres.

A ce point du développement des communications visuelles, il semblerait que le passage du service privé au réseau commuté pose des problèmes d'une ampleur jusqu'ici inconnue pour l'industrie des communications; il présente aussi la possibilité d'une expansion très importante à court et moyen termes (c'est-à-dire dans la prochaine décennie).

Par souci de clarté, le troisième groupe, la catégorie de la transmission des données, nécessite une définition. Dans le domaine des télécommunications, on peut définir les données comme de l'information sous forme électromagnétique. Il en résulte que toutes les formes de télécommunications: téléphoniques, visuelles et de machine à machine, peuvent être considérées comme des données. Néanmoins, les communications de données désignent généralement la transmission d'information codée entre machines. Dans ce domaine, on utilise les services de machine à machine dont le nombre et la diversité des besoins se sont rapidement accrus au cours de la dernière décennie. Ces services exigent une très haute qualité de transmission, l'utilisation de techniques nouvelles et une souplesse de gestion des affaires afin de garantir un degré élevé de qualité et de fiabilité à la clientèle. L'ère des communications de données a sans aucun doute apporté une nouvelle ramification à un réseau qui était auparavant orienté vers la téléphonie. C'est un domaine dont la portée s'accroît considérablement, et qui exige un perfectionnement continu des installations pour saisir des possibilités d'expansion sans cesse accrues et satisfaire les besoins de la clientèle.

Perspectives d'exploitation

A l'heure actuelle, les services téléphoniques acheminés par le réseau absorbent la plus grande part du capital et des ressources de main-d'oeuvre disponibles pour l'entretien et le développement des installations en place. Cependant, la technologie associée à la mise en place et à l'entretien de ces services est bien organisée (transmission, commutation, comptabilité, facturation, essai et entretien des installations). Dans ce domaine, la tendance sera pour l'avenir de perfectionner, d'améliorer et de diversifier, tandis qu'on attend des innovations plus spectaculaires dans les domaines des communications visuelles et de la transmission des données.

Contrairement à la demande de services téléphoniques, le marché des moyens visuels est resté très limité; il s'est développé lentement dans des zones géographiques bien déterminées et suivant un concept de réseau commuté d'abonnés. Par conséquent, on s'attend à ce que l'augmentation de l'offre dans le domaine visuel porte l'attention sur des concepts de services par systèmes qui feront naître des besoins d'innovations technologiques dans la commutation des réseaux, une diversité de caractéristiques pour les besoins collectifs et individuels ainsi que des services dispensés au moyen d'une vaste gamme d'installations, etc. Jusqu'à présent, la prestation de services visuels a imposé l'utilisation d'un matériel spécial qui à son tour requiert un entretien spécial, une administration spéciale ainsi que des normes de fonctionnement rigoureuses. La faible demande et les prix relativement élevés des services visuels représentent l'épreuve à surmonter pour les techniques naissantes et futures. La conception de nouveaux moyens à prix réduit, et la création d'un réseau d'installations assurant des économies inhérentes à son importance, assureront un accroissement de la demande.

A court et à moyen termes, on peut s'attendre à un développement et à une adaptation du réseau de communications en vue de faciliter l'introduction des services suivants:

- Visiophone
- Conférences par télévision
- Télévision éducative
- Divers services pour l'utilisateur amenés par la télévision collective pour les réunions d'affaires et de commissions, les réunions politiques et la formation médicale à distance.

La mise en place de ces services nécessitera de nombreux développements techniques orientés vers l'intégration plus

poussée des moyens visuels dans l'ensemble du réseau, vers la réduction de la spécialisation en matière de commutation, vers la facilité d'entretien et l'uniformisation de la qualité des services. Tel est le cas du réseau téléphonique actuel dans lequel les installations communes, à la fois de ligne et de commutation, acheminent un trafic très important entre des points très éloignés, avec une qualité uniforme de service et d'entretien afin de réaliser des économies grâce à l'utilisation à grande échelle. En résumé, on aura besoin de nouvelles réalisations techniques pour assurer, à divers degrés de définition, la distribution sur réseau commun des communications visuelles.

A plus long terme, on prévoit que les services visuels tels que le visiophone, les dispositifs graphiques de communications, les dispositifs de représentation tridimensionnelle, les services de recouvrement graphique et numérique (tels ceux qui permettent l'accès aux bibliothèques, aux services d'information éducative, aux banques, etc.) seront mis à la disposition du grand public aussi bien dans les foyers que dans les bureaux. La technologie devra satisfaire économiquement les besoins de moyens visuels dans les régions reculées ainsi que dans les zones urbaines. Aujourd'hui, la demande d'installations permettant des communications visuelles existe principalement pour les services entre les grandes zones métropolitaines et à l'intérieur de ces zones.

Dans la transmission des données, on prévoit que le rythme de croissance rapide observé au cours des dernières années va continuer. Par conséquent, le nombre de services offerts ainsi que le nombre d'utilisateurs de chaque service augmenteront. A court terme, il semble qu'on aura besoin d'installations à large bande et d'autres installations de qualité téléphonique et au-dessous afin de dispenser toute la gamme des services possibles qui sont envisagés aujourd'hui. Déjà, les besoins individuels et ceux de groupes importants se font sentir comme l'illustrent d'une part, le service de lecture des compteurs à domicile et, d'autre part, le service de commutation de messages pour les données récemment établi. Dans le développement de nouveaux services de transmission des données, on devra assurer en priorité diverses vitesses de transmission, réduire les délais de connexion et s'occuper de la commutation des messages, de la commutation des lignes, du recouvrement ultérieur, des opérations de mise en mémoire et d'acheminement, de la transmission unidirectionnelle et des services à bande sélective.

On s'attend à ce que l'application future des services de transmission des données soit dirigée vers le monde des affaires à court et moyen termes, et progressivement vers le grand public à moyen et long termes.

Au cours des cinq prochaines années, on estime que les services de banques de données deviendront de plus en plus intéressants pour les établissements financiers, les maisons d'enseignement, les médecins (diagnostics et ordonnances) et les entreprises commerciales (dossiers du personnel, stocks, comptabilité, feuilles de paye, etc.). C'est dans ce domaine que les services d'utilisation collective d'ordinateurs en temps partagé devraient jouer un rôle important: recouvrement de l'information, commutation des messages et exploitation en duplex.

De 1975 à 1985, une gamme complexe de services individuels pourrait se développer et favoriser l'expansion des communications de données. Ces services comprennent:

- Le fac-similé⁴ pour les répertoires immobiliers, les services de placement, les renseignements commerciaux et de vente, le codage de documents techniques, les services éducatifs, etc.
- Les services d'ordinateur en temps partagé pour l'assistance professionnelle et intellectuelle
- La traduction
- L'enseignement
- La recherche littéraire
- Le contrôle de la circulation
- L'aide dans les opérations de calcul
- Les travaux d'analyse et de conception
- La lecture des compteurs
- La télécommande des appareils ménagers
- Les services d'alarme automatiques
- Les opérations bancaires, le paiement des factures et la gestion budgétaire
- Les dispositifs de communication graphique
- Les services d'impression ou de reproduction
- Les additionneuses télécommandées, accessibles au moyen du téléphone à clavier
- Les services de reconnaissance de la voix

De 1980 à 1990, on prévoit l'expansion continue des communications de données par la mise en place d'une gamme étendue de services accessibles au grand public, peut-être au moyen de mini-ordinateurs ménagers.

2.2 La radiodiffusion

Au cours des deux prochaines décennies, on prévoit que de nombreux facteurs variés et interdépendants influenceront le système de radiodiffusion tel que nous le connaissons maintenant.

Il faut d'abord considérer les montants, provenant des fonds publics et de la publicité, qui seront consacrés à la radiodiffusion. Ces montants sont indiqués dans le Tableau 1

pour la période de 1962 à 1968. Des extrapolations fondées sur ces données seraient sujettes à caution. Par exemple, les effets de la fragmentation des auditoires due à la câblodiffusion sont difficiles à évaluer. La disponibilité de ces montants influera sur l'expansion future des services des stations privées de télévision (deuxième service). Ces services atteignent aujourd'hui 75% de la population anglophone et 60% de la population francophone du Canada. Il est très important de desservir les localités encore dépourvues de radio ou d'un service primaire de télévision ou des deux (voir le Tableau 1). Etant donné la faible importance de ces localités, chaque nouvel émetteur n'augmente que de très peu le nombre de personnes desservies tandis que les frais d'installation et d'exploitation sont relativement élevés. L'installation de stations de télévision dans la langue seconde dépendra de la disponibilité des fonds publics.

Régions desservies par Radio-Canada (radio et télévision)
Réseaux anglais et français et total - 31 mars 1969

	<u>Population anglophone</u>		<u>Population francophone</u>		<u>Population totale</u>	
	16,820,000		6,520,000		21,020,000	
	<u>Population desservie par le réseau anglais</u>		<u>Population desservie par le réseau français</u>		<u>Population desservie par les deux réseaux</u>	
	<u>Nombre</u>	<u>Pourcentage du total</u>	<u>Nombre</u>	<u>Pourcentage du total</u>	<u>Nombre</u>	<u>Pourcentage du total</u>
Radio (AM)	16,570,000	98.5%	6,310,000	96.8%	20,780,000	98.9%
Télévision	16,050,000	95.4%	5,850,000	89.7%	20,360,000	96.9%

REMARQUE : Les statistiques s'appliquent aux régions desservies (radio, service de jour; télévision, services A et B) par toutes les stations de Radio-Canada et les stations affiliées en service ou en passe d'être approuvées par le bureau des gouverneurs de la radiodiffusion, avant le 1^{er} avril 1968.

Source : Rapport annuel de la Société Radio-Canada, 1968-1969.

Le budget d'exploitation de la Société Radio-Canada se ressentira de la généralisation de la télévision en couleur. Pour le moment, 65 p.100 des émissions de la Société Radio-Canada sont en couleur. Il est important de remarquer que la méthode actuelle de distribution de la radio et de la télévision sur les ondes est la plus économique.

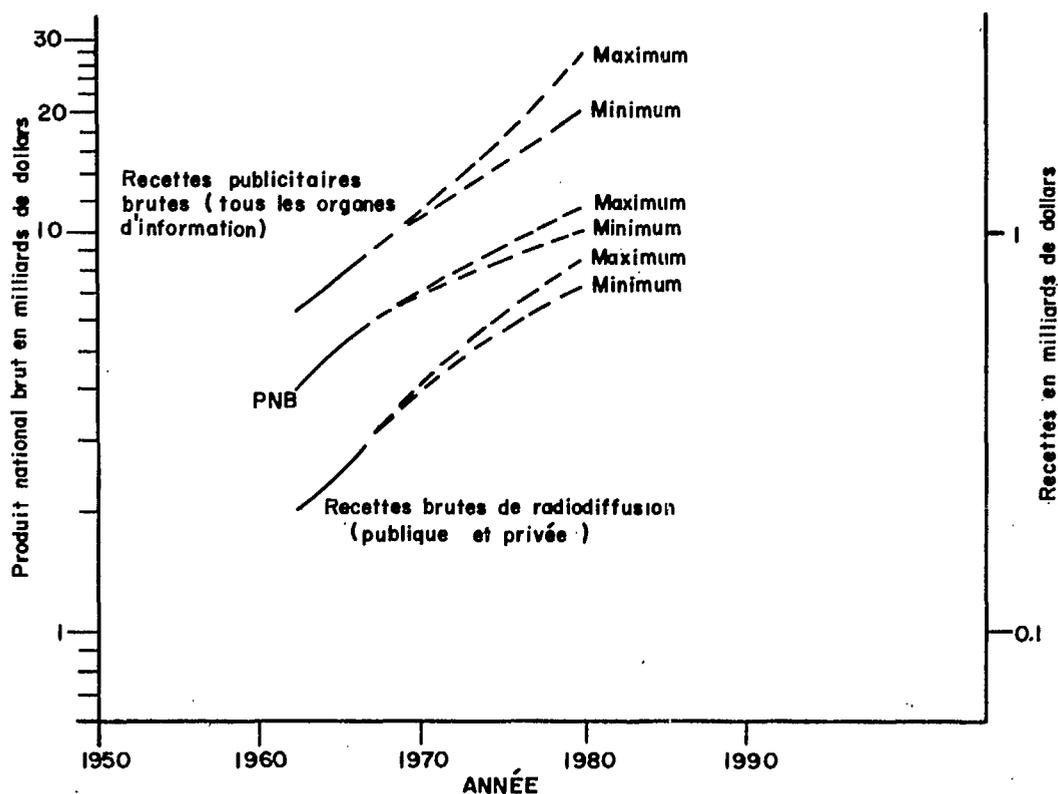


Fig.1 Recettes en dollars

Source: BFS; Rapport annuel de Radio-Canada

Deuxièmement, il faut considérer la croissance démographique et les mouvements de population. L'exode vers les villes est un fait connu. Cependant, si un projet aussi original que le Corridor central canadien voyait le jour, on ne peut être sûr que les mouvements de population actuels resteront les mêmes. Il s'ensuivra une évolution des besoins.

En troisième lieu, viennent les changements technologiques traités au paragraphe 5.3 ci-dessous. Les développements technologiques nouveaux qui pourraient avoir des répercussions importantes sur la radiodiffusion dans les vingt prochaines années sont les systèmes de distribution par câble, les systèmes ménagers de reproduction audio-visuelle, les satellites spatiaux et les dispositifs électroniques à semi-conducteurs. Ces technologies nouvelles amèneront une plus grande diversification des services et des émissions qui auront des prix suffisamment bas et une qualité suffisamment élevée pour créer de nouveaux marchés de masse.

En quatrième lieu viennent les facteurs sociaux et politiques. Un deuxième service de télévision dans les régions qui n'en sont pas encore dotées devient de plus en plus difficile et de plus en plus coûteux à établir à mesure que les zones desservies s'étendent. L'expansion du deuxième service dépendra davantage de facteurs politiques que de facteurs économiques. L'expansion des systèmes de distribution par câbles en dehors des zones où ils sont présentement établis dépend plus de la politique concernant les micro-ondes du Conseil de la radio-télévision canadienne que des facteurs économiques. A longue échéance, l'expansion de ces systèmes dépend des besoins de services supplémentaires du public, services que seuls ces réseaux peuvent fournir. Un futur service de câblodiffusion pourrait, par exemple, comprendre 20 canaux de télévision ou plus avec des canaux distincts pour l'enseignement, les affaires locales et l'information; il pourrait aussi donner des reproductions en fac-similé du courrier de première classe.⁵ L'avenir de la radiodiffusion par propagation électromagnétique dans l'espace telle que nous la connaissons maintenant sera finalement déterminé par la faveur que le public accordera aux avantages particuliers qu'elle offre. Elle pourrait, par exemple, desservir les personnes en déplacement, les régions rurales, et constituer un service gratuit pour ceux qui ne peuvent payer les frais d'abonnement à un service de câblodiffusion. Il ne semble pas possible de fournir un nombre élevé de canaux de télévision (20 ou plus) à la plupart des téléspectateurs par les moyens normaux de radiodiffusion sur les ondes à cause de la nature du système actuel de stations de radiodiffusion et de l'encombrement du spectre. Un exemple de problème politique auquel on pourrait avoir à faire face dans un avenir rapproché serait le suivant: le premier satellite national prévu, combiné à un réseau de transmission par câble, permettrait l'établissement d'un service de télévision en français à

Vancouver avant que Radio-Canada ne soit prête à y installer un émetteur. Dans ce cas, les téléspectateurs de Vancouver désirant voir la télévision en français devront-ils être obligés de payer des frais d'abonnement à un service de câblodiffusion?

En cinquième lieu, il faut considérer les dépenses de consommation engagées pour l'achat de récepteurs de radiodiffusion et l'obtention de services connexes. La Figure 2 indique le nombre de ménages qui possédaient des récepteurs de radiodiffusion entre 1952 et 1968. La Figure 3 indique le nombre de récepteurs de radio et de téléviseurs en service au cours de cette période. La Figure 4 indique les dépenses de consommation pour les récepteurs au cours de chaque année de 1963 à 1968. Les prévisions concernant l'expansion future sont risquées à cause de l'augmentation possible d'autres dépenses de consommation (automobiles, vacances, distractions). En outre, de nouveaux développements dans la technologie des communications offrent la perspective d'une vaste gamme de services nouveaux que le public n'est peut-être pas disposé à payer. Cela a pour effet de rendre les prévisions encore plus difficiles. A l'heure actuelle, environ 1,000,000 de ménages canadiens paient de \$5 à \$6 par mois pour être abonnés à un service de câblodiffusion. Les recettes brutes de ces services s'élèvent à 60 ou 70 millions de dollars par an. On a suggéré⁵ qu'une "grille nationale" de réseaux de câblodiffusion pourrait remplacer le courrier de première classe, réduire les déplacements et produire une plus grande proportion du produit national brut que ne le fait aujourd'hui la radiodiffusion. Dans un avenir prévisible, les dépenses de consommation apporteront probablement une contribution considérable à:

- (i) l'expansion des réseaux de câblodiffusion,
- (ii) l'augmentation du nombre de ménages possédant plusieurs récepteurs,
- (iii) l'augmentation du nombre de ménages possédant la télévision en couleur,
- (iv) l'augmentation du nombre de ménages possédant la radio FM,
- (v) l'augmentation du nombre de ménages possédant des appareils de reproduction audio-visuelle.

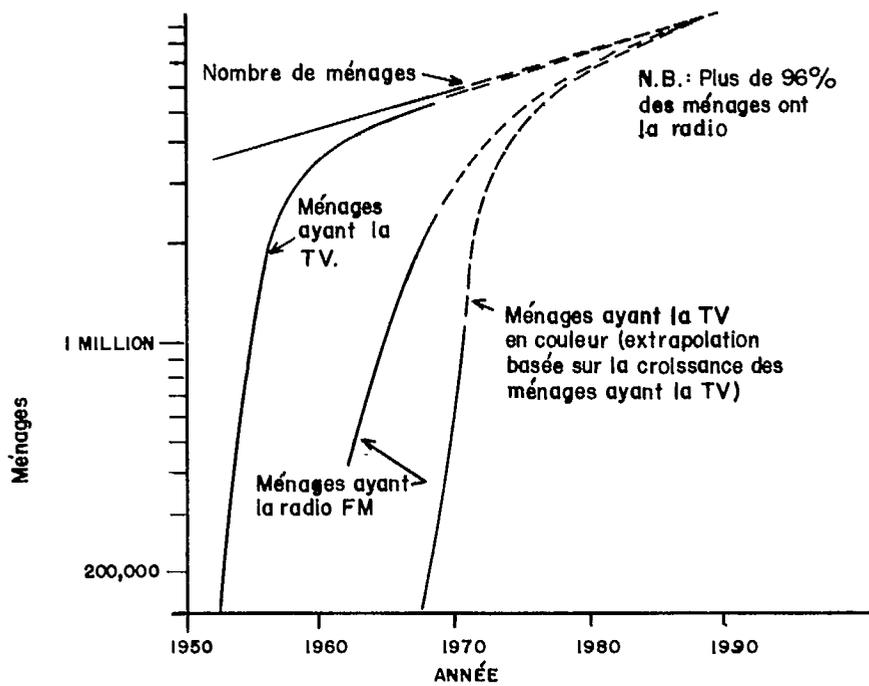


Fig. 2. Les récepteurs dans les ménages

Sources: B. F. S.
 Conseil économique du Canada
 Rapports annuels de Radio-Canada
 Les industries électroniques du Canada

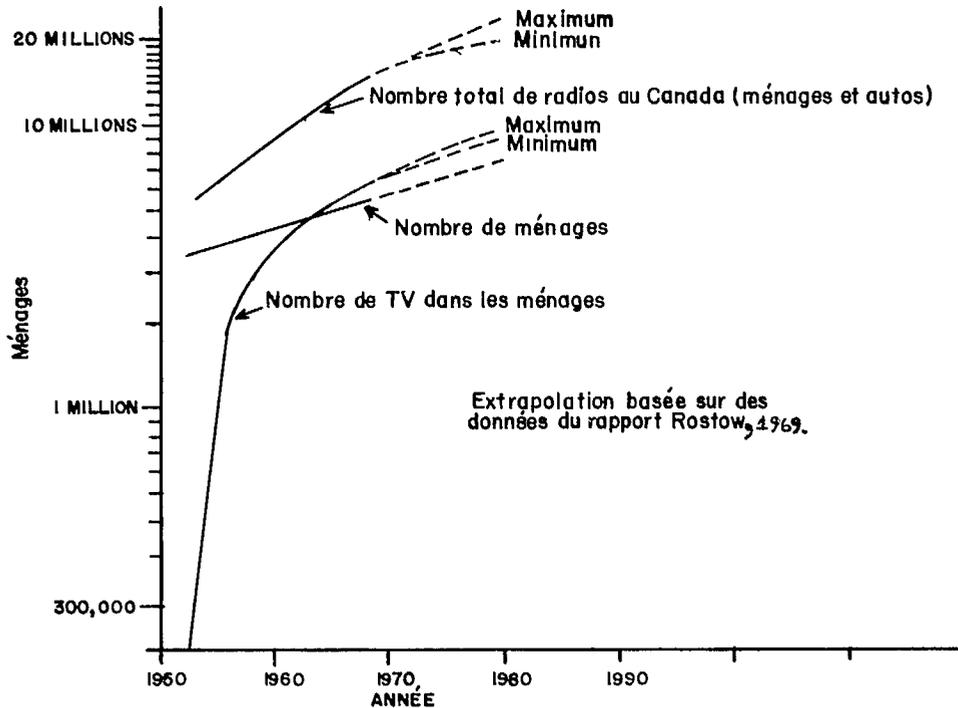


Fig. 3 Nombre total de récepteurs de radio et de télévision

Sources: Conseil économique du Canada
 Enquête A.C. Nellson
 B. F. S.

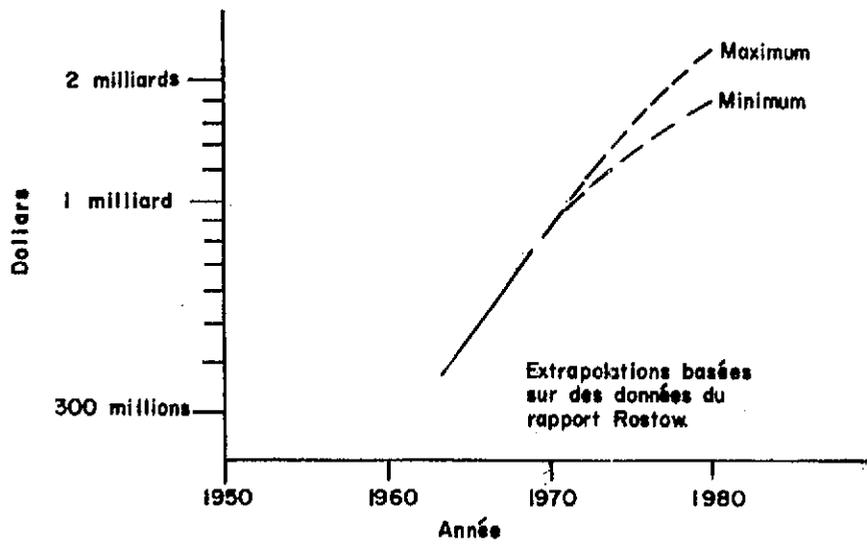


Fig. 4 Dépenses de consommation en récepteurs de radio et de télévision

Source: Canadian Electronics Engineering

Remarque: Ventes en usine, en dollars multipliées par 3.

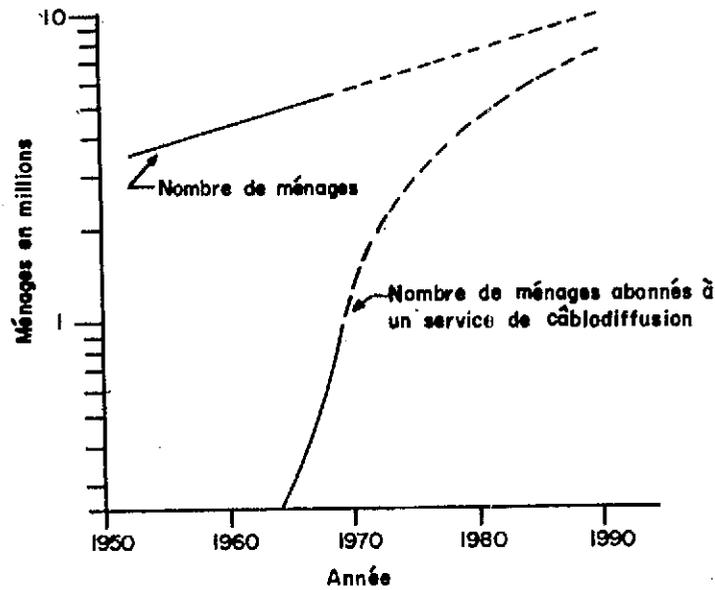


Fig. 5 Croissance de la câblodiffusion

Sources: CRTC
Enquête A. C. Neilson

2.2.1 Les systèmes de télévision à antenne collective (TVAC)

La récente croissance spectaculaire des systèmes de TVAC justifie une mention spéciale. La Figure 5 montre l'augmentation du nombre d'abonnés aux systèmes de TVAC au Canada entre 1964 et 1969. Aujourd'hui, 19% des émissions de télévision au Canada sont acheminées au moyen du câble.

Le Tableau 2 indique par province le nombre de téléspectateurs qui regardent des émissions distribuées par câble au cours d'une semaine moyenne de mars 1969.

TABLEAU 2
La TVAC pendant une semaine moyenne

	<u>Téléspectateurs</u>	<u>Pourcentage</u>
Canada	3.10 millions	15.9
Terre-Neuve	1,000	0.2
Ile-du-Prince-Edouard	-	-
Nouvelle-Ecosse	5,000	0.7
Nouveau-Brunswick	46,000	7.8
Québec	890,000	15.8
Ontario	1,293,000	18.7
Manitoba	46,000	5.2
Saskatchewan	22,000	2.5
Alberta	46,000	3.3
Colombie-Britannique	746,000	39.8

Source: Service de recherche de Radio-Canada; 2e rapport sur la TVAC, octobre 1968.

L'augmentation du nombre d'abonnés aux systèmes de TVAC n'est cependant pas uniforme dans tout le pays. A London (Ontario), 76% des téléviseurs sont connectés à ces systèmes, tandis qu'à Chatham (Ontario), il n'y en a que 14%. L'attrait principal de la câblodiffusion est dû sans aucun doute au désir des téléspectateurs anglophones de recevoir les émissions des stations américaines et au désir des téléspectateurs francophones de recevoir les émissions des stations de Montréal. C'est pour cette raison que le principal foyer d'expansion des systèmes de télévision à antenne collective se trouve dans les régions méridionales du Québec, de l'Ontario et de la Colombie-Britannique. Si le Conseil de la radio-télévision canadienne autorisait l'importation par micro-ondes des émissions des réseaux américain au delà des villes de la bande frontalière, on pourrait s'attendre à ce que les systèmes de TVAC soient mis à la

disposition de toutes les villes canadiennes de 10,000 habitants ou plus avant la fin de la prochaine décennie. Le Tableau 3 indique que les systèmes de télévision à antenne collective seraient alors à la disposition de 9 millions de téléspectateurs en dehors du Québec et de 3.8 millions d'autres au Québec, soit un total possible de 12.8 millions de téléspectateurs. Cette évolution aurait des répercussions profondes sur le système actuel de stations de radiodiffusion dont le rôle se transformerait pour satisfaire principalement les régions rurales et les personnes en déplacement.

TABLEAU 3
Population urbaine et rurale du Canada en 1966

	<u>Population en millions</u>		
	<u>Hors du Québec</u>	<u>Au Québec</u>	<u>Total</u>
Villes de 10,000 habitants et plus	9.0	3.8	12.8
Villes de 1,000 à 10,000 habitants	1.7	0.6	2.3
Régions rurales	4.0	1.3	5.3
TOTAL	14.7	5.7	20.4

Source: Annuaire du Canada, 1968.

Les fonds affectés à la radiodiffusion seraient alors partiellement détournés vers les systèmes de TVAC, surtout si comme aux Etats-Unis (à partir de janvier 1971) on autorise la publicité sur ces systèmes de télévision. On s'attend à ce que les demandes de production d'émissions augmentent à mesure que s'accroissent le nombre et l'utilisation des services de câblodiffusion. Il est probable qu'une proportion croissante des émissions sera transmise directement par câble plutôt que par les ondes.

La combinaison satellite-câblodiffusion s'avère particulièrement prometteuse comme moyen d'établissement d'une "grille nationale" de réseaux de câblodiffusion pouvant desservir toutes les agglomérations canadiennes quelle que soit leur importance.

2.3 Les communications mobiles

Les communications électromagnétiques avec les véhicules en déplacement sont d'abord apparues dans le domaine maritime. Depuis, les communications mobiles sont devenues un auxiliaire indispensable de l'activité terrestre, aérienne et maritime.

Les types de communications vont de la transmission manuelle en morse à la transmission des données à grande vitesse, en passant par la téléphonie et la télévision. Maintenant, les appareils de communications portatifs comprennent aussi des dispositifs directionnels à laser et à fréquences millimétriques.

Les progrès de la technologie, des techniques, des systèmes de données, etc., sont applicables au domaine mobile. Ils permettent d'envisager la possibilité de services très avancés et perfectionnés ainsi que de nouveaux concepts de systèmes.

2.3.1. Communications mobiles maritimes

Les communications maritimes sont étroitement liées à la navigation, au contrôle de la circulation et aux services d'exploitation maritime. On estime que les progrès techniques porteront sur les domaines essentiels suivants:

- Avertissement automatique d'abordage
- Contrôle d'approche de la circulation
- Communications navires-terre
- Communications de passerelle à passerelle
- Détermination de la précision des relèvements

Pour les 15 à 20 prochaines années, les divers types de communications navires-terre seront assurés par propagation ionosphérique et par ondes de sol.

L'expansion des services de correspondance publique continuera de telle sorte que la plupart des navires situés à moins de 60 milles du sol canadien pourront communiquer en VHF. Il y aura alors des voies pour la radiotéléphonie, les radiotéléimprimeurs et pour la transmission des données. Tous les grands ports canadiens auront un service radiotéléphonique de renseignements sur la navigation.

Durant la période de 1970 à 1975, on procédera à l'installation de systèmes de surveillance de zone munis de radiophares répondeurs pour le contrôle de la circulation maritime (probablement sur le fleuve Saint-Laurent d'abord). Des radiophares répondeurs maritimes seront installés (jusqu'à 10 par an entre 1970 et 1980) de façon à couvrir toutes les eaux côtières canadiennes. On procédera également à l'installation de radars portuaires et de liaisons connexes à micro-ondes pour recueillir les données.

Entre 1975 et 1980, on disposera d'un canal VHF ou UHF réservé à la transmission par satellite des cartes météorologiques et des cartes des glaces.

Les services de communications maritimes arctiques seront développés et améliorés. En particulier, dans la région de

l'Arctique le service de renseignements météorologiques et de données sur les glaces par fac-similé en haute fréquence sera étendu.

L'élimination de l'intervention humaine directe est une des raisons primordiales de l'introduction de nouveaux progrès technologiques par les compagnies maritimes. Elle constitue un facteur puissant qui préside à la mise en service de nouvelles techniques comme l'appel sélectif⁶, l'impression directe, l'avertissement automatique d'abordage, l'accès automatique au télex et l'AQR.⁷

L'utilisation de fréquences de l'ordre du gigahertz avec des antennes à orientation automatique pour les communications à portée optique entre navires et pour le contrôle de la circulation maritime etc. est appelée à se développer rapidement.

Les systèmes de communications par satellites géostationnaires révolutionneront les communications maritimes, la navigation et les relèvements. Ils amélioreront le service, la sûreté de fonctionnement, la précision et la portée des signaux. S'ils ont pour résultat d'épargner une journée de navigation à de gros navires, les économies seraient déjà considérables. Cependant, l'utilisation du spectre posera des problèmes ardues. Il faudra probablement établir des systèmes de liaison entre les stations côtières. Les conditions internationales actuelles indiquent que la mise en exploitation de systèmes de satellites pour l'usage maritime sera lente. Ce service ne sera pas disponible avant la décennie de 1980 à 1990. D'une manière générale, ces systèmes seront sans intérêt pour les petits navires.

Les travaux de prospection et de production au large pourraient fournir une impulsion considérable au développement des systèmes de communications maritimes par satellite à cause de la nécessité de déterminer précisément les positions. Les satellites sont particulièrement intéressants pour la localisation à grande distance de la côte et pour la vérification périodique des systèmes à portée moyenne qui sont sujets à des erreurs de propagation causées par les glaces, etc.

2.3.2 Communications mobiles aériennes

Historique

A l'origine, les communications radio air-sol servaient à vérifier la route des avions en vol et à donner des instructions de décollage et d'atterrissage. L'augmentation rapide de la circulation aérienne (particulièrement de type commercial) et des vitesses de vol au cours des 30 dernières années a exigé l'accroissement des communications phoniques par d'autres moyens. Des méthodes plus complexes de navigation et de détermination des

positions ont accéléré l'évolution des aides radio à la navigation. Ces aides, qui au départ n'étaient que le complément des communications phoniques, sont devenues elles-mêmes des facteurs dominants. On dépend de moins en moins des communications phoniques et de plus en plus du transfert à grande vitesse de données codées.

De nouveaux systèmes plus complexes de navigation, d'enregistrement et de contrôle sont et seront mis en service. Ils provoqueront une augmentation importante des besoins de transfert de renseignements de tous genres.

Besoins prévisibles

Au Canada, comme partout dans le monde, l'avion est le moyen de transport dont l'expansion est la plus rapide. Des études récentes menées aux Etats-Unis et au Royaume-Uni indiquent que l'activité aérienne de 1968 aura au moins doublé en 1980 et quadruplé en 1995. Cela signifie que les avions devront décoller, voler et atterrir en ordre beaucoup plus serré. Ceci contredit le fait qu'en raison de leur taille et de leur vitesse accrues les avions devraient pour des raisons de sécurité voler en ordre plus espacé. La seule solution susceptible de remédier à cet état de choses est une augmentation considérable de la précision, de la sécurité de fonctionnement et de la vitesse de réponse du matériel de communications et de navigation utilisé par ces avions.

Le besoin de systèmes terrestres d'atterrissage aux instruments continuera à se faire sentir. Il faudra cependant en améliorer la précision pour pouvoir faire face à la densité accrue de la circulation aérienne.

Les systèmes de navigation en vol devront être assurés à l'avenir par un matériel complexe à programmation automatique.

Des systèmes anti-collision sont requis afin d'assurer une meilleure sécurité en vol.

On procède actuellement à des recherches sur les possibilités de réalisation de systèmes de navigation par satellite. Les recherches ont pour but d'établir un système unifié de communications, de navigation et d'identification. Un tel système ne pourrait probablement pas être mis en service avant la période 1980 à 1985.

Il y a actuellement une demande croissante d'accès au réseau des sociétés exploitantes pour des communications téléphoniques privées. Un tel accès permettrait à tout particulier de communiquer avec son bureau ou sa maison à partir d'un avion privé ou commercial.

Les besoins de services auxiliaires en divers lieux qui seraient reliés avec le matériel de navigation ou de localisation des avions ajouteront au fardeau du réseau terrestre de communications. Cela est également vrai du point de vue de la gestion et du contrôle, de l'acheminement des réservations, de la prise en charge des passagers, des bagages et du fret, de la transmission des données météorologiques, etc.

2.3.3 Communications mobiles terrestres

Historique

L'expansion des services mobiles terrestres au Canada s'est essentiellement faite parallèlement à celle des Etats-Unis. Il s'est produit un certain retard dans l'adoption de quelques genres de services à cause des différences de besoins et de réglementation entre les deux pays. Les premiers usagers de ce type de communications ont été les organismes chargés de faire respecter la loi. Les premiers systèmes ont fonctionné sur la bande HF. Les communications ont d'abord été unidirectionnelles puis bidirectionnelles. Leur entrée en service avait eu lieu dans les années qui ont immédiatement précédé la Seconde Guerre mondiale. Après la guerre, des possibilités d'utilisation plus étendue des services mobiles terrestres se manifestèrent. Les progrès rapides du matériel utilisé dans la section VHF du spectre amenèrent une utilisation plus générale en permettant des attributions de fréquences plus nombreuses.

Comme nous l'avons dit ci-dessus, les organismes chargés de faire respecter la loi ont été les premiers usagers des systèmes mobiles terrestres. Ces systèmes sont maintenant utilisés dans l'exploitation des services de taxi, dans les services publics, l'industrie du bâtiment, les mines, etc. Leur application s'étend aussi au matériel portatif de téléappel et d'avertissement. Pour leur part, les sociétés exploitantes ont dû agrandir leur réseau de communications pour l'adapter aux exigences du matériel portatif et du matériel du service mobile terrestre.

Selon le Canadian Radio Technical Planning Board, le taux d'augmentation du nombre des licences dans le service mobile terrestre a été d'environ 15% par an. Cet organisme a estimé que le nombre d'unités mobiles en service à la fin de 1968 était d'environ 100,000, et que pour cette même année le chiffre d'affaires des entreprises de matériel mobile terrestre au Canada s'élevait à environ 17 millions de dollars.

Besoins prévisibles

L'amélioration des communications mobiles découle de l'accroissement des systèmes en place grâce à une technologie nouvelle ou à des systèmes d'information nouveaux ou aux deux à

la fois. Il est impossible d'évaluer avec précision les répercussions qu'auront les nouveaux systèmes et techniques d'information. On peut cependant prévoir les besoins et les relier aux possibilités technologiques connues.

Les domaines d'information qui sont considérés comme importants dans les communications mobiles comprennent:

- La communication de documents (en clair)
- L'information sur la position des véhicules
- Le contrôle de l'état des véhicules
- L'accès aux ordinateurs à partir de véhicules
- Les dispositifs portatifs et mobiles de signalisation et d'alarme
- Les systèmes visuels mobiles

Chacun de ces domaines implique une capacité de communication supplémentaire et une augmentation correspondante des besoins de fréquences radioélectriques. Chacun d'eux présente un caractère générique, et est en tant que tel applicable à des degrés divers à toutes les catégories principales des communications mobiles terrestres. On peut s'attendre à ce qu'ils soient tous d'un usage courant au cours de la prochaine décennie.

Il faut ajouter à cela les nombreux problèmes non résolus des communications mobiles. On peut citer comme exemples les aides radio aux automobiles en difficulté, les systèmes de surveillance et d'orientation pour les urgences médicales et les moyens de contrôle et de surveillance de la pollution de l'air et de l'eau. A mesure qu'on trouvera des solutions à ces problèmes et qu'on les mettra en application, le spectre des fréquences deviendra plus encombré. Il faut donc planifier l'expansion si on compte bénéficier des avantages offerts par ces services.

Le développement des communications mobiles aura des répercussions considérables sur le spectre des fréquences. Les besoins dans ce domaine peuvent être sans commune mesure avec ceux des systèmes phoniques d'aujourd'hui. A mesure qu'on apportera des solutions aux problèmes des communications mobiles, il faudra s'attendre à une augmentation notable du nombre de véhicules et de personnes équipés de dispositifs de radiocommunications. On pense que le taux d'expansion futur sera beaucoup plus important que le taux actuel.

2.4 Traitement et mise en mémoire des données

Les tendances opposées

L'avenir du problème du traitement et de la mise en mémoire des données est directement lié à la répartition future du travail mécanographique entre les diverses catégories

d'ordinateurs. A l'heure actuelle, nous nous trouvons notamment en face de deux tendances opposées. L'une est orientée vers le mini-ordinateur, qui à la limite aura la forme d'une boîte qui pourra être déposée sur le bureau ou logée dans la poche. L'autre tendance va vers le super-géant, doté d'une capacité énorme de mémorisation, d'une vitesse de calcul très élevée et probablement de plusieurs centaines de postes terminaux satellites dispersés dans le pays. Les besoins de communications de ces deux extrêmes sont certainement très différents. Il est par conséquent important d'envisager les avantages et les inconvénients de chacun afin de prédire les conditions probables que l'on rencontrera au cours des deux prochaines décennies.

Avantages et inconvénients des ordinateurs géants

Un très grand service central de téléinformatique présente certainement de nombreux avantages, qui sont cependant accompagnés de nombreux inconvénients. Une estimation de l'orientation probable de notre industrie du traitement des données doit prendre en considération les caractéristiques, bonnes et mauvaises, de tous les systèmes possibles.

Il faut tout d'abord bien comprendre qu'un très grand ordinateur ne nécessite pas toujours à la fois une grande unité de traitement et une grande mémoire. En général, il est néanmoins probable qu'il faille une unité de traitement de dimension respectable pour pouvoir s'occuper simultanément d'un grand nombre de postes terminaux. Cela est nécessaire pour tirer le meilleur parti possible du temps et de l'utilisation du matériel de la partie mémoire, qui est très importante dans le cas des banques de données. En outre, un grand ordinateur devant assurer des calculs longs et compliqués doit avoir et une grande unité de traitement et une grande mémoire. Cependant, il se présentera des cas dans lesquels la quantité de données mises en mémoire est très importante et le nombre de terminaux peu élevé. Une grande unité de traitement serait alors sans utilité. Quoiqu'ils dépendent l'un de l'autre, il y a lieu de croire que les besoins en matière de mémoires et d'unités de traitement seront déterminés séparément.

Dans quelles circonstances aurait-on besoin de ces grandes banques de données? On peut citer comme exemples les bibliothèques et les renseignements juridiques et médicaux. De nombreux usagers doivent pouvoir disposer facilement de ce genre de renseignements à partir d'une source centrale. Néanmoins, les groupes d'usagers étant différents, il n'est pas absolument nécessaire qu'une source unique fournisse tous les renseignements. En fait, chaque catégorie indiquée ci-dessus serait suffisamment grande pour avoir ses propres installations. Il ne faut cependant pas croire qu'on accomplit nécessairement mieux un travail avec un ordinateur. Pour de nombreuses

décennies encore, beaucoup de ces services de référence pourraient compter sur des bibliothèques de type classique.

Pour un usager, la possession d'un système privé qu'il contrôle entièrement présente un avantage psychologique certain. Toutes choses étant égales, c'est probablement vers cette solution que se tournerait le choix de la plupart des hommes d'affaires. Les considérations de sécurité représentent un avantage marquant. Une conversation téléphonique ordinaire risque d'être interceptée. Les renseignements confidentiels mis en mémoire dans un ordinateur commercial ne sont à l'abri d'indiscrétions que dans la mesure du coût et de la complexité du matériel terminal de codage et de décodage. Il se peut que ce matériel soit trop cher pour de nombreux utilisateurs commerciaux. Il faut remarquer ici que la sécurité des renseignements, qu'ils soient dans un ordinateur ou en transit, repose sur le manque d'intérêt suffisant pour les voler et sur l'ignorance du voleur quant à leur valeur possible.

Une comparaison de la fiabilité des deux systèmes (ensemble central ou mini-ordinateur local) peut donner un léger avantage au mini-ordinateur. Son temps moyen de fonctionnement sans panne est certainement beaucoup plus long, quoique les entreprises possédant de gros ordinateurs peuvent se permettre un personnel d'entretien permanent, et qu'elles utilisent sans aucun doute des techniques avancées de redondance. Cependant, une défaillance dans le système de communications perturbera les opérations tout autant qu'une panne de l'ordinateur lui-même. En outre, une panne importante au centre de téléinformatique pourrait avoir de sérieuses répercussions pour de nombreux usagers.

Centraliser ou ne pas centraliser: voilà la question. On ne doit entreprendre la centralisation que si elle présente des avantages. Le plus gros n'est pas toujours le meilleur. Citons ici Robert M. McClure, professeur adjoint au Centre d'informatique de la Southern Methodist University: "Ainsi que l'ont découvert les fabricants d'avions et de pétroliers géants, l'adjectif "géant" ne va pas toujours sans inconvénient".

En dernière analyse, c'est le facteur économique qui influencera les décisions. Un énorme ordinateur, si nous prenons un exemple extrême, au service du pays entier serait sans aucun doute peu économique. Il en serait de même d'un ordinateur privé au service de chaque particulier. Pour plusieurs raisons évidentes, toute centralisation "excessive" ne serait certainement pas non plus dans l'intérêt national.

Conclusions et observations

Les vingt prochaines années seront témoin de nombreux changements dans le domaine du traitement et de la mise en mémoire des données. Le nombre d'ordinateurs se multipliera.

L'augmentation la plus notable se produira dans les systèmes de petites dimensions. En même temps, le besoin de communications économiques et fiables augmentera considérablement pour les ordinateurs de moyenne et grande tailles. Il serait intéressant de relever les conclusions et les recommandations de la Commission d'étude sur les ordinateurs, placée sous la présidence de M. Léon Katz par le Conseil des sciences du Canada. La plupart des exigences technologiques sont déjà à notre portée ou sur le point de l'être, mais on peut s'attendre à ce que plusieurs innovations nous prennent par surprise et influent grandement sur l'avenir de nos systèmes d'ordinateurs.

3. TECHNOLOGIE FONDAMENTALE

Généralités

Dans ce chapitre, nous essaierons de passer brièvement en revue quelques-unes des techniques fondamentales d'évaluation des communications. Cette étude se fonde sur le matériel. Il convient d'examiner les voies de la science dans ces domaines.

Il faut se rendre compte que l'on ne peut embrasser que certaines techniques, et chacune ayant de nombreuses ramifications, elles ne peuvent être étudiées que dans leurs lignes générales. L'Annexe B comprend dix parties distinctes qui ont été résumées dans les quelques pages suivantes.

3.1 Technologie des mémoires

La mise en mémoire des données est capitale en ce qui concerne les ordinateurs numériques, dans la technologie des communications et pour tous les aspects du traitement et de l'affichage des données. Les mémoires sont appelées de plus en plus à faire partie intégrante de nombreux systèmes de communications. On considère comme peu probable que la tendance actuelle vers la réduction des prix et de l'encombrement et vers l'accroissement de la vitesse restreigne le développement des communications.

Parmi les facteurs importants déterminant le choix d'une mémoire, on note: le domaine d'utilisation, la fiabilité, le prix, la vitesse, l'encombrement, la consommation d'énergie, etc. A l'heure actuelle, les mémoires à ferrites conservent leur supériorité générale. On pense qu'il en sera ainsi jusqu'en 1980 au moins et que la concurrence poussera à les perfectionner. Les mémoires à ferrites en grands réseaux et de fabrication de série coûtent actuellement de 1.5 à 8 cents le bit en fonction de la vitesse.

Les mémoires à semi-conducteurs utilisant les circuits intégrés sont de plus en plus employées, particulièrement dans les petits ordinateurs. Ce sont celles qui ont le plus de

chances d'évoluer assez rapidement pour remplacer les mémoires à ferrites avant 1980. Leur situation concurrentielle dépend des progrès de la technologie des circuits intégrés. Les prix actuels sont de 1 à 50 cents le bit selon le type et les caractéristiques. D'après certaines estimations, on pourrait arriver à fabriquer ces mémoires pour 0.1 à 0.5 cent par bit.

Dans la décennie de 1980 à 1990, il faudra des mémoires d'une densité de mémorisation considérablement accrue. La technique nouvelle des bulles magnétiques paraît être la plus prometteuse, suivie de la mémoire holographique. On envisage des fichiers de données codées sur bulles magnétiques pouvant contenir 15 millions de bits codés d'information, d'un encombrement de un ou deux pouces cubes et n'utilisant qu'une puissance de 0.040 watts. On parle d'un prix de 0.001 cent par bit.

Si des dispositifs commerciaux à bulles magnétiques font leur apparition dans la décennie de 1970 à 1980, ils modifieront sensiblement la structure des ordinateurs, le matériel de traitement des données et les prévisions avancées ci-dessus quant à l'utilisation des mémoires à ferrites au cours de cette période.

Il est bien possible que les dispositifs d'entrée-sortie de la mémoire détermineront la vitesse globale de fonctionnement et régiront l'intégration de tous les types de mémoires dans les systèmes de communications.

3.2 Technologie des semi-conducteurs

La technologie et l'industrie des semi-conducteurs ont évolué d'une façon extraordinaire. Le rythme de la plupart des réalisations a suivi celui de l'évolution de l'informatique. Le développement des communications dépendra d'un grand nombre de facteurs, mais peut-être plus particulièrement de la disponibilité de circuits numériques.

Il se passe de trois à cinq ans entre l'invention d'un procédé et son application à l'échelle industrielle. Il faut environ 10 ans pour qu'un dispositif ou un procédé atteigne son niveau optimal (prix minimal et fiabilité élevée).

Au cours des vingt prochaines années, la technologie des dispositifs à semi-conducteurs sera essentiellement fondée sur le silicium. Le prix moyen des transistors au silicium se situe maintenant au-dessous de 50 cents. Le montant des ventes de dispositifs au silicium s'est maintenu presque constant depuis 1966.

Les ventes de circuits intégrés suivent une progression linéaire en fonction du temps. Les circuits intégrés continueront à utiliser le silicium comme support primaire

pendant les deux prochaines décennies. Si on continue d'utiliser les méthodes actuelles, ils atteindront leur niveau optimal vers la fin des années 1970. On s'attend à ce que leur prix soit alors inférieur à \$1. par ensemble. Les circuits intégrés domineront le marché pendant les vingt prochaines années. On prévoit des améliorations importantes dans les domaines de la fiabilité et de la multiplicité des fonctions, et ces améliorations auront des effets correspondants sur l'encombrement, la capacité et l'entretien des systèmes de communications.

La décennie 1970-1980 devrait apporter des perfectionnements notables dans les dispositifs à haute fréquence destinés à l'utilisation en hyperfréquence et dans les circuits intégrés à micro-ondes. Ils devraient atteindre leur niveau optimal vers le milieu des années 1980. Certains chercheurs annoncent des semi-conducteurs pouvant donner des impulsions de 250 kilowatts à 100 GHz. On dispose actuellement de transistors au silicium donnant une puissance de 5 watts en fonctionnement continu à 3 GHz. Dans les systèmes à micro-ondes, de nouveaux concepts comme les antennes à réseaux en phase et les liaisons en fréquences millimétriques accélèrent le rythme de la recherche et de l'évolution des composants et des dispositifs.

Des dispositifs peu coûteux d'émission de lumière, utilisables dans les systèmes d'affichage et de couplage des signaux, atteindront leur niveau optimal au cours des années 1970. Ces dispositifs se fondent sur les semi-conducteurs composés.

Le chiffre de vente actuel des semi-conducteurs se situe au voisinage de 1.5 milliard de dollars par an. On explore par conséquent toutes les possibilités de ce domaine. De nombreuses idées sont en cours d'étude; elles donneront naissance à de nouveaux dispositifs au cours de la période de 20 ans envisagée.

3.3 Technologie des ordinateurs

Entre 1970 et 1975, on prévoit une croissance constante de la dimension et du nombre des ordinateurs. Grâce à la réduction du prix des mémoires et des circuits logiques, l'utilisation des petits ordinateurs est aussi à la hausse. La diminution des prix permettra d'utiliser les ordinateurs pour une plus grande variété de fonctions.

Le nombre d'instructions exécutées par seconde par les grands ordinateurs augmentera de 10 à 100 fois par décennie jusqu'en 1990. On atteindra ce résultat grâce à l'accroissement de la vitesse des circuits, à la mise en parallèle, etc. Parmi les réalisations prévues, on distingue:

- a) Des réseaux de circuits intégrés complexes à grande vitesse (de l'ordre de la nanoseconde) et à faible consommation d'énergie.
- b) Des mémoires rapides fabriquées en lots (durée de cycle de l'ordre de la nanoseconde).
- c) Une micro-programmation assurant vitesse et souplesse accrues.
- d) Des mémoires de grande capacité à accès aléatoire.

De petits ordinateurs très bon marché seront fabriqués en série. On assistera à un accroissement de l'utilisation des postes terminaux interactifs éloignés. Les dispositifs d'entrée-sortie graphiques ou alphanumériques seront généralisés. Les communications phoniques avec les ordinateurs et les lecteurs optiques de caractères se développeront de façon notable.

Il y aura une réduction du prix et une amélioration de l'efficacité de la programmation grâce à un accroissement de la participation des ordinateurs eux-mêmes à la préparation des programmes. Les communications avec les ordinateurs se feront dans un langage plus naturel. De grands ensembles d'ordinateurs seront utilisés pour produire des programmes sur demande.

La fiabilité cessera de limiter la dimension et la complexité des systèmes.

Le prix des grandes installations d'ordinateurs continuera de n'augmenter que de 10% chaque fois qu'on en doublera la capacité. Le prix des petits ordinateurs devrait diminuer.

Conséquences

1. De grandes banques de données accessibles à un grand nombre de personnes grâce à des postes terminaux simples ou des ordinateurs seront établies dans tout le pays.
2. La téléinformatique hâtera l'introduction de la transmission numérique et de la commutation électronique dans les systèmes de communications. A cause de la croissance rapide des services de transmission des données, le taux actuel d'accroissement de la capacité des voies (évalué à 10 à 100 fois par décennie) se maintiendra. L'automatisation deviendra également très importante.
3. La technologie des ordinateurs permettra:
 - a) Des centraux de commutation automatisés.

- b) Le contrôle de la répartition des ressources des systèmes de communications.
- c) La dissémination des centraux de commutation pour le trafic local.
- d) La mémorisation en file dans des mémoires placées aux points importants des systèmes.

3.4 Technologie de la transmission

On peut diviser les méthodes existantes de transmission des signaux d'un lieu à un autre en deux grandes catégories: les systèmes à ondes guidées et les systèmes à propagation. La première catégorie présente l'avantage de ne pas produire de brouillage, elle n'est donc pas limitée par le spectre radioélectrique disponible. Néanmoins, ces systèmes coûtent généralement assez cher à moins qu'ils ne soient utilisés pour la transmission d'un trafic très dense.

Les systèmes à ondes guidées comprennent: les câbles à circuits bifilaires pouvant acheminer environ 100 voies téléphoniques ou une voie de visiophone par circuit bifilaire; les câbles coaxiaux pouvant acheminer 8000 voies téléphoniques, 80 voies de visiophone ou 12 canaux de télévision par tube; les guides d'ondes qui ont plus de 10 fois la capacité d'un seul tube coaxial et enfin les systèmes optiques dont la capacité est encore au moins dix fois plus grande.

Les systèmes à grande capacité ont un coût total élevé, mais ils offrent des économies considérables dans le prix par voie quand la densité des circuits est élevée. Sur les voies d'acheminement à haute densité, les systèmes de câbles coaxiaux à tubes multiples deviendront économiques vers le milieu des années 1970. Si la demande augmente comme on le prévoit, la technologie des guides d'ondes deviendra économique dans les années 80 sur les voies les plus occupées, et les systèmes optiques pourraient devenir intéressants vers 1990.

Les systèmes à propagation comprennent: les systèmes radio haute fréquence de faible capacité pour l'utilisation en station fixe; les systèmes radio mobiles; la radiodiffusion et la télévision; les systèmes de faisceaux hertziens en hyperfréquences ayant une capacité atteignant 1800 voies téléphoniques par canal radio et 10 canaux radio ou plus par voie d'acheminement; les systèmes à diffusion troposphérique ayant une capacité de quelques centaines de voies téléphoniques (l'espacement des répéteurs est de 5 à 10 fois supérieur à celui des faisceaux hertziens, mais cette technique ne permet pas l'acheminement de canaux de télévision) et enfin, les systèmes à satellite-relais dont les propriétés sont semblables à celles des

faisceaux hertziens mais qui emploient des satellites-répéteurs en orbite.

Pour ne pas réduire la mobilité, les besoins de la radio mobile ne peuvent être satisfaits que par des systèmes à propagation. La largeur limitée du spectre radioélectrique disponible représente par conséquent un handicap très sérieux. Il se peut que la seule façon de satisfaire la demande croissante de services de communications mobiles soit de redistribuer les bandes de fréquences actuellement affectées à d'autres services.

Des versions perfectionnées des faisceaux hertziens actuels devraient continuer à présenter une solution économique sur les voies d'acheminement de densité moyenne en de nombreux endroits du pays. Des systèmes numériques de faisceaux hertziens fonctionnant dans la bande de 10 à 20 GHz et ayant une capacité atteignant 30,000 voies téléphoniques pourraient être mis en service à la fin des années 1970 ou au début des années 1980.

Un réseau national de communications par satellite doit entrer en service au début des années 1970. Les satellites-répéteurs sont très coûteux. Cette technique ne peut concurrencer les systèmes radio terrestres que lorsque les distances sont très grandes. Elle présente cependant des avantages particuliers pour la distribution de la télévision lorsqu'un même signal est utilisé par de nombreuses stations réceptrices, et pour apporter la télévision aux agglomérations isolées du Nord. On appliquera aussi les techniques numériques aux circuits de communications par satellite. Elles rendront possible l'utilisation en commun de ces circuits vers la fin des années 1970.

3.5 Sources d'alimentation

On pense que le prix des petits moteurs à turbine diminuera fortement au cours des années 1970. Cela mènerait à une généralisation de leur utilisation dans les petits groupes électrogènes portatifs.

On dispose actuellement de la génératrice thermo-électrique, qui constitue une source silencieuse d'alimentation continue. C'est un dispositif robuste, à basse tension, pouvant fonctionner avec du combustibles de qualité inférieure. On estime qu'elle continuera à répondre à certains besoins bien précis pendant quelque temps encore.

On s'attend à des progrès réguliers mais peu spectaculaires dans l'évolution des piles à combustible. Le système hydrocarbure-air semble prometteur pour les années 1970. La pile métal-air est un dérivé de la pile à combustible; elle devrait être très intéressante pour l'alimentation des petits ensembles portatifs.

En 1980, les besoins en énergie des satellites seront vingt fois plus importants qu'ils ne le sont présentement pour ISIS B. On répondra probablement à ces besoins à l'aide de piles solaires et d'accumulateurs appropriés. Un contrôle de charge satisfaisant permettrait un emploi plus efficace des systèmes au cadmium-nickel, tandis que la pile rechargeable à combustible H₂/O₂, attendue pour le milieu des années 1970, pourrait fournir des densités d'énergie et de puissance plus grandes. Le coût et les dangers de contamination par la radio-activité s'opposent encore à l'utilisation dans l'espace de la génératrice thermo-électrique à radio-isotopes.

Au sol, la capacité accrue des piles alcalines au manganèse et la longue durée utile des piles au magnésium réduiront probablement l'utilisation des piles au plomb, Leclanché et au zinc-mercure.

L'utilisation d'agents chimiques actifs en électrolytes non aqueux délivrant une tension et une énergie plus importantes par pile promet une densité d'énergie de cinq à dix fois plus élevée que celle des dispositifs actuels. On pense disposer de prototypes avant 1980.

Les projets de modules de circuits intégrés auto-alimentés sont issus de la découverte d'un nouveau sel de rubidium, d'argent et d'iode. Des batteries à semi-conducteurs utilisant cet électrolyte sont à l'étude.

3.6 Filtrage numérique et analogique

Au cours des vingt prochaines années, on pense que l'importance des filtres passifs RLC ne diminuera pas. Cependant, leur part dans la production globale de filtres baissera considérablement et, chose plus importante, ils ne détermineront probablement plus la conception des systèmes au même point que par le passé.

Les applications des filtres actifs s'étendront à mesure que des amplificateurs économiques à produit bande passante par gain plus élevé seront mis au point. Dans quelques années, les filtres actifs seront concurrentiels jusqu'à 100 kHz et utilisables à des fréquences de quelques MHz.

Le filtre monolithique se généralise pour le filtrage à bande passante étroite dans la gamme de 3 à 30 MHz. On estime que dans quelques années la technologie monolithique permettra d'étendre la gamme de fonctionnement à la bande de 2 à 60 MHz. La technologie des cristaux s'améliorera, essentiellement grâce à de meilleures méthodes de production.

Dans moins de cinq ans, on devrait avoir produit tous les dispositifs nécessaires à des systèmes de communications

économiques utilisant des filtres numériques. Les ensembles arithmétiques à additionneurs à 12 bits et à multiplicateurs à 7 bits intégrés seront des éléments de construction typiques de ce genre de filtres.

La disponibilité de bons transistors à hyperfréquences autorisera une utilisation généralisée de filtres microbande actifs à gain.

Le filtre acoustique à ondes de surface permettra la réalisation de filtres correcteurs jusqu'à 100 MHz environ. De nouveaux amplificateurs opérationnels économiques à large bande soutiendront aussi cette tendance.

3.7 Technologie des dispositifs d'entrée-sortie

Les dispositifs d'entrée-sortie vont des simples transducteurs acoustiques des combinés téléphoniques aux dispositifs vidéo d'affichage et de détection des visiophones et des téléviseurs. Ils comprennent aussi divers ensembles d'entrée et de sortie tels que les appareils à clavier alphanumérique, les ensembles d'affichage et divers dispositifs d'impression pouvant donner des documents en clair. Il existe aussi des dispositifs de lecture de caractères qui engendrent des signaux correspondant à des caractères imprimés. La recherche est actuellement dirigée vers les systèmes de reconnaissance de la parole. On utilise déjà des cadrans à boutons-poussoirs pour interroger des ordinateurs éloignés qui répondent par des mots parlés.

Au début des années 70, le microphone à électret commencera à remplacer le microphone à granules de carbone du combiné téléphonique actuel. Il déformera moins la voix et fonctionnera sur un courant de boucle moins élevé.

Les tubes à rayons cathodiques continueront à prévaloir dans les dispositifs d'affichage pendant les années 1970. Cependant, ils seront supplantés vers 1980 par des dispositifs à semi-conducteurs pour l'affichage des données, et pour les images en couleur et en demi-tons vers la fin des années 80. Les dispositifs photosensibles à semi-conducteurs commenceront probablement à concurrencer les tubes de caméra de télévision vers la fin des années 70. Ces dispositifs photosensibles et d'affichage à semi-conducteurs auront parmi leurs avantages un encombrement réduit, une grande fiabilité et un fonctionnement sous faible tension.

Les techniques de migration électrostatique du carbone et des encres à déviation peuvent produire des documents graphiques et alphanumériques en clair. Ils commencent déjà à rivaliser avec les dispositifs d'impression à percussion. Il est possible que

des dispositifs piézoélectriques remplacent les contacts mécaniques des claviers vers le milieu des années 1970.

4. LES RÉPERCUSSIONS DE LA TECHNOLOGIE SUR LES PARTIES COMPOSANTES DES SYSTÈMES DE COMMUNICATIONS

Généralités

Un système de communications comprend fondamentalement une source d'où part un message ou un signal, un moyen de transmission vers un point éloigné et un moyen de reproduction du message à la station de réception.

Dans les communications électriques modernes, le signal peut être la voix, un téléimprimeur à manipulation par déplacement de fréquence, un signal visuel (télévision), un document en clair (fac-similé), des données numériques, etc. La transmission peut se faire par fil, par câble coaxial ou par rayonnement électromagnétique guidé ou non. A la sortie, on obtient une voix intelligible, des images ou des mots imprimés, un affichage visuel, des trains d'impulsions alimentant un ordinateur, etc.

Les besoins accrus de communications économiques, compatibles et sûres, ayant une capacités et des normes acceptables, présentent des problèmes technologiques. Ces problèmes se reflètent dans l'organisation des réseaux de communications, dans les éléments de systèmes et les techniques en général.

Dans ce chapitre, nous traitons des répercussions de la technologie sur les parties composantes fondamentales des systèmes de communications. Nous insistons principalement sur les éléments du réseau des sociétés exploitantes de télécommunications. D'autres services, tels que les communications mobiles, la radiodiffusion, les communications par satellite, le traitement et la mise en mémoire des données, etc. qui sont extérieurs en tout ou en partie au réseau des sociétés exploitantes y sont aussi traités. Une grande partie de notre étude se rapporte cependant aux éléments de ce qui constitue sans aucun doute le plus grand système canadien de communications.

Le réseau commuté de communications

Le modèle utilisé divise le réseau en matériel de transmission, de commutation et d'entrée-sortie (transducteur). Ce modèle, quoique utile, manque de précision. Les éléments, particulièrement avec les techniques nouvelles, ont tendance à devenir inséparables. De plus, l'ensemble des trois éléments n'est pas toujours nécessaire à un service.

Un homme ou une machine émet un signal d'entrée, le transducteur le met sous une forme appropriée pour la transmission, puis le signal va vers le central local de

commutation par une boucle de distribution locale. Le central de commutation choisit la liaison désirée. Pour un appel local (les deux interlocuteurs appartiennent au même central), l'abonné appelé est relié directement. Pour les autres appels, la liaison se fait par une succession de centraux de commutation et d'installations de transmission jusqu'au central de commutation local et à la boucle locale auxquels l'abonné appelé est relié par un équipement d'entrée-sortie.

L'ensemble présente un problème complexe de technique des systèmes. L'objectif permanent consiste à rendre le réseau entier, plutôt que chaque sous-système, aussi parfait que possible afin de diminuer les frais de transfert de l'information tout en permettant de fournir économiquement de nouveaux services. En dehors des facteurs fondamentaux comme l'amplitude et la largeur de bande des voies, le rapport signal/bruit, l'efficacité de la modulation, la distorsion, etc. et leur interdépendance, il existe des compromis financiers qu'on peut réaliser à l'égard des normes. La signalisation et la supervision contrôlent et relient l'ensemble du réseau et doivent être compatibles avec les installations existantes. Il y a aussi des problèmes de dimensions des centraux, de concentration, de choix des voies, de durée utile des dispositifs, de conditions de fiabilité de fonctionnement du système entier, d'une marge de redondance et de souplesse suffisante, etc. dont on doit tenir compte pour prévoir le trafic et les services futurs.

Les dispositifs nouveaux et perfectionnés et la technologie sont les véritables instruments qui sont nécessaires pour atteindre les objectifs visés. L'expérience montre qu'entre la découverte et la mise au point il se passe de deux à cinq ans. Pour les sous-systèmes importants, il se passe jusqu'à cinq ans entre la mise au point et la fabrication du produit. A cause des essais nécessaires, etc., ce délai ne changera guère. Il faudra continuer de garder des idées en réserve avant qu'une technologie optimale soit mise au point pour satisfaire les besoins du marché.

4.1 TRANSMISSION

Nous définirons la transmission comme le transfert d'information entre un expéditeur et un destinataire. Tous les systèmes de transmission peuvent être utilement subdivisés en trois parties: l'émetteur, le milieu de transmission par lequel l'information passe, et le récepteur. A titre d'exemple, un système moderne de transmission par courants porteurs peut se décomposer de la façon suivante:



Fig. 6 Éléments fondamentaux d'un système de transmission à courants porteurs

Pour tout autre exemple, ce schéma fonctionnel peut être plus ou moins complexe.

Trois types de systèmes de transmission

En plus de la subdivision fondamentale, les systèmes de transmission étant placés en divers points du réseau de communications et leurs caractéristiques étant déterminées par des considérations économiques et des facteurs différents, nous définirons trois types de systèmes de transmission tels que nous les connaissons aujourd'hui. Les installations de distribution de central, ou boucle locale reliant le transducteur de l'utilisateur à un central local de commutation, constituent le premier.

Les installations à courte distance reliant entre eux des centraux locaux de commutation ou un central local de commutation à un central tandem représentent le deuxième type. Les installations à grande distance utilisées pour la transmission à des points éloignés entre centraux tandems forment le troisième type.

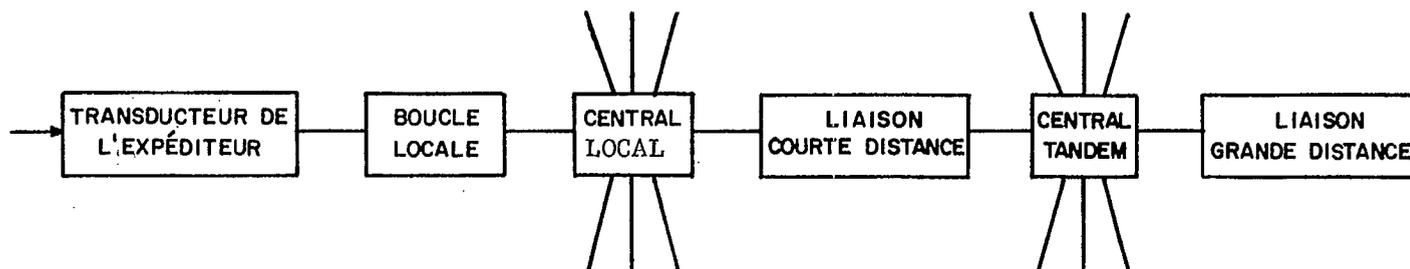


Fig. 7 Installations de transmission d'un réseau

A l'heure actuelle et d'une manière générale, la longueur des installations de distribution de central est inférieure à 10 milles, celle des installations à courte distance est inférieure à 250 milles et celle des installations à grande distance est supérieure à 250 milles. Les longueurs dépendent uniquement des aspects économiques des installations et de l'organisation du système de communications; aussi les chiffres précités ne sont-ils que des exemples dont il est possible de s'écarter.

4.1.1. Modulation et multiplexage

Le système matériel de transmission peut être soit extrêmement simple (une paire de fils de quelques pieds de longueur transportant l'information sous forme analogique), soit extrêmement complexe avec de nombreuses voies combinées ou multiplexées pour parcourir plusieurs milliers de milles sur une porteuse radioélectrique à hyperfréquence. Nous pouvons cependant définir trois types de combinaisons multiplex couvrant l'ensemble des systèmes principaux actuellement employés pour la transmission en voies multiples.

La première forme de multiplex, et aussi la plus ancienne, est la répartition spatiale dans laquelle des voies individuelles sont séparées dans l'espace. Les structures parallèles radio peuvent constituer un exemple de ce type. Un simple câble à paires multiples représente un exemple élémentaire de répartition spatiale.

La seconde forme s'appelle multiplexage par partage des fréquences (MPF). L'équipement terminal à courants porteurs, ou émetteur, permet de superposer plusieurs voies réparties sur une bande de fréquences. Pour combiner ou multiplexer un certain nombre de voies de téléphonie, de données, etc. sur une seule bande large de fréquences et les transmettre, l'information contenue dans chaque voie est utilisée pour moduler une porteuse distincte à fréquence simple nommée sous-porteuse. Les sous-porteuses modulées sont ensuite réunies dans un canal à large bande convenant au milieu de transmission vers le récepteur éloigné. La modulation des sous-porteuses est continue. Dans le cas de la modulation d'amplitude (AM), l'amplitude de la sous-porteuse est généralement variée proportionnellement à l'amplitude du signal. Par exemple, dans une installation MPF à grande distance la superposition des voies est réalisée en modulation d'amplitude à bande latérale unique. L'onde complexe obtenue est ensuite utilisée pour moduler en fréquence (FM) une porteuse radio hyperfréquence pour la transmission dans l'espace.

Quoique connue depuis plusieurs années, la troisième forme de multiplexage n'a commencé que très récemment à devenir une réalité économique de premier plan. Il s'agit du multiplexage par partage du temps (MPT), qui permet la combinaison d'un grand nombre de voies par la répartition des diverses voies en fonction

du temps. Pourvu que chaque voie soit échantillonnée et transmise à un rythme supérieur à deux fois la largeur de bande qu'elle occupait à l'origine, la totalité de l'information de la voie peut être transmise avec les autres voies sur le milieu de transmission à haute fréquence. A cause de son caractère intermittent, on utilise la modulation d'impulsions dans laquelle la hauteur ou l'amplitude de l'impulsion (MIA, modulation d'impulsions en amplitude), sa largeur ou sa durée (MID, modulation d'impulsions en durée), sa position (MIP, modulation d'impulsions en position) ou son codage (MIC, modulation par impulsions codées) varient en fonction de l'information de la voie. Le système à courants porteurs MIC à courte distance, mis en service en 1965 dans le réseau des sociétés exploitantes de télécommunications, illustre cette méthode de multiplexage. L'information de chaque voie sert à moduler en amplitude un train d'impulsions (MIA). Les différentes voies sont ensuite combinées dans le temps et transposées en codes binaires à sept chiffres (MIC). Les groupes de chiffres résultants sont ensuite transmis par câbles bifilaires en même temps que l'information de signalisation.

4.1.2. Évolution des systèmes de transmission au Canada

Au cours des deux dernières décennies, les systèmes de transmission ont considérablement évolué au Canada. L'évolution consistait surtout en une utilisation plus efficace des milieux de transmission existants. Les changements les plus marquants sont nés au cours des dix dernières années de l'introduction des dispositifs à semi-conducteurs.

Installations à grande distance

Depuis la première transmission télégraphique au Canada et jusqu'en 1940, la majorité des transmissions s'était faite par fils aériens. Les paires de fils torsadés dans les câbles à paires multiples ont été introduites au Canada à la fin des années 1930. Elles permettaient de plus grandes densités d'acheminement mais les techniques utilisées n'étaient que des variantes d'une même technologie fondée sur la charge et l'amplification. Les problèmes inhérents à ces techniques (bruit de circuit élevé, diaphonie et retard) ont probablement ouvert la voie aux progrès de la technologie qui ont rendu exploitable le concept d'utilisation collective d'un moyen de transmission à la fin des années de 1940. Cependant, jusqu'en 1948, la totalité des installations transcanadiennes et environ 95% des autres installations à grande distance étaient du type à câble à paires multiples et à fils aériens. Les premières installations à utilisation collective, ou multiplexage, étaient du type (MPF-AM) à courants porteurs, utilisant les câbles bifilaires et les fils aériens comme moyens de transmission. En plus de multiplier par 12 la capacité des installations existantes, ce système assurait

une amélioration alors nécessaire de la qualité de la transmission.

Les systèmes de transmission à hyperfréquence (faisceaux hertziens), qui sont fondamentalement des systèmes radioélectriques à portée optique, ont été mis en service avec succès dans le réseau de communications au milieu des années 50. Ils fournissaient un grand nombre de voies avec une qualité de transmission améliorée et une diminution du retard absolu qui provoquait des problèmes pour les conversations téléphoniques transcontinentales. Le système, tout en assurant une plus grande fidélité pour la transmission des émissions radiophoniques, constituait également le premier moyen de transmission de la télévision en direct à grande distance. Les systèmes à hyperfréquence assurent maintenant l'acheminement de nos transmissions transcontinentales à grande distance sur des bandes de fréquences de 2, 4, 6 et 7 GHz. La technologie et les méthodes de conception actuelles ont permis la réalisation de capacités d'acheminement d'environ 300 voies dans la bande de 2 GHz, 960 voies dans la bande de 4 GHz, 1200 voies dans la bande de 6 GHz et 1200 voies dans la bande de 7 GHz, pour chaque voie radio.

Un autre système radio, fondé sur la diffusion troposphérique et fonctionnant dans la bande de 600 MHz à 4GHz, a été conçu et mis en service à la fin des années de 1950 pour les communications avec le Grand Nord. Avec une puissance d'émission allant jusqu'à 10 kilowatts et un gain d'antenne de 44 dB, ce système permettait d'espacer les répéteurs de 150 à 200 milles, contre 25 à 30 milles pour les systèmes classiques à hyperfréquences. Il achemine un maximum de 250 voies téléphoniques ou l'équivalent en voies de données, d'émissions de radio ou de télévision à balayage lent (pour retransmission ultérieure).

La dernière réalisation dans les installations à grande distance est le satellite de communications. Employé à l'origine pour les communications intercontinentales, il sera utilisé pour les communications nationales canadiennes. Les satellites fonctionnent maintenant sur 6 GHz dans le sens terre-satellite et sur 4 GHz dans l'autre sens. Fondamentalement, le satellite assure des communications dont le coût est pratiquement indépendant de la distance. Cependant, les installations terrestres sont actuellement plus économiques pour toutes les longueurs de circuits que l'on rencontre au Canada, exception faite de certaines liaisons avec le Grand Nord.

A cause du retard absolu du signal dans son voyage aller-retour de 44,600 milles (0.3 sec.), il faut prendre des mesures spéciales si on doit utiliser le circuit pour des communications téléphoniques bidirectionnelles. Ce retard pose également des

problèmes en ce qui concerne les circuits bidirectionnels de transmission des données à grande vitesse.

Installations à courte distance

A l'origine, les installations à courte distance consistaient en fils aériens et en câbles bifilaires. La transmission par courants porteurs sur câbles bifilaires a commencé au début des années 50, une diminution des frais de l'équipement terminal de multiplexage en MPF ayant rendu les systèmes à courants porteurs rentables sur les courtes distances. Avec la mise en service du premier système MIC-MPT vers le milieu des années 60, les systèmes à courants porteurs utilisant des câbles bifilaires sont devenus rentables pour les distances supérieures à 15 milles, tout en améliorant la qualité de la transmission et en tirant un meilleur parti des installations existantes. Depuis 1965, les sociétés exploitantes se servent de plus en plus des systèmes MIC. A l'heure actuelle, le Canada se place au deuxième rang mondial en ce qui concerne l'exploitation de ces systèmes.

Installations centrales de distribution

Jusqu'en 1946, les câbles aériens, les câbles souterrains et les câbles à paires multiples, constituaient pratiquement toutes les installations centrales de distribution (boucles locales). Aujourd'hui, la situation n'est pas tellement différente, quoique les câbles à paires multiples aient remplacé la plupart des fils aériens. Les circuits téléphoniques bifilaires sont toujours plus économiques que d'autres formes d'installations de distribution. Cependant, cette situation est appelée à changer à mesure que le prix de l'appareillage électronique diminue et que la clientèle demande un débit d'information plus élevé. A l'heure actuelle, d'autres formes de distribution existent effectivement pour satisfaire les besoins particuliers des clients. Les câbles coaxiaux, les câbles vidéo et les faisceaux hertziens sont tous mis à contribution pour la distribution des émissions de télévision aux radiodiffuseurs. Amplification, compensation et régime spécial de charge sont assurés dans les installations de distribution des émissions radiophoniques, de la musique par fil et des données. Des systèmes distincts de distribution unidirectionnelle utilisant des câbles coaxiaux ont été mis au point pour la télévision à antenne collective (câblodiffusion). Le service radio mobile et le service de téléappel sont distribués par radio HF et VHF. Le service radio périphérique, fonctionnant dans la bande VHF, assure une distribution simple jusqu'à 50 milles de distance, alors que le service radio à haute fréquence, dans la bande HF, est communément utilisé pour une distribution du même type jusqu'à environ 2000 milles dans le Grand Nord. Le service radio HF n'est pas très sûr et ses frais d'entretien sont élevés. C'est encore cependant le moyen le plus économique de fournir ce mode de communications aux régions éloignées du Nord.

4.1.3. Répercussions futures des nouvelles techniques

Cinq facteurs principaux auront une grande influence sur les trois types de systèmes de transmission utilisés dans le réseau des sociétés exploitantes de télécommunications. Il s'agit de la performance, du coût, de la souplesse, de la capacité et de la facilité d'entretien des systèmes. Dans une certaine mesure, ces facteurs sont interdépendants. Le fonctionnement du système actuel n'est aucunement idéal; il est fondé sur la situation actuelle des techniques de multiplexage par partage des fréquences et sur les limites financières qu'on a dû s'imposer. La souplesse d'un système, c'est-à-dire la possibilité de l'adapter à des usages multiples, est extrêmement importante pour réaliser les plus grandes économies possibles dans la transmission. En outre, le taux d'expansion élevé (12 à 17% par an) des installations à grande distance au Canada rendra économique à l'avenir l'utilisation de systèmes beaucoup plus importants dotés d'une très grande capacité. Enfin, à l'avenir, et sans autre raison que celle de suivre le niveau de l'expansion, la facilité d'entretien des systèmes devra être largement supérieure à celle qui a cours aujourd'hui. En pratique, si des débits d'information plus élevés sont nécessaires, il faudra mettre au point des dispositifs électroniques caractérisés par une consommation d'énergie plus faible, une fiabilité plus élevée et un encombrement plus réduit.

4.1.4 Installations à grande distance de l'avenir

Au Canada, ainsi que le montre la courbe supérieure de la Figure 8, le coût par mille de voie des installations à grande distance a régulièrement diminué. La courbe inférieure représente la limite minimale théorique fondée sur l'utilisation du système à plein rendement dès sa mise en service.

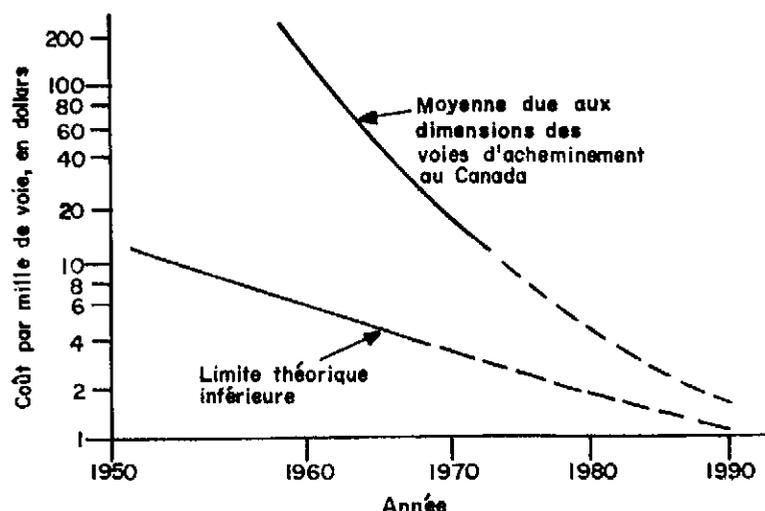


Fig. 8 Coût des installations à grande distance (équipement terminal non compris)

La diminution du coût de ces systèmes est le résultat de l'augmentation continue de la capacité unitaire des systèmes. L'économie véritable est une économie d'utilisation à grande échelle; la courbe supérieure tend vers la limite inférieure à mesure que la capacité par voie d'acheminement augmente au Canada. Les courbes indiquées ne représentent que des moyennes approximatives car les chiffres réels varient considérablement d'une année à l'autre, surtout lors de la mise en service de nouvelles voies d'acheminement. Il y a lieu de noter que le coût d'une technologie plus récente n'est jamais inférieur à celui de l'ancienne pendant les premières années qui suivent sa mise en service, car la technologie nouvelle a pour effet d'encourager les innovations dans la technologie plus ancienne.

Nous estimons plus commode d'étudier les conséquences de nouvelles techniques sur les installations des points de vue de l'équipement terminal (émetteur et récepteur) et du milieu de transmission.

4.1.5 Equipement terminal

a) Systèmes MPF à courants porteurs

Entre 1975 et 1980, on prévoit que l'utilisation de filtres numériques et de circuits intégrés à grande échelle dans les bancs de voies analogiques et les étages multiplex assurera une réduction sensible du coût du matériel MPF à courants porteurs. Entre-temps, on s'attend à des gains modestes à mesure qu'on substituera les circuits intégrés à moyenne échelle aux étages d'amplification et de multiplication à composants discrets. Au-delà de 1980, on s'attend à ce que la réduction du prix des systèmes MPT numériques permette des économies qui dépasseront largement toutes celles que peuvent assurer les systèmes MPF. Après 1980, il faudra peut-être aussi diminuer le nombre de systèmes MPF à cause des problèmes de fonctionnement et d'entretien associés à la transmission analogique.

b) Systèmes MIC-MPT à courants porteurs

Au Canada, au début de la période 1970-1975, la mise en service de l'équipement MCI-MPT à courants porteurs de la deuxième génération pour les installations à courte distance assurera une légère diminution des coûts, à laquelle s'ajoute la possibilité d'une qualité de transmission très améliorée dans les installations à grande distance à partir de 1975. L'équipement connexe de codage-décodage (codex) assurera aussi une transmission de qualité supérieure des émissions radiophoniques et visuelles avec une indépendance plus grande en ce qui concerne la longueur des systèmes et de la détérioration des composants. Bien que ce matériel doive être mis en service au milieu des années 1970, on n'escompte pas de répercussions importantes avant le début des années 1980. Les systèmes MIC-MPT

permettent de combiner librement de l'information de tous genres (téléphonie, télévision, visiophone et données) sans craindre les problèmes de brouillage présents dans les systèmes MPF. Il est également probable que certains services tels que le visiophone ne puissent être assurés économiquement que par des systèmes MIC. Des dispositifs d'entretien automatique à auto-diagnostic pouvant être incorporés avec un minimum de frais permettront dans une très large mesure des méthodes d'entretien simplifiées.

Une troisième génération de systèmes MIC-MPT à courants porteurs et de matériel codex sera probablement réalisable au début de la période 1980-1985. Dans ce cas, le prix et l'encombrement par rapport au matériel de la deuxième génération devraient être considérablement diminués. Les circuits intégrés à grande échelle et les filtres numériques devraient réduire d'un facteur de dix l'encombrement de l'équipement terminal MIC. La fiabilité de ces systèmes pourrait rendre inutile la connexion de circuits auxiliaires en cas de panne et réduire les travaux d'entretien à un strict minimum.

4.1.6. Milieux de transmission

a) Faisceaux hertziens

On traitera de deux types de faisceaux hertziens. Le premier, semblable au système à grande distance actuellement en service, est dérivé des systèmes MPF et utilise la modulation de fréquence pour la transmission. Le second est un système "radio numérique" comportant des circuits dérivés MIC-MPT avec régénération de l'information à chaque répéteur.

(1) Faisceaux hertziens MPF

La disponibilité de dispositifs à semi-conducteurs sûrs et de grande puissance pouvant fonctionner dans les bandes centimétriques devrait permettre la réalisation de faisceaux hertziens intégralement transistorisés entre 1975 et 1980. Ces dispositifs d'un prix raisonnable tiendraient dans un coffret installé au sommet d'un pylone. Pendant la même période, des filtres numériques et des circuits intégrés à grande échelle à bon marché devraient mener à une amélioration de l'entretien et à des réductions de frais en fournissant des circuits analogiques économiques, ainsi que des circuits d'entretien numériques permettant une protection interne par commutation des circuits redondants. Des sources d'alimentation économiques et fiables pour les régions éloignées permettront graduellement de se passer de personnel dans les stations de répéteurs au cours de la même période. La capacité future de ces systèmes sera limitée principalement par le spectre disponible et par le brouillage mutuel. Les attributions actuelles de fréquences dans les quatre bandes permettent les dispositions suivantes: dans la bande inférieure de 2 GHz, 3 canaux radio en service et 1 de secours,

capacité de 600 voies téléphoniques par canal radio; dans la bande supérieure de 2 GHz, 5 canaux en service et 1 de secours, capacité de 1800 voies par canal; dans la bande de 4 GHz, 14 canaux en service et 1 de secours, capacité de 1320 voies par canal; dans la bande de 6 GHz, 5 canaux en service et 1 de secours, capacité de 1800 voies par canal; et dans la bande de 7 GHz, 3 canaux en service et 1 de secours, capacité de 1800 voies par canal. Ainsi qu'il a été mentionné auparavant, on n'a pas à l'heure actuelle atteint ces capacités. Avec les attributions de fréquences actuelles, cela ne serait possible que sur quelques voies d'acheminement.

(2) Systèmes radio numériques

Pour obtenir la largeur de bande et la capacité dont on pense avoir besoin dans l'avenir, il faudra utiliser les bandes de fréquences supérieures à 10 GHz. En ce moment, et par suite du grand nombre de répéteurs nécessaires à la lutte contre les perturbations causées par la pluie, il ne semble pas pratique d'utiliser des systèmes MPF-FM à des fréquences aussi élevées. Des systèmes radio numériques avec régénération totale à chaque répéteur sembleraient être beaucoup plus intéressants. En outre, bien que la MIC utilisée en radio avec un codage à quatre niveaux n'a qu'environ 60% de l'efficacité des systèmes MPF-FM en ce qui concerne la largeur de bande occupée par les voies téléphoniques, les systèmes radio numériques sont de 30 dB moins sensibles au brouillage. Cela signifie qu'une même fréquence peut être réutilisée plus souvent. Il en résulte une meilleure utilisation du spectre dans n'importe quelle région géographique. Pour des circuits autres que les circuits téléphoniques, ce système pourrait être jusqu'à 10 fois plus efficace que ne l'est le système MPF-FM, sans tenir compte de la meilleure utilisation du spectre.

Dans la bande de 11 à 18 GHz, l'installation comprendrait des répéteurs numériques logés dans des coffrets et montés sur des pylônes métalliques de 60 à 100 pieds de hauteur espacés de 3.5 à 5 milles. On pense pouvoir réaliser économiquement des capacités de 32,000 voies téléphoniques ou l'équivalent par système. Avec un tel chiffre, le système ne serait utile que vers la fin des années 1970 ou au début des années 1980.

Bien qu'on prévoit que l'utilisation des ensembles d'alimentation thermonucléaires soit économique en 1978, les génératrices au propane actuellement disponibles rendraient ce système idéal pour les régions accidentées du Nord où l'enfouissement de câbles coaxiaux ou de guides d'ondes serait une entreprise coûteuse.

b) Les satellites

"Anik", premier satellite canadien de communications, doit être mis sur orbite géostationnaire en 1972. Son but est d'étendre le réseau de télévision de langue française au Canada, d'apporter des circuits téléphoniques et des émissions de télévision en direct aux agglomérations du Nord et de compléter les installations terrestres en place dans le sud du Canada en assurant une liaison pour les données et les messages téléphoniques entre Toronto et Vancouver.

Les communications par satellite sont une technologie relativement nouvelle qu'il est difficile de comparer rigoureusement aux systèmes terrestres. Les communications par satellite présentent aussi des problèmes particuliers dus aux éclipses solaires, au déplacement du soleil et à des temps d'acheminement considérables. Néanmoins, les organismes d'exploitation n'ont pas eu de difficulté à assurer le service pendant que se produisaient des phénomènes aussi facilement prévisibles que le transit solaire et les éclipses. Des retards d'acheminement quinze fois supérieurs à ceux des transmissions transcanadiennes imposent l'utilisation d'éliminateurs d'écho appropriés dans les raccordements aux lignes bifilaires. On doit aussi les prendre en considération dans la transmission des données si on utilise des systèmes de détection et de correction d'erreurs à réaction.

Au Canada, l'expansion future des systèmes de communications par satellite dépendra beaucoup du progrès des techniques de soutien. Trois domaines d'activité promettent un accroissement important de l'utilité possible de la technique de transmission par satellite. Ces domaines sont: les techniques perfectionnées de modulation, les techniques de lancement et de mise en orbite et l'utilisation du spectre des fréquences au-dessus de 10 GHz.

Les techniques de communications numériques ont progressé rapidement pendant les dernières années. Au cours des années 70, elles pourraient trouver d'importantes applications dans les systèmes commerciaux de communications par satellite. Les techniques numériques de modulation par impulsions codées (MIC), de manipulation par décalage de phase (MDP) et d'accès multiple par partage du temps (AMPT) assureront une amélioration certaine de l'efficacité d'utilisation du canal de transmission par satellite qui doit être partagé par plusieurs stations.

Par exemple, un système FM-AMPT à 10 stations d'une capacité de 450 voies téléphoniques unidirectionnelles pourrait donner 900 voies grâce aux techniques MIC-MDP-AMPT. Dans l'exemple cité, la capacité des circuits a doublé. On pourrait cependant réaliser à l'avenir des capacités de circuits encore plus grandes s'il était possible d'arriver à des compromis efficaces entre la largeur de bande, le codage de source et le rapport signal/bruit.

Dans la transmission des signaux de télévision, on estime qu'il sera possible à un système numérique de transmettre deux canaux de télévision sur une largeur de bande égale à celle qui est actuellement nécessaire à la transmission d'un seul canal par des moyens FM classiques.

L'introduction de dispositifs numériques d'élimination des échos est un autre perfectionnement prévu pour les années 1970. On pense que ces dispositifs élimineront les défauts qui peuvent exister actuellement sur les voies téléphoniques bidirectionnelles par suite d'une élimination d'écho insuffisante et du retard de transmission inhérent aux communications par satellites sur orbite synchrone.

La répartition variable entre les terminaux des circuits de communications par satellite selon la demande instantanée de service peut être appliquée avec la plus grande économie grâce aux communications numériques, bien qu'elle soit possible par d'autres moyens. Un système de répartition variable peut permettre à un système de communications par satellite à accès multiple de desservir au moins 40% plus de lignes qu'un système à répartition fixe des circuits.

La plupart des techniques de communications numériques précitées sont déjà au point. On se s'attend pas cependant à en voir l'application généralisée au Canada d'ici 1975. C'est probablement dans la seconde moitié de la décennie que les avantages de ces techniques seront pleinement exploités.

Dans un avenir un peu plus lointain, il semble que les satellites canadiens de communications bénéficieront énormément des progrès actuellement prévus dans le domaine de la technologie des véhicules de lancement. Des augmentations de la charge utile maximale (elle double approximativement tous les deux ans), une tendance suivie vers une diminution du coût par unité de poids en orbite (peut-être \$500 par livre) et la mise en orbite d'ateliers spatiaux de réparations contribueraient tous à une efficacité accrue des satellites en tant que moyens de transmission.

Les restrictions actuelles dans la conception des satellites dues à une durée de service et un poids limités mèneront à des systèmes plus complexes dans lesquels le traitement des signaux pourra se faire à l'intérieur du satellite. Cela pourrait permettre d'assurer des services économiques aux petits et grands usagers disséminés sur une vaste étendue géographique.

En outre, on peut placer avec précision les satellites sur des positions orbitales déterminées et les y maintenir. Ceci permet l'utilisation d'antennes à faisceau étroit orientées vers certaines régions de la terre, et cela permettra aussi d'établir des liaisons de satellite à satellite qui amélioreront

l'utilisation de l'orbite synchrone et du spectre disponible des fréquences.

Le troisième facteur qui devrait avoir des répercussions notables sur les systèmes de communications par satellite est le développement des concepts de systèmes et du matériel nécessaires à l'utilisation du spectre de fréquences au-dessus de 11.7 GHz, chose qui pourrait imposer l'utilisation d'antennes réceptrices séparées dans l'espace pour surmonter l'atténuation causée par la pluie. La prochaine Conférence administrative mondiale sur les radiocommunications, qui doit se tenir en 1971, examinera les attributions de fréquences pour les différents services. Il est probable qu'une bande d'environ 6 GHz, entre 11.7 et 31 GHz, soit affectée aux satellites de communications et de radiodiffusion. La confirmation de ces attributions accélérera les innovations nécessaires.

Au Canada, il est peu probable qu'on utilise commercialement ces fréquences élevées avant la fin des années 70. Néanmoins, ces attributions peuvent certainement jouer un grand rôle en retardant l'encombrement de l'orbite géostationnaire et en diminuant le coût des liaisons terrestres entre les stations terriennes et les centres habités.

On peut aussi utiliser les satellites de communications pour fournir des services spéciaux en plus des liaisons interurbaines et de la distribution de la télévision. Ces services comprennent les communications avec les agglomérations isolées, les missions d'étude, les navires et les avions dans le Grand Nord, la réunion de données à partir d'une grande variété de dispositifs de détection répartis sur une grande région géographique et l'envoi d'instructions de navigation aux véhicules en déplacement et aux avions en vol. La mise en place de ces services dépendra de la disponibilité de fréquences appropriées, du développement de satellites à puissance de rayonnement élevée et de la réalisation de stations terriennes peu coûteuses.

c) Systèmes à câbles coaxiaux

Un système à câbles coaxiaux est en général relativement insensible au brouillage d'autres sources utilisant la même fréquence, contrairement aux systèmes de communications par satellite et par faisceaux hertziens dont la capacité maximale est limitée principalement par le brouillage entre voies fonctionnant à la même fréquence dans une région géographique donnée.

Les câbles ne sont néanmoins pas sans présenter de problèmes. A cause des grandes variations des caractéristiques de transmission aux fréquences élevées avec la température, il est souvent nécessaire d'assurer un moyen de contrôler la température, par exemple, l'enfouissement du câble. Pour les

câbles de dimensions pratiques, il y a aussi une limite supérieure de fréquence (d'environ un gigahertz) au-dessus de laquelle les effets des modes de fréquence se manifestent. La tension maximale d'environ 11 kilovolts que peuvent supporter les câbles coaxiaux devrait convenir à l'alimentation des grandes voies d'acheminement, pourvu que des moyens efficaces de filtrage et de protection soient prévus.

Au cours des deux prochaines décennies, deux types de systèmes à câbles coaxiaux seront probablement utilisés: les systèmes à multiplexage par partage des fréquences (MPF) et les systèmes à modulation par impulsions codées (MIC).

(1) Systèmes MPF

Les systèmes MPF de transmission par câble, bien qu'ils ne représentent pas la meilleure solution, pourront être économiques au cours de la période de 1970 à 1975. Il existe encore des problèmes dans la transmission analogique vidéo à grande distance par câble en ce qui concerne la distorsion due au bruit et au retard de propagation. A cause de la nature intrinsèque du problème, on ne prévoit pas d'importantes réalisations dans ce domaine pendant la prochaine décennie.

Des systèmes combinés MPF-MPT sont réalisables et pourraient avoir des répercussions au cours de la période de 1975 à 1980. Grâce à une telle combinaison, un câble coaxial à 22 tubes de 0.375 pouce de diamètre pourrait fournir jusqu'à 90,000 circuits téléphoniques ou l'équivalent.

Chaque tube utiliserait une largeur de bande d'environ 65 MHz, et fournirait soit 9000 voies téléphoniques en MPF, soit un débit de 195 mégabits/seconde d'information numérique. Dans ce genre de système, il faut des répéteurs à chaque mille, et il n'est pas possible de régénérer l'information numérique à chaque répéteur. Pour le mode numérique de fonctionnement, la régénération serait assurée à l'extrémité du système.

A l'heure actuelle, la transmission à grande distance des conversations visiophoniques et des émissions de télévision n'est économique sur câble coaxial qu'en mode numérique.

(2) Les systèmes MPT

A ce jour, le multiplexage par partage du temps n'a été appliqué qu'à des systèmes MIC. Grâce aux meilleures caractéristiques anti-brouillage des systèmes MIC, on a obtenu des installations existantes de câble une efficacité qui aurait été impossible avec des systèmes MPF.

Les systèmes MPT-MIC qui seront mis en service entre 1975 et 1980 pourront assurer la transmission des données à 280 mégabits

par seconde. On peut envisager un espacement de 1,4 mille entre les répéteurs. Chaque tube coaxial du système aurait une capacité de trois voies de télévision, de 42 voies de visiophone ou de 4032 voies téléphoniques ou de données. On peut facilement combiner tous ces types. L'ensemble du système pourrait être formé de n'importe quel nombre de tubes coaxiaux. Il semble néanmoins, étant donné les techniques actuelles, qu'un câble coaxial de 12 ou 14 tubes remplirait les conditions optimales de fabrication, d'enfouissement et d'épissage.

Les systèmes de la deuxième génération, qui seront probablement exploitables au cours de la période de 1980 à 1985, devraient pouvoir atteindre un débit d'information au moins double.

Bien que des systèmes coaxiaux à vitesse plus élevée seront assurément possibles dans la période de 1985 à 1990, le besoin de système des capacité bien plus grande encore dictera probablement l'adoption d'autres systèmes plus économiques.

La possibilité d'un câble coaxial numérique intégré (dans lequel les amplificateurs numériques des répéteurs seraient incorporés dans le conducteur central en usine) représente cependant une inconnue de taille. Dans un tel système, la protection contre les surtensions représenterait un obstacle capital.

d) Les systèmes à guides d'ondes

D'après les prévisions d'expansion, il serait peut-être économique prochainement de réaliser des systèmes à guides d'ondes fonctionnant dans la bande de 35 à 100 GHz et ayant une capacité initiale supérieure à 30,000 voies téléphoniques ou l'équivalent. La technique des guides d'ondes circulaires millimétriques est aujourd'hui assez bien connue. Cependant, les guides d'ondes coûtent relativement cher et sont difficiles à fabriquer et à enfouir dans le sol. Le système le plus approprié consisterait en guides d'ondes circulaires dont l'intérieur serait tapissé d'une spirale de fil de cuivre isolé. Cette construction élimine les modes de propagation indésirables et permet la transmission des signaux dans le mode TE₀₁ à faible atténuation. Les techniques présentes permettraient la construction de systèmes dont la capacité d'environ 280 Mbits/s ne serait limitée que par le matériel de modulation. Il sera possible vers la fin des années 80 de réaliser des guides d'onde de 30,720 Mbits/s, pouvant transmettre 480,000 voies téléphoniques, 320 canaux de télévision, 4,880 voies visiophoniques ou n'importe quelle combinaison équivalente. Les systèmes à venir pourraient avoir des groupes de voies MIC combinées par MPF dans des guides d'ondes à large bande. Cela donnerait un système d'une grande souplesse en ce qui concerne l'expansion, puisqu'il serait possible de commencer avec des

dispositifs à capacité relativement faible pour ajouter par la suite des groupes de plus grande capacité au fur et à mesure de la progression de la technique des guides d'ondes.

A cause des faibles pertes du guide d'ondes (3 dB par mille) un espacement de quinze milles entre les répéteurs suffirait.

Au Canada, la croissance nécessaire pour que les systèmes à guide d'ondes deviennent rentables n'est pas prévue avant la période de 1985 à 1990. Jusque là, les progrès dans la technologie des guides d'ondes, la conception des répéteurs et les techniques de mise en place peuvent peut-être rendre le système économique pour des capacités inférieures à 20,000 voies téléphoniques par guide d'onde. Si cela se réalise, les systèmes à guides d'ondes concurrenceront sérieusement les câbles coaxiaux. Pour les voies d'acheminement à très grande capacité, le système optique à laser peut s'avérer plus économique.

e) Le système optique à laser

Le principe du laser a été étudié pour la première fois en 1951 par T.E. Townes. Il n'est devenu exploitable qu'en 1960, quand Maiman a construit le premier laser à rubis. La décennie suivante a été le témoin d'une évolution importante. On a pu moduler par impulsions codées à 225 mégabits par seconde des rayons de lasers. Des modulations à des fréquences beaucoup plus élevées semblent être réalisables au cours de la période de 1970 à 1975 et par la suite.

Cependant, le milieu matériel de transmission représente un des obstacles principaux à la réalisation d'un système de communications optiques à laser. La transmission dans l'espace atmosphérique n'est pas réalisable à cause de l'imperméabilité du brouillard, de la pluie et de la neige à la lumière. Cela n'empêche pas cependant son utilisation pour des communications entre satellites. Pour l'utilisation terrestre, une solution possible serait de cantonner le faisceau laser dans un conduit creux utilisant des objectifs gazeux en régime laminaire pour contrôler la direction des rayons. Les coudes présentent cependant des difficultés. Le débit d'information d'une ligne de ce genre devrait atteindre quelque 10^{12} bits/seconde avant qu'on en ait besoin au cours de la période de 1985 à 1990. Dans le domaine des milieux de transmission, les fibres de transmission optique sont une possibilité importante. On a démontré que des fibres de verre à couches multiples de diamètre extrêmement faible peuvent être groupées pour former des câbles à voies multiples capables d'acheminer 10^9 bits/seconde avec une perte limitée à 20 dB par kilomètre. Cela représente une amélioration considérable par rapport à l'année précédente alors que les pertes pouvaient s'élever à 100 dB par kilomètre. En 1985, les fibres de transmission optique offriront probablement la meilleure des deux solutions parce qu'elles offrent de multiples

possibilités et n'ont pas besoin d'être rectilignes car la lumière suit les fibres sans perte supplémentaire dans les coudes. Elles peuvent, de plus, être enfouies dans le sol sans difficulté.

Les progrès prévus dans le domaine des émetteurs, des répéteurs et des récepteurs pourraient rendre ce système rentable au Canada entre 1985 et 1990 sur les voies d'acheminement à très haute densité.

4.1.7 Installations à courte distance de l'avenir

A cause de l'augmentation des frais de main-d'oeuvre, de matériel et de droit de passage, on avait insisté au cours de la dernière décennie sur la réalisation d'un compromis optimal entre la capacité des voies d'acheminement à courte distance et leur coût, grâce à l'utilisation de matériel électronique. Cette tendance continuera à se manifester de 1970 à 1980 et s'accroîtra peut-être de 1980 à 1990. Les circuits intégrés à grande échelle, les filtres numériques et, indirectement, les grands dispositifs économiques de mise en mémoire influenceront davantage sur le prix des installations à courte distance que sur celui des installations à grande distance.

A des fins d'analyse, nous subdiviserons encore les installations à courte distance en équipement terminal (émetteur et récepteur) et en milieu de transmission.

4.1.8 Équipement terminal des installations à courte distance

a) Systèmes MPF à courants porteurs

Divers types de systèmes à courants porteurs MPF-AM à 12 et 24 voies sont actuellement en service sur les voies d'acheminement bifilaires à courte distance. On utilise de plus du matériel multiplex à courants porteurs MPF-AM à 600 voies pour la transmission par radio FM à 2 et 7 GHz. Les filtres numériques, les circuits intégrés et les circuits intégrés à grande échelle bon marché assureront de nouveaux progrès aux systèmes MPF pendant les dix prochaines années, grâce surtout à un coût réduit et à certaines possibilités d'autoentretien. Il n'en demeure pas moins que les dispositifs analogiques ont jusqu'ici toujours été plus coûteux à exploiter que les systèmes numériques MIC-MPT. De plus, le prix de l'équipement terminal MIC à signalisation incorporée sera vraisemblablement très abordable d'ici 1971 dans les systèmes bifilaires à faible capacité. Entre 1980 et 1985, ce matériel sera plus économique que d'autres même sur les courtes voies d'acheminement à haute capacité.

b) Systèmes MPT à courants porteurs

Au Canada, les systèmes à courants porteurs MIC-MPT sont en exploitation depuis 1965 et se sont depuis développés à un rythme rapide. Il est possible que les services audiovisuels comme le visiophone soient un obstacle de taille pour les systèmes à courants porteurs MPF car il ne semble pas possible d'assurer économiquement l'acheminement de la visiophonie sous forme analogique par des techniques existantes ou prévisibles.

L'équipement terminal à courants porteurs MIC de la deuxième génération (à circuits intégrés et composants discrets) sera accessible au début de la période de 1970 à 1975. On disposera ainsi de circuits d'un rendement amélioré par rapport aux installations par fil déjà existantes, et d'un coût moindre pour les circuits dépassant une longueur de 8 à 12 milles.

L'équipement terminal MIC de la troisième génération sera probablement réalisable au début de la période de 1980 à 1985. Il comprendra des circuits intégrés à grande échelle et des filtres numériques et sera d'un encombrement dix fois moindre. La mise en service de la commutation MIC spatiale ou temporelle, rendue possible par les circuits intégrés à grande échelle et les mémoires bon marché, avantagera les systèmes MIC qui seront de plus en plus utilisés sur les voies d'acheminement tandem avec moins de bancs terminaux. Dans ce cas, le dispositif de commutation se limitera à transmettre l'information sans démodulation, ce qui favorisera les systèmes MIC au début des années 1980.

Le matériel à courants porteurs MIC-MPT de la première génération s'est révélé d'entretien facile. Les améliorations futures quant à la sûreté de fonctionnement et l'introduction de circuits intégrés à grande échelle et de dispositifs d'autocontrôle peu coûteux donneront à ce système des avantages certains.

On disposera probablement vers le milieu des années 1970 de moyens de multiplexage d'ordre plus élevé qui permettront de passer des 1.54 mégabit par seconde et par voie actuels à environ 280 mégabits par seconde sur les grandes voies d'acheminement à hyperfréquences ou à câbles coaxiaux utilisant le codage à niveaux multiples.

4.1.9 Milieus de transmission à courte distance

a) Faisceaux hertziens

(1) Les systèmes MPF-FM seront utilisés de 1970 à 1975 à des degrés de complexité divers. De 1975 à 1980, les dispositifs micro-ondes à semi-conducteurs de puissance élevée permettront la réalisation de systèmes entièrement transistorisés d'un coût

moins et plus faciles d'entretien dans les bandes de fréquences de 2 et 7 GHz. Après 1980, même en adoptant une gestion prudente du spectre des fréquences disponibles, il pourrait être souhaitable de conserver les fréquences pour les installations à grande distance, plutôt que de les utiliser pour les voies d'acheminement à courte distance.

(2) Les systèmes radio numériques MPT-MIC peuvent être très avantageux grâce à leur facilité d'entretien et à l'économie de spectre qu'ils assurent. On pense que ce genre d'installation sera d'un grand intérêt au début des années 1980 sur les voies d'acheminement à courte distance très achalandées. La grande souplesse qui caractérise les dispositifs numériques permettra d'acheminer économiquement tous les genres d'information.

b) Câbles coaxiaux

Les systèmes MPF et MPT de transmission par câble sont tous deux réalisables sur les voies d'acheminement à courte distance. La technologie actuelle semble favoriser les techniques numériques. Par conséquent, en se basant sur les besoins, les systèmes MPT seront vraisemblablement les plus appropriés pour l'avenir. Le besoin de nouvelles techniques ne se fera pas sentir car ces systèmes seront des versions de moindre capacité des systèmes à grande distance. En outre, ils pourront probablement utiliser les mêmes répéteurs numériques. Les études de prix indiquent cependant que jusqu'en 1985 au moins les systèmes de câbles bifilaires MIC à courants porteurs seront plus économiques que les systèmes à câbles coaxiaux de capacité moyenne, si on n'a pas besoin de transmettre des signaux de télévision.

c) Les systèmes à câbles bifilaires

Les répéteurs fonctionnent actuellement à la limite admissible de diaphonie des câbles bifilaires classiques, soit 1.54 mégabit par seconde. Les améliorations ultérieures seront amenées par la production de répéteurs à circuits intégrés beaucoup plus économiques, plus petits, et d'une grande fiabilité. Avant de parvenir à ces trois buts, il faudra trouver des moyens de contrôler les surcharges transitoires. Cependant, il devrait être possible vers la fin des années 1970 ou au début des années 1980 d'améliorer chacun de ces trois domaines (diminution de l'encombrement, réduction des prix et meilleure fiabilité des répéteurs) dans une proportion de cinq à un.

L'utilisation de câbles bifilaires de capacité (en farad) inférieure à celle des câbles actuellement utilisés semble être le moyen le plus approprié pour l'acheminement à courte distance dans les zones métropolitaines au cours de la période de 1975 à 1980. Les essais ont montré que l'on peut espacer les répéteurs de 2.5 milles dans une ligne MIC à 6.3 mégabits par seconde

capable d'acheminer 96 voies téléphoniques et une voie de visiphone ou l'équivalent. Il faut un espacement d'environ 1 mille entre répéteurs pour les câbles classiques.

La mise au point d'un câble bifilaire entoilé à extrusion simple et hautement symétrique pourrait s'avérer économique pour les voies à courte distance les plus longues. Un système utilisant ce genre de câble permettrait l'utilisation de répéteurs espacés de dix milles pour des vitesses de 6.3 mégabits par seconde.

4.1.10 Futures installations centrales de distribution

Les nouvelles techniques ont permis la réduction du coût des installations à courte et grande distances, et nous avons toutes les raisons de croire que cette tendance va continuer en même temps que s'amélioreront aussi la transmission et la souplesse. Quand on examine les installations centrales de distribution dont l'évolution a été très limitée, il semble paradoxal que nous n'ayons pas réussi à mieux appliquer les nouvelles techniques à ce domaine de la transmission. En même temps, il faut se rappeler que dans le climat technologique actuel il ne s'agit plus de se demander si quelque chose est réalisable car "tout est possible", mais plutôt de se demander "s'il est possible de le faire plus économiquement".

Notre société vit dans une communauté compartimentée dans l'espace. Pour distribuer l'information là où n'existent pas les économies dues à l'usage généralisé et à la capacité élevée des installations à courte et grande distances, il faut utiliser le type d'installation le plus économique. Au cours des deux prochaines décennies, on peut avoir à utiliser trois types fondamentaux d'installations à des degrés divers. Il s'agit du câble bifilaire, du câble coaxial et de la distribution par radio.

a) Distribution par câble bililaire

Dans la technologie des câbles bifilaires, trois catégories fondamentales offrent des solutions.

- (1) Les câbles ordinaires à paires torsadées tels qu'on les trouve aujourd'hui dans les circuits de distribution sont économiques et permettraient un débit beaucoup plus élevé que celui qu'on utilise actuellement. Chaque paire permettrait une transmission unidirectionnelle à environ 1.5 mégabit par seconde avec des répéteurs espacés de 1.15 mille. Des systèmes de distribution à courants porteurs utilisant des circuits intégrés et des filtres numériques pourraient se révéler économiques entre 1975 et 1980 tout en assurant une

meilleure transmission. Entre 1975 et 1980, la mise en service d'un nouvel appareil téléphonique à signalisation et contrôle par tonalités, à faible courant de boucle, ou même à alimentation à distance, pourrait considérablement réduire le calibre des fils et, partant, le coût des installations de distribution.

- (2) Des câbles bifilaires de faible capacité, semblables à ceux utilisés dans les installations de transmission à courte distance, pourraient aussi être mis en service pour permettre un débit d'information plus élevé. D'après le niveau actuellement accessible, on peut envisager des installation à 6.3 mégabits par seconde avec des répéteurs numériques espacés de 2.5 milles.
- (3) Si on a besoin de débits d'information plus élevés, on peut aussi utiliser des types de câbles à paires hautement symétriques qui répondraient à ces besoins ou permettraient un plus grand espacement des répéteurs. Les sociétés exploitantes de télécommunications ont une longue expérience de ce genre de câbles.

Dans le passé, les frais de commutation étaient plus élevés que les frais de transmission. Aujourd'hui, les frais de la commutation locale sont comparables à ceux de la distribution. A mesure que les appareils de commutation deviendront plus petits et moins coûteux durant la période de 1980 à 1985, il devrait être possible de décentraliser les matrices de commutation. Cela pourrait favoriser la distribution par câbles bifilaires, car les circuits d'abonnés seraient ainsi beaucoup plus courts et on ferait un meilleur usage des voies d'acheminement entre matrices de commutation. La diminution de la longueur du câble supprimerait les répéteurs individuels des circuits d'abonnés pour les installations à large bande et éviterait les problèmes des courants longitudinaux présents dans les câbles coaxiaux.

b) Systèmes à câbles coaxiaux

Il existe deux possibilités pour les systèmes de distribution par câbles coaxiaux: la boucle coaxiale et le système coaxial commuté à câbles individuels.

- (1) On pourrait réaliser le système de distribution à boucle coaxiale soit en multiplexage par partage des fréquences, soit en multiplexage par partage du

temps. Un gros tube coaxial à large bande sillonnerait une agglomération en reliant environ 200 abonnés avant de revenir à son point de départ. La même installation pourrait fournir des services unidirectionnels tels que la télévision et la radio AM et FM, et des services bidirectionnels tels que la visiophone, le téléphone et la transmission des données. Les études de prix de revient actuellement en cours indiqueront sans doute qu'un tel système n'est économique que s'il assure simultanément un grand nombre de services. De plus, il ne serait pas aussi intéressant dans les régions à faible population que dans les régions métropolitaines.

- (2) La distribution individuelle commutée par câble coaxial est la deuxième possibilité. On utiliserait un câble coaxial miniature au lieu du câble bifilaire dans le réseau de distribution. A la différence du câble bifilaire, le câble coaxial n'est pas facile à épisser ni à dércuter après la mise en place. Selon le degré réalisable de décentralisation de la commutation, ce système pourrait avoir des applications si on veut distribuer simultanément tous les genres d'information (visiophone, téléphone, télévision, radio FM, etc.)

Chacun des deux systèmes exigera un matériel électronique fiable et à bon marché. Bien qu'on apportera des améliorations dans les domaines de l'encombrement et du prix de revient pendant la période de 1970 à 1980, les principaux perfectionnements seront rendus possibles grâce aux circuits intégrés à grande échelle et aux filtres numériques au cours de la période de 1980 à 1985. Certains services spéciaux, comme les émissions de télévision acheminées pour les réseaux de télévision, seront probablement sous forme numérique sur certaines voies d'acheminement entre 1975 et 1980. A mesure que le nombre de voies d'acheminement augmentera, les services de radiodiffusion devront passer à un mode numérique pour mieux tirer parti des installations numériques. La distribution locale se fera probablement par câble coaxial individuel à cause des débits d'information extrêmement élevés qui seront nécessaires.

c) Systèmes de distribution par radio

Nous parlerons ici de la radio mobile, des systèmes de téléappel et des systèmes radio haute fréquence et en zone limite.

- (1) L'usage public de la radio mobile rappelle beaucoup l'utilisation du téléphone à ses débuts. Il sera possible à l'avenir d'éliminer l'intervention de la téléphoniste; on pourra en effet doter les stations mobiles de cadrans de composition dès que les sociétés exploitantes auront mis au point des appareils économiques empêchant l'utilisation frauduleuse de leurs services. Avant d'être en mesure d'étendre ce service, on doit pouvoir disposer d'un grand nombre de voies, dans la bande supérieure UHF peut-être. Il faut aussi pouvoir disposer d'appareils économiques à semi-conducteurs pour utiliser les milliers de voies de cette bande de fréquence dans laquelle chaque appareil pourrait peut-être avoir accès à 50 voies en utilisant un dispositif automatique d'exploration des fréquences. On pourrait procéder à la répartition des fréquences de façon à donner accès à l'utilisateur à 20 voies au moins, en tout point géographique. On pourrait peut-être utiliser les principes du vocoder vers 1980-85 pour permettre l'utilisation de voies plus étroites. Bien qu'une grande partie de la technologie nécessaire soit aujourd'hui connue, ce genre de service ne sera économique par rapport aux autres types de communications que si on peut réaliser des progrès importants dans les domaines de la fiabilité et du coût des appareils. A l'heure actuelle, les frais d'installation sont d'environ \$1500 par ligne, alors qu'ils ne sont que de \$300 pour les câbles bifilaires classiques.
- (2) Un système de téléappel radio constitue essentiellement la partie signalisation d'un futur système portatif de communications. A cause des attributions limitées de fréquences, l'exploitation dans la bande VHF semblerait rendre souhaitable l'adjonction au système d'un dispositif de recherche à large bande pour la signalisation, mais non pas pour la radiotéléphonie unidirectionnelle. Une méthode plus appropriée consisterait à appliquer un système de réponse-rappel, dans lequel l'abonné appelé pourrait composer son propre numéro sur n'importe quel appareil téléphonique pour que le réseau lui passe la personne qui le demande. Ce système permettrait une bien meilleure utilisation du temps et des fréquences. Une autre possibilité

consisterait à envoyer le numéro qui effectue l'appel au poste appelé pour mise en mémoire sous forme numérique. Il s'agit là dans tous les cas de fonctions de signalisation qui pourraient être assurées avant 1975.

Si on peut disposer de fréquences dans la bande de 100 à 200 GHz, on pourrait obtenir des communications radiotéléphoniques bidirectionnelles à l'échelon régional en 1990 en utilisant des filtres numériques à circuits intégrés à grande échelle et des dispositifs haute fréquence à semi-conducteurs. Cela fournirait un type de service téléphonique portatif individuel dont la partie distribution se ferait par radio. Dans un tel système de distribution, le coût du matériel serait encore le facteur dominant.

- (3) Les services de radio haute fréquence et en zone limite fonctionnant dans les bandes HF, VHF et UHF constitueront encore le type de service le plus économique pour communiquer avec les stations individuelles situées dans des endroits éloignés du Canada pendant les deux prochaines décennies. Au cours de cette période, le coût de l'équipement terminal diminuera à mesure que l'on fera un usage plus généralisé des circuits intégrés dans les appareils. De même, il sera possible d'utiliser de meilleurs systèmes de modulation et des codes de correction d'erreurs pour améliorer la transmission des données par radio.

4.2 COMMUTATION

En télécommunications, la commutation sert à choisir le poste appelé et à établir une liaison qui tire le meilleur parti possible des installations de transmission du réseaux. Sans l'utilisation de systèmes centralisés de commutation, chaque abonné devrait assurer sa propre commutation à domicile, et des installations particulières seraient nécessaires pour assurer l'interconnexion des abonnés du réseau. Pour un abonné, cette solution nécessiterait le nombre maximal de lignes distinctes, soit $n(n-1)/2$ (environ 13×10^{12} au Canada), ce qui est évidemment inacceptable. Si on prend l'autre extrême, un central de commutation unique pourrait réduire le nombre de lignes distinctes au minimum de n , (environ 5×10^6 au Canada). La longueur moyenne serait cependant de plusieurs centaines de milles par ligne.

Il existe entre les deux extrêmes une solution économique basée sur la densité de la population, la distance entre les centres principaux, le trafic ou l'utilisation du réseau, le

nombre total d'usagers, les frais de commutation, les frais de transmission et le coût des installations. Cependant, l'économie fondamentale réside, grâce à l'utilisation de systèmes à commutation multiple, dans la possibilité de faire partager aux abonnés les voies de transmission en direction des lieux éloignés.

Commutation spatiale

La configuration de réseau qui s'est développée au Canada est celle dans laquelle un groupe d'abonnés se partagent un centre local de commutation relié à tous les autres centraux de commutation. Dans le cas de la téléphonie, il s'agit d'une structure hiérarchique comportant cinq niveaux de commutation. On réalise ce genre de commutation par répartition dans l'espace: c'est la commutation spatiale. Dans ce genre de commutation, les points de croisement dans la matrice de commutation établissent une liaison matérielle entre les abonnés pour la durée entière de l'appel établi. On peut aussi utiliser ce mode pour la commutation d'ensembles ou de groupes de voies dans le système multiplex de transmission; il s'agit alors de la commutation de groupe.

Commutation temporelle

Une liaison ininterrompue n'est pas essentielle à la transmission de l'information. Cette caractéristique est en fait utilisée dans tous les systèmes à courants porteurs à multiplexage par partage du temps (MPT), comme les systèmes MIC utilisés au Canada depuis 1965. Dans un système de commutation temporelle, on attribue à chaque abonné un secteur de temps particulier pendant lequel sa voie est ouverte ou une liaison est établie entre deux points. Pourvu que l'intervalle de temps entre les ouvertures successives de voies soit suffisamment court, on peut obtenir une transmission continue sans distorsion.

Commutation par mise en mémoire et acheminement ultérieur

La mise en mémoire et l'acheminement ultérieur des appels est une autre forme de commutation qu'on peut réaliser par partage de l'espace ou du temps, avec en plus en élément de retard. Dans ce cas, les informations, sous forme de message, sont envoyées par l'abonné qui effectue l'appel au commutateur de mise en mémoire et d'acheminement qui garde le message jusqu'à ce qu'il puisse plus tard être transmis à l'abonné appelé. Bien que par le passé on ait réalisé de nombreux systèmes basés sur cette méthode (depuis les services d'abonnés absents jusqu'aux ordinateurs numériques modernes qui mémorisent, traduisent et acheminent des informations, p. ex. le service de transmission des données par commutation de messages), on a à peine effleuré l'étendue des possibilités de ce type de commutation. Ce concept en lui-même

fournit un débouché pour une utilisation plus importante des moyens de communications.

4.2.1 Évolution de la commutation au Canada

Systeme manuel

Au Canada, on peut suivre l'évolution de la commutation depuis les premiers jours du téléphone quand avec une quantité appropriée de fils et quelques abonnés seulement, les liaisons étaient établies manuellement et à demande. Les perfectionnements apparurent quand les jacks remplacèrent les bornes terminales et que les connexions volantes remplacèrent les cordons de connexion. Cette forme de commutation existe encore dans les PBX manuels (centraux privés d'abonnés) où c'est une standardiste qui assure la connexion entre les personnes qui effectuent l'appel et celles qui sont appelées, à l'intérieur ou à l'extérieur.

Systemes de commutation pas-à-pas

Le premier essai de suppression de la standardiste dans le système de commutation eut lieu au Canada au début du siècle quand les commutateurs Strowger, associés à un dispositif de signalisation (le cadran ratatif), permirent la réalisation pas-à-pas ou numéro par numéro de la fonction commutatrice de sélection et de liaison par le demandeur. Dans les grands centraux, ce matériel devint rapidement au moyen économique d'éviter certains des désavantages du tableau de commutation manuel. Il ne comprenait cependant pas de dispositif de mise en mémoire, et chaque numéro provoquait l'établissement d'un processus irréversible. Si à une étape quelconque de l'établissement de l'appel le circuit était occupé, le système n'était pas capable de trouver une autre voie d'acheminement et la personne qui appelait devait recomposer le numéro jusqu'à ce qu'une voie libre soit trouvée. Bien que ce système ait reçu depuis des améliorations pour arriver à une plus grande sûreté de fonctionnement et assurer l'accès à un plus grand nombre de voies, le problème fondamental demeurait toujours.

Systemes à commande centralisée

Au début des années 1950, alors que les compagnies de téléphone canadiennes envisageait la mise en service de l'interurbain automatique, il apparut que la technique de l'acheminement par sélection de voie était essentielle pour le réseau interurbain si on voulait réaliser une liaison économique entre les différentes agglomérations urbaines. A cette époque, le premier système de commutation "crossbar", utilisant un matériel à commande centralisée, des possibilités de mise en mémoire et des méthodes d'identification automatique des pannes, était mis en service au Canada. Avec ce système, le matériel

pour établir une communication ne servait que pendant l'établissement de l'appel et était ensuite libéré peut être réutilisé par d'autres abonnés sur une base de partage du temps. D'autres nouveaux types de services pourraient être offerts comme la composition numérique par tonalité, l'acheminement spécial et une méthode plus économique de comptabilisation et de facturation par identification automatique du numéro qui appelait. Ces systèmes plus souples ont d'abord été mis en service dans des zones limitées, mais, à mesure que l'expérience de l'exploitation s'étendait, ils se sont rapidement développés et ils assurent maintenant environ 40% des communications commutées au Canada.

Un avantage secondaire obtenu de ces commutateurs "crossbar" était un rendement très amélioré en ce qui concerne le bruit et la diaphonie. Grâce à ce dernier avantage, on pouvait aussi utiliser le commutateur crossbar pour les services qui n'étaient auparavant assurés qu'à l'occasion (émissions de radio et de télévision). Ces services permettent maintenant la transmission d'émissions en direct avec une qualité très acceptable.

Vers la fin des années 1960, alors que la transmission des données se développait, le besoin d'un service commuté devint évident. Des services tels que la diffusion simultanée de données vers plusieurs points du réseau, les connexions automatiques entre stations individuelles, les liaisons rapides, la conversion de la vitesse de transmission des données, la mise en mémoire et l'acheminement ultérieur des données, exigeaient des possibilités de commutation qui n'avaient pas à l'origine été prévues dans le réseau téléphonique. Encore une fois, la souplesse d'utilisation de la commande centralisée des commutateurs crossbar s'avéra apte à satisfaire les besoins de commutation spatiale de ces services. Les commutateurs crossbar des centraux téléphoniques locaux ont donc été utilisés pour répondre à ces besoins, avec la plupart des avantages économiques du réseau téléphonique commuté. Les centraux locaux de commutation crossbar ont également servi à répondre aux besoins de transmission des données sur large bande, par la simple addition de matrices de commutation distinctes à quatre fils pour les lignes locales et interurbaines. Ces matrices contrôlées par le matériel à commande centralisée existant permettaient aux usagers de réaliser des économies puisqu'il n'était pas nécessaire d'installer un nouveau matériel de commande.

Commutateurs électroniques à commande par programme enregistré

Bien que des centraux crossbar à commande centralisée soient encore mis en place, une nouvelle génération de dispositifs de commutation est entrée en service au Canada en 1967. Elle se présente sous la forme d'un système de commutation électronique utilisant une commande centralisée à programme enregistré (ESP, Electronic Stored Program). La première génération de ces dispositifs électroniques à programme enregistré ne saurait à

cause de son prix assez élevé remplacer les appareils actuels. Ces dispositifs sont en effet assez complexes, avec leurs processeurs centraux à composants discrets, leurs points de croisement électromécaniques et leurs mémoires peu pratiques. Dans le domaine de la conception, de la fabrication et de l'exploitation, ils apportent néanmoins une expérience absolument nécessaire sur laquelle on pourra bâtir la génération future de commutateurs économiques.

Jusqu'ici, l'expérience acquise dans les centraux à commutateurs ESP a établi la souplesse extrême de ces dispositifs. On peut ajouter rapidement et à peu de frais de nouvelles options au programme de tous les centraux. Des options telles que la composition abrégée, la possibilité de transfert des appels, la possibilité de transférer ou de diriger les communications à l'arrivée vers un autre poste et les appels de conférence tridirectionnels, illustrent toutes la souplesse que le système assure à peu de frais.

La mise en mémoire et l'acheminement ultérieur des appels ainsi que la conversion des différentes vitesses et formes de données (nécessaire pour rendre compatibles des appareils à caractéristiques différentes) coûtent moins cher grâce aux commutateurs ESP. Ces commutateurs n'ayant été introduits au Canada qu'en 1967 en mis en service commercial qu'en 1969, un petit dispositif ordinateur a été introduit en 1968 pour assurer ces services jusqu'à ce qu'il soit possible de les combiner tous dans une génération future de commutateurs ESP.

Il est aussi possible d'assurer des services de transmission des données en duplex sur voie téléphonique en utilisant les commutateurs ESP actuels. Cependant, comme la génération future de commutateurs électroniques assurera vers 1975 un service intégré plus économique, le trafic existant au Canada sera provisoirement assuré par de petits commutateurs à commande centrale du type crossbar. Il est néanmoins évident que vers 1975 les systèmes de commutation ESP se chargeront facilement des connexions complexes à établir pour la téléphonie locale et interurbaine et la transmission des données et des émissions de radio et de télévision.

La grande vitesse des unités de traitement de ces commutateurs futurs ne permettra de réaliser des économies que si le trafic est très dense et comprend un très grand nombre de services dans un réseau intégré. Cela représentera la seule façon d'assurer des avantages aux usagers.

4.2.2. L'avenir des systèmes de commutation

Il existe actuellement trois domaines principaux dans la technologie de la commutation qui exigent des recherches poussées afin de réduire les coûts.

Circuits logiques

On doit tout d'abord obtenir une diminution très importante du coût des éléments de circuits logiques. Dans les commutateurs électroniques actuels, on n'a presque pas utilisé de circuits intégrés. Malgré cela, leur prix n'est que légèrement supérieur à celui d'un système équivalent du type crossbar. Lorsque l'on considère les répercussions possibles des circuits intégrés à grande échelle grâce auxquels on pourra concentrer vingt ou trente bascules sur une pastille qui coûtera autant qu'une seule bascule actuelle, il est certain que les commutateurs électroniques présenteront de grands avantages pendant la période de 1975 à 1980. L'utilisation de circuits intégrés avant cette période permettra aussi certaines réductions de prix.

Mémoire

Le deuxième obstacle est la production d'un élément de mémoire qui soit meilleur marché, moins encombrant et de vitesse plus élevée. Même les nouveaux systèmes ESP actuellement à l'essai, et qu'on pense mettre en service au Canada en 1972, ont une capacité limitée par la vitesse des mémoires.

Il existe heureusement au moins trois possibilités dans ce domaine, et l'une d'elles pourrait répondre aux besoins. Les mémoires pourvues de transistors à effet de champ au silicium-oxide métallique (MOS), les mémoires à bulle magnétique en orthoferrite et peut-être une certaine forme de mémoires holographiques fourniront, lorsqu'elles seront au point, une mémoire moins chère et d'une vitesse suffisante. On obtiendra ainsi des commutateurs ESP, facilement adaptables à la commutation des messages, qui seront peu coûteux et permettront un usage économique de l'unité de traitement. La date à laquelle nous pourrons disposer de ces appareils est quelque peu incertaine. Nous pouvons cependant espérer que des mémoires rapides, à grande capacité et peu coûteuses feront partie des systèmes de commutation entre 1975 et 1980. Cela coïnciderait avec l'introduction prévue des circuits intégrés à grande échelle.

Quoique la vitesse des processeurs constitue aujourd'hui un autre obstacle, on pense disposer dans l'avenir immédiat de dispositifs de traitement dix fois plus rapides que les commutateurs actuellement à l'essai. La vitesse des mémoires est par conséquent d'une très grande importance pour la réalisation de commutateurs à meilleur marché qui permettront d'atteindre l'objectif d'intégration complète des systèmes de communications.

Technologie de la programmation

Les techniques de programmation constituent le troisième obstacle aux systèmes de commutation ESP en ce qui concerne tant la programmation des centraux ESP que l'efficacité du programme en fonction du traitement par machine ou en temps réel. Pour obtenir la solution optimale, on doit arriver à un compromis entre le temps de programmation et l'addition de matériel de traitement supplémentaire. Il faudra utiliser à l'avenir des compilateurs plus efficaces pour une programmation peu coûteuse et un traitement efficace en temps réel.

Commutateurs futurs

D'une manière générale, deux catégories de centraux électroniques à programme enregistré sont prévisibles. Le choix à faire dépendra uniquement de facteurs financiers.

Communtation spatiale

Le premier type sera peut-être un prolongement du central ESP de commutation spatiale que nous connaissons aujourd'hui. Les relais à lames vibrantes sous capsule de verre utilisés dans les appareils de la première génération sont onéreux et ne peuvent au mieux que remplacer provisoirement la matrice de commutation. La version suivante de commutateur, que l'on peut considérer comme la prochaine demi-génération, emploiera, pour des raisons purement financières, une version miniature du commutateur mécanique crossbar avec des circuits intégrés à moyenne échelle dans l'unité de traitement. Des réductions de prix ont rendu possible le remplacement de la mémoire inaltérable actuellement utilisée par un type de mémoire altérable. Cela facilitera énormément la mise à jour du programme si l'utilisateur a besoin de changer l'information enregistrée.

Dans la prochaine génération de central électronique de commutation spatiale, il sera nécessaire de mettre au point de nouvelles techniques permettant la réalisation de points de croisement à semi-conducteurs dans la matrice de commutation. Trois problèmes s'opposent pour le moment à l'utilisation de tels dispositifs. Ils doivent d'abord subir le courant de boucle associé au système de surveillance du client. Ensuite, ils doivent pouvoir résister à la tension d'appel élevée utilisée à l'heure actuelle pour avertir l'abonné demandé. Enfin, ils doivent pouvoir résister à des surtensions transitoires produites par la foudre ou par la connexion d'adjonctions extérieures. Bien que de nouveaux types de terminaux (appareils téléphoniques) puissent éliminer les deux premiers problèmes, on aura toujours à faire face à la question de la protection contre les surtensions. Cependant, si on peut résoudre économiquement ce problème, un dispositif ESP à commutation spatiale de la deuxième génération sera réalisable au début des années de 1980.

Commutation temporelle

La deuxième catégorie de central ESP présente actuellement un avantage financier sur la première pour les centraux de commutation tandem. Il s'agit du central ESP de commutation temporelle. Les fonctions de transmission mises à part, tous les systèmes antérieurs de commutation ont depuis le début même de la téléphonie automatique utilisé des circuits de commutation et des circuits logiques numériques, comme par exemple les systèmes actuels de traitement des données. Avec la commutation temporelle, la similitude devient complète, et le commutateur ne peut pas être différencié du matériel de transmission multiplex.

Commutation tandem

En faveur des centraux ESP de commutation temporelle, on peut citer les avantages de la commutation tandem là où existent d'importantes concentrations d'installations à courte distance MIC à courants porteurs. De plus, ces centraux ne requièrent pas de commutateurs à semi-conducteurs plus complexes que ceux dont on dispose aujourd'hui. Des études de coûts et la planification actuelle favorisent les systèmes MIC pour les installations à grande distance. Aussi, lorsqu'une seconde génération de commutateurs ESP sera au point, on pourra réaliser d'importantes économies en faisant une commutation MIC directe, sans décodage avant la commutation. L'utilisation de la commutation temporelle ESP en MIC éliminerait dans un grande mesure la nécessité de suivre une hiérarchie stricte dans le processus de commutation. Une connexion passant par plusieurs centraux tandem pourrait alors se faire directement sans que des opérations successives de codage-décodage nuisent à la transmission, comme c'est le cas pour la commutation spatiale analogique. Avec cette forme de commutation et de modulation intégrée, on n'a besoin que d'une seule conversion analogique-numérique indépendamment de la distance, et la qualité de la transmission étant plus ou moins indépendante de la longueur du circuit (le retard de transmission mis à part), cette qualité serait la même quelle que soit la distance de transmission. Le même principe serait applicable aux circuits internationaux, pourvu que les installations à l'étranger soient compatibles avec celles du Canada.

L'élimination des opérations de modulation-démodulation à chaque commutateur est le principal avantage de la commutation en MIC.

Centraux urbains (centraux de commutation locale)

Les arguments en faveur des centraux locaux ou urbains diffèrent de ceux en faveur des centraux tandem cités ci-dessus. On utilise le central urbain pour la commutation locale. Il constitue un point de rencontre des lignes d'abonnés et des installations de transmission à courte distance. A cause de la

densité du trafic, ces installations ne comprennent pas autant de lignes de transmission que d'abonnés.

Systèmes de commutation hybrides

Le codeur qui permet de transformer le signal analogique en signal MIC étant pour le moment un élément coûteux du réseau, on estime actuellement que pour le téléphone, ou tout autre signal analogique, le codeur devrait être placé sur les lignes de transmission (moins nombreuses) plutôt que sur les lignes d'abonnés. Cela implique que le premier niveau de concentration des services analogiques soit réalisé par commutation analogique ESP spatiale ou temporelle. On ne sait pas encore si cette application nécessitera ou non des points de croisement à semi-conducteurs. Quoi qu'il en soit, la commutation spatiale ou temporelle peut être intégrée dans le processeur central, et les deux types de commutation peuvent coexister sous la commande du processeur.

Lorsqu'on a besoin d'installations numériques ou de largeurs de bande accrues pour la distribution locale, les facteurs dominants sont les prix de revient de la ligne haute fréquence et du matériel électronique nécessaire au conditionnement de la ligne. Contrairement au cas des lignes de transmission, on ne peut pas réaliser d'économies par l'utilisation partagée des répéteurs dans les installations de distribution. Si l'abonné pouvait toujours utiliser à plein rendement un système MIC à courants porteurs (donc utiliser pleinement les 1.5 mégabit/seconde qu'on estime généralement être la limite d'un câble bifilaire ordinaire), on réaliserait alors bien sûr des économies. D'autres types de distribution locale seraient également économiques si on pouvait atteindre un certain rapport capacité/longueur, mais dans la plupart des cas les abonnés n'ont pas besoin de débits d'information d'une telle rapidité. Cependant, si cela était nécessaire, on pourrait facilement connecter ces installations à une matrice de commutation temporelle commandée par le même commutateur ESP et se servir des mêmes lignes de transmission, les instructions appropriées étant envoyées au central terminal par une voie de données à signalisation par commande centralisée.

Commutation décentralisée

Après 1980, la commutation décentralisée comptera sans doute parmi les possibilités de commutation locale de tous les types d'information. Dans ce cas, non seulement la commutation se fonde avec la transmission, comme dans la première génération des commutateurs temporels ESP, mais elle devient une partie indiscernable des installations centrales. Le degré et le rythme d'intégration dépendront essentiellement de trois facteurs technologiques. En premier lieu, vient la vitesse des processeurs centraux, en deuxième lieu, le prix de revient et

surtout la sûreté de fonctionnement des circuits intégrés à grande échelle et, en troisième lieu, l'encombrement et le prix de revient des mémoires.

Dans ce type de commutation, un grand processeur central capable d'acheminer plusieurs dizaines de milliers de voies de communications sera relié à ses voisins par des voies communes de signalisation. Les matrices de commutation spatiale ou temporelle ne seront pas centralisées mais réparties uniformément parmi les installations centrales. Des noeuds de commutateurs seront à leur tour reliés et télécommandés par leur processeur central. Cela permettra des économies dues à la concentration des installations à proximité des abonnés et à la réduction de la longueur des boucles locales. A mesure que la longueur des installations locales diminue, il devient de plus en plus possible de réaliser économiquement des boucles locales numériques ou analogiques à large bande puisque les répéteurs pourront être éliminés. La transmission entre les noeuds de commutation et les centraux tandem se ferait bien sûr au moyen d'installations numériques, ce qui permettrait de répondre à tous les besoins de communications entre noeuds de commutation au moyen d'installations collectives.

4.3. TRANSDUCTEURS

A toutes fins pratiques, les transducteurs sont les éléments d'un système de communications nécessaires à la conversion de l'information d'origine humaine ou mécanique, et en une forme d'énergie pouvant être transmise par des moyens électriques. L'action complémentaire de reconversion plus ou moins fidèle de l'énergie électrique en information intelligible est implicitement contenue dans cette définition. Un transducteur est un dispositif fonctionnant en temps réel bien qu'on puisse traiter les données de nombreuses façons avant, pendant et après la transmission.

Le transducteur est l'élément actif d'un terminal de communications. Il assure la jonction entre le milieu extérieur de l'utilisateur et le système de communications. Il doit cependant être entièrement compatible avec ce système.

Les transducteurs peuvent prendre des formes très variées. Leur nombre n'est limité que par leur rapport avantages/coûts pour l'utilisateur. Les sous-systèmes des réseaux de télécommunications sont moins variables. Ils ont des caractéristiques bien définies, un comportement sujet aux probabilités, une inertie due à leur prix et aux normes auxquelles ils doivent répondre. Ils font l'objet d'innovations planifiées et sont sujets à des compromis du fait de leur intégration dans un système. Même pour la manœuvre d'un simple manipulateur morse, il faut bien plus que deux fils de cuivre

pour couvrir les distances qui séparent divers endroits du Canada.

Les transducteurs doivent être sensibles à des voix basses et hautes, à l'éclat du soleil aussi bien qu'à la lueur d'une chandelle. Les paramètres du réseau de transmission sont beaucoup plus étroitement définis. Le signal de sortie d'un transducteur doit donc se situer dans les limites de tolérance du réseau ou bien la combinaison transducteur-réseau-terminal doit limiter ou amplifier ce signal. Les considérations de sécurité et de propriété doivent faire l'objet d'un maximum d'attention. Dans toutes les applications du transducteur, le réseau de communications commun à tous les usagers doit être protégé contre les abus. La vitesse, la précision, la sûreté de fonctionnement, la facilité d'entretien et la complexité dépendent du prix de revient, de la conception et de la fabrication et de la qualité et de la conception globale du système. La valeur du service fourni est généralement limitée par son point le plus faible.

Communications de personne à personne

Les communications primaires de personne à personne sont essentiellement audio-visuelles et ont lieu dans un espace commun. Cela suppose une interaction matérielle. Le concept de "présence" comme élément de la communication de personne à personne est également admis, sans toutefois être assez défini pour s'adapter aux compétences du concepteur. La feuille de papier, mode de communication traditionnel qui convient à la transmission d'un fait ou d'une action, a beaucoup moins de valeur que la "présence" dans l'interaction ou la négociation.

Le mode de communication visuel bidirectionnel semble être celui de l'avenir.

Des modèles expérimentaux de milieux à espace collectif, dotés d'une capacité d'interaction telle que la poignée de main à distance, ont été réalisés dans les laboratoires du Massachusetts Institute of Technology. On utilise dans le réseau des dispositifs de communication graphique en temps réel. Les communications visuelles ont un langage commun de gestes, d'images ou de dessins, mais la simple reproduction de la parole sur le papier apporte peu à la réduction de la barrière linguistique. Il est peu probable que d'autres moyens de communications plus directs de personne à personne, comme la télépathie, soient réalisés dans la période de temps à l'étude. Nous nous occuperons par conséquent de l'adaptation des sens humains de la parole, de l'ouïe, de la vue et du toucher au réseau de transmission. Des recherches sur la perception des couleurs par l'homme peuvent permettre de transmettre la couleur avec des économies notables d'information, mais elles ne changeront cependant pas les concepts fondamentaux des communications de personne à personne.

L'accès rapide et facile d'une personne à toute autre dans le réseau auquel on parvient avec un minimum de restrictions administratives, collectives ou temporelles est un objectif d'importance. La possibilité de n'être "pas disponible" est une caractéristique essentielle des rapports de personne à personne, et jusqu'à un certain point, des communications de personne à machine. Ce qui manque aujourd'hui aux communications de machine à machine est la possibilité de compenser les effets de grandes différences de niveau, de clarté, de bruits de fond et d'autres conditions indésirables.

La parole a un niveau de redondance élevé, et la mémoire humaine peut retrouver la plupart des informations perdues en cours de transmission. L'oeil est beaucoup moins tolérant à l'égard des erreurs ou de la distorsion, mais encore une fois, le cerveau effectue généralement une certaine interprétation. On ne peut incorporer cette faculté aux machines qu'à un certain prix et jusqu'à un certain point. Cependant, on peut utiliser le codage de détection et de correction d'erreurs pour arriver au même résultat. Il existe des compromis entre la complexité du codage, la complexité des machines et les frais de communications. Pour arriver à ces compromis, il faut avoir une connaissance approfondie de chaque sous-système afin de trouver la solution optimale dans chaque cas particulier. On ne peut toutefois tirer le meilleur parti de cette possibilité de correction des erreurs qu'en l'appliquant entre deux points donnés.

Communications de personne à machine

Ce genre de communications a deux aspects. D'une part, la machine joue le rôle d'intermédiaire entre deux personnes en présentant des documents transitoires (tube à rayons cathodiques) ou permanents (téléimprimeur). De l'autre, l'homme travaille de concert avec une machine, dont le rôle consiste à lui faciliter la tâche ou à mieux mettre en valeur son travail en prolongeant sa propre mémoire ou sa bibliothèque. Dans un système homme-machine, l'homme a jusqu'ici fourni l'intelligence et accepté les restrictions imposées par les possibilités limitées de la machine.

La vitesse d'entrée-sortie de ce système est limitée par l'homme. Elle est probablement d'environ 150 bits par seconde dans le sens homme-machine, et d'environ 500 bits par seconde dans le sens machine-homme pour la réception directe de l'information, quoique des vitesses plus élevées puissent être nécessaires pour la lecture par exploration et l'entrée en sténo. Le langage personne-machine, ou codage, constitue le facteur de limitation, et il est peu probable qu'il se produira des changements rapides et importants dans ce domaine. L'homme s'habituera tout simplement mieux au codage mais ne pourra probablement pas faire d'autres progrès.

Pour la transmission des textes écrits ou les systèmes de commutation de messages, la vitesse sera limitée par la machine et le milieu de transmission. Ce moyen demeurera le meilleur du point de vue économique. La vérification avant la transmission, qui dépend de la fiabilité du système homme-machine, peut également être un facteur important (comme dans la préparation et la vérification d'une bande magnétique hors circuit). Après la préparation et la correction de la bande, les facteurs dominants du prix de revient seront les frais de transmission et les frais d'exploitation de la machine par seconde.

Les applications les plus simples mises à part, une certaine forme de dialogue homme-machine sera essentielle. L'utilisation croissante des systèmes homme-machine dans le commerce, et bientôt dans les ménages, conduira à la mise en service de toute une gamme de transducteurs spécialement conçus à cette fin.

Communications de machine à machine

Il faut examiner deux cas importants. Le premier est la boucle fermée sans intervention humaine, dans laquelle toute interaction se fait par actions et réactions programmées. Dans le deuxième cas, l'homme fait partie de la boucle et commande de l'extérieur le système de machine à machine.

Les différences importantes de langage, de logique, de mécanisme d'accès à la mémoire et de vitesse entre l'homme et la machine imposent l'utilisation d'affichages transitoires ou de documents en clair. Il faut donc décider de quelle manière ces dispositifs seront associés au système entier. Les décisions dans ce domaine dépendent des frais de transmission et de mémoire ainsi que d'autres facteurs dont nous parlerons plus tard. La vitesse d'échange entre deux ordinateurs peut dépasser 300 mégabits/seconde. A l'heure actuelle, de telles machines sont relativement peu nombreuses, et des communications à haute vitesse de point à point avec possibilité d'atteindre plusieurs destinataires peuvent répondre à la plupart des besoins de transmission.

4.3.1. Évolution des transducteurs

Les premiers transducteurs et les progrès réalisés

Le manipulateur télégraphique ainsi que les vibreurs et récepteurs à aiguille oscillante qui lui étaient associés ont été les premiers transducteurs commerciaux de communications. Le langage mis au point pour le dialogue d'homme à machine et de machine à homme était limité à 25 mots par minute environ. Même avec les progrès actuel de la technologie, les vitesses n'ont pas notablement augmenté. L'introduction des ruban de "mise en mémoire et d'acheminement" et, plus tard, des téléimprimeurs,

constitue un développement technologique qui a pour but de simplifier l'exploitation et d'augmenter la vitesse.

Les appareils téléphoniques utilisant le diaphragme à excitation acoustique avec des transducteurs électromagnétiques ou à granules de carbone ont peu changé dans leurs principes depuis les premiers jours de la téléphonie.

Dans les transducteurs de type visuel, le caractère mécanique des dispositifs de "télévision" a limité les progrès jusqu'à ce qu'on réalise des dispositifs électroniques plus sûrs et mieux contrôlables. Dans le cas du fac-similé, les perfectionnements n'ont pas complètement supprimé l'élément mécanique; toutefois, l'amélioration des matériaux et des méthodes, l'amélioration de la conception mécanique et des techniques de contrôle de la qualité ainsi que l'emploi de l'électronique ont apporté des progrès considérables.

Les machines à clavier utilisées pour l'impression de documents ou comme transducteurs d'entrée-sortie d'ordinateurs ont progressé rapidement. Des téléimprimeurs sur page ayant une vitesse de 1,000 mots à la minute sont maintenant disponibles dans le commerce. Des vitesses de 150 mots à la minute sont aujourd'hui courantes. Les vitesses d'entrée directe par intervention humaine sont encore limitées à environ 70 mots à la minute.

Il y actuellement dans le monde plus de constructeurs qui fabriquent ce type de machine. Nombre d'entre eux mettent au point les produits de la génération suivante pour renforcer ou assurer la continuité de leur présence sur le marché.

Le cadran téléphonique est fondamentalement un dispositif de signalisation qui ouvre à l'abonné l'accès du central de commutation. Le clavier à tonalités est un dispositif plus élégant qui permet d'effectuer plus rapidement la même tâche. De plus, on peut s'en servir pour la transmission de données numériques de contrôle de point à point ou pour des communications de personne à machine.

L'évolution des transducteurs de personne à personne est bien illustrée par les progrès réalisés dans la conception et la fabrication de l'appareil téléphonique lui-même. Des améliorations de conception ont permis des économies importantes dans le réseau de distribution. L'utilisation de ce dispositif universel de fonction a apporté des économies de fabrication et un meilleur contrôle de la qualité, ce qui a tout produit des économies dans la conception des systèmes tout en maintenant la qualité des communications phoniques.

Les transducteurs actuels

Tous les changements dans la technologie des transducteurs qui auront des répercussions importantes dans les vingt prochaines années doivent être connus à présent. Il est possible d'apprendre, mais on sait qu'il faut environ une génération pour que les techniques pénètrent la totalité du milieu. L'aptitude à conduire une voiture représente un exemple récent. Les premiers mouvements se produisent dans le monde des affaires où les facteurs économiques de concurrence imposent l'adoption de nouvelles technologies. Notre société continuera à utiliser le papier, mais la tendance actuelle des affaires vers d'autres formes de conservation des données va s'accélérer. Les techniques du microfilm ainsi que toutes les formes de reproduction sur papier ont progressé rapidement. Les calculatrices sont un autre domaine en expansion: leur encombrement et leur prix diminuent, en même temps que leurs usages se multiplient. Elles remplacent donc avantageusement les grandes machines à usage collectif. Comme pour les machines de reproduction, les appareils de ce genre qui pourront facilement être reliés au réseau de télécommunications auront probablement un avantage important.

L'utilisation des transducteurs homme-machine se répand de plus en plus. La plume lumineuse utilisée dans les bureaux d'études de l'industrie automobile pour apporter des changements aux représentations tridimensionnelles de carrosseries de voitures en est un exemple typique. Cependant, dans toutes ces applications, l'outil véritable est l'ordinateur; le transducteur n'est que l'élément d'activation. Le dispositif d'affichage est le transducteur visuel de réaction qui permet à l'homme de contrôler et d'évaluer son travail. Ces transducteurs d'affichage constituent déjà un domaine très important de recherches et de développement en Amérique du Nord, au Japon et en Europe.

Aujourd'hui, le téléphone est le transducteur de personne à personne le plus généralisé. Grâce à la composition par tonalités pour l'entrée, et aux programmes d'ordinateur à réponse verbale pour la sortie, le téléphone pourrait éventuellement devenir un important instrument de communications d'homme à machine, qui serait suffisant pour assurer une proportion élevée des transactions courantes. La composition par tonalités ainsi appliquée à une grande variété d'usages doit devenir généralisée et normalisée si on veut en tirer les meilleurs effets sociaux possibles.

4.3.2 L'avenir des transducteurs

Les obstacles actuels

Mis à part les concepts de "présence" ou "d'espace commun", qui nécessitent des études monumentales de l'homme lui-même, les vingt prochaines années devraient apporter des progrès techniques suffisants pour surmonter la plupart des obstacles économiques actuels. D'aucuns pensent que la clé des télécommunications visuelles directes réside dans la mise au point de dispositifs tels que les tubes de caméra à anticathode de silicium. Il s'agit essentiellement ici d'un problème de fabrication associé à la production de circuits intégrés à grande échelle, circuits qui trouveront des applications dans une multitude de domaines.

Ces réalisations dépendront des capitaux, de la main-d'oeuvre et des efforts consacrés à la recherche et au développement. Elles dépendront donc aussi de la force de l'industrie. Quand ces obstacles auront été surmontés, on découvrira des applications très diverses, en fonction des besoins créés ou existants.

Pour remédier à "la tyrannie du cordon téléphonique", on fait actuellement des efforts, aux conséquences encore lointaines, pour répondre aux besoins de liberté de mouvement de l'homme. Il faut pour cela vaincre deux obstacles technologiques: réduire la consommation d'énergie, ce qui se fera probablement grâce aux circuits à semi-conducteurs, et étendre le spectre radioélectrique peut-être grâce à la création d'environnements "protégés" contre le rayonnement radioélectrique extérieur ou à la réutilisation des fréquences par la sélection automatique et un codage approprié visant à protéger le secret des communications. Si on peut tolérer la "voix synthétique", il sera possible d'utiliser le vocoder pour diminuer dans une grande proportion la largeur de bande nécessaire à la transmission. Cette dernière possibilité fait l'objet d'études intensives et peut, dans les conditions actuelles, réduire de 30 fois la largeur d'une voie phonique.

Des réalisations telles que le télédiagnostic médical, la révision automatique d'un texte dactylographié ainsi que la traduction en direct d'une langue à une autre font face à des obstacles économiques, sociologiques et techniques. Elles se concrétiseront si le besoin s'en fait sentir. Les solutions résident moins dans le domaine des transducteurs que dans la technologie de programmation des ordinateurs, qui est une science relativement nouvelle.

Rapport entre les systèmes

Les rapports vitaux qui ont existé jusqu'à présent entre le transducteur et le systèmes de communications peuvent être

transposés sur un autre plan grâce aux techniques numériques. Les besoins particuliers de certains usagers seront, comme dans le passé, satisfaits par des services nouveaux. La nécessité de prévenir tout abus accidentel ou délibéré du réseau de communications sera toujours présente. (Abus désigne ici l'addition de bruit, de tonalités et de tensions qui nuisent au fonctionnement et à la sécurité du réseau ainsi qu'aux autres usagers). Les transducteurs deviendront plus complexes et les paramètres de conditionnement et de contrôle du réseau tendront à devenir plus critiques si le réseau doit demeurer sûr et à la disposition de tous.

Probabilités et période

Les dispositifs d'affichage alphanumérique à usage généralisé sont une possibilité des cinq prochaines années. Ils seront beaucoup moins onéreux et moins exigeants en matière de communications que les dispositifs à tube cathodique, et ils accéléreront probablement l'avènement de la "société sans chèques".

Le dispositif d'entrée pour diverses données sera probablement le téléphone à clavier de composition, en raison de sa simplicité, de son bas prix et de sa disponibilité.

Les besoins ou les capacités d'entrée-sortie de l'information demeureront probablement limités par les possibilités sociales et sensorielles de l'être humain. Les machines ne sont pas limitées par de telles restrictions; les moyens de gestion de tous genres exigeront donc d'importantes innovations dans le domaine de la technologie et dans celui des communications.

La possibilité d'une nouvelle avance technologique, d'un deuxième Shannon ou d'un autre Shockley existe toujours, quoique les résultats de leurs travaux de la fin des années 40 commencent seulement à avoir des répercussions importantes. Il est peu probable que des concepts encore inconnus aient des effets importants avant 1990.

Prix des transducteurs futurs

On n'envisage pas d'importantes diminutions du prix des postes terminaux de téléphonie bidirectionnelle. On pourra cependant fournir à un prix très bas de nombreux services supplémentaires grâce à l'utilisation des circuits intégrés à grande échelle. Des réductions importantes du prix des terminaux visuels seront possibles entre 1975 et 1980. Cela permettra une utilisation généralisée des services visuels. On peut prévoir que les terminaux de transmission des données tel que nous les connaissons aujourd'hui deviendront partie intégrante des terminaux téléphoniques. On a déjà réalisé en laboratoire un appareil complet de transmission des données sous la forme d'une

pastille de circuit intégré. Il est évident que l'addition de cet appareil au terminal téléphonique ne coûtera pas très cher.

4.4 COMMUNICATIONS MOBILES

4.4.1 Circuits intégrés

Les circuits intégrés monolithiques présentent maintenant une fiabilité élevée et sont économiquement adaptés pour l'utilisation à grande échelle. On les emploie principalement dans les circuits numériques. Le matériel de communications mobiles comporte un nombre considérable de circuits linéaires et analogiques. Les circuits intégrés n'y concurrencent donc pas encore les composants discrets. On utilise les circuits intégrés dans une certaine mesure dans les récepteurs individuels quand l'encombrement est un facteur important. De 1970 à 1975 cependant, l'utilisation des circuits intégrés et numériques dans le matériel de communications mobiles se généralisera.

Vers 1980, les circuits intégrés à moyenne échelle et à grande échelle devraient se répandre rapidement dans le domaine du matériel mobile.

Un récepteur ou un émetteur-récepteur individuel monté sur une pastille unique de silicium constitue un objectif évident dans le domaine des communications mobiles terrestres.

4.4.2 Ordinateurs

La diminution du prix de revient des circuits logiques et des mémoires a provoqué un accroissement de l'utilisation en direct de petits ordinateurs asservis en direct aux ensembles de traitement. La production en série d'ordinateurs et de circuits intégrés à grande échelle accélérera cette tendance.

L'application des ordinateurs aux services de sécurité publique sera probablement le plus important développement dans les communications mobiles terrestres. Les ordinateurs tiendront à jour un état des véhicules et des personnes, prendront des décisions de répartition et achemineront les renseignements vers des destinataires déterminés.

Le service de radiotéléphonie commerciale assuré par des installations mobiles terrestres en bénéficiera aussi. L'ordinateur assurera une partie de la répartition courante. Il localisera le véhicule le plus proche de l'adresse voulue et vérifiera son approvisionnement avant de donner des instructions au chauffeur par téléimprimeur. En outre, il pourrait contrôler les stocks et la facturation.

L'accès à partir d'unités mobiles terrestres aux fichiers centraux ou aux banques de données sera probablement assuré d'ici

peu. Ce service est maintenant techniquement réalisable. Ce type d'utilisation des voies radio n'est pas encore autorisé, et le rapport entre le coût et la demande est encore incertain. Une voie réservée à cet usage deviendra éventuellement nécessaire. Vers 1990, l'emploi de petits ordinateurs mobiles pouvant communiquer avec un grand ordinateur central permettra de décentraliser certaines fonctions. L'accès verbal direct aux ordinateurs par liaison radio apparaîtra. Il existe de nombreux problèmes à résoudre, mais l'accès verbal aux ordinateurs avec un vocabulaire simple et concis peut être réalisé d'ici dix ans.

Dans le contrôle de la circulation aérienne, les problèmes de décollage, d'atterrissage, et de prévention des collisions nécessiteront la mise au point de systèmes améliorés de localisation rapide et précise, de contrôle de la vitesse et de mise à jour des données par région ou par secteur. Ces systèmes seront commandés par des ordinateurs qui pourront recevoir leurs données d'entrée des avions, du sol ou grâce à des liaisons de point à point. Ces mêmes installations serviront au transfert, à l'enregistrement et à la mise à jour de l'information essentielle concernant l'itinéraire, la manoeuvre et le contrôle des avions.

Les ordinateurs servent déjà dans les systèmes de réservations. L'information d'entrée et de sortie est transmise par le réseau terrestre de communications. L'utilisation et l'ampleur de tels systèmes augmentera rapidement parallèlement au nombre des passagers.

On utilise de plus en plus les ordinateurs dans les systèmes d'enregistrement et de diffusion de données météorologiques. Les circuits à basse vitesse de 75 bauds, auxquels viennent s'ajouter des circuits à grande vitesse de 9,600 bauds, utilisent aussi les réseaux terrestres de communications pour la réunion et la distribution des données.

Les problèmes relatifs à l'acheminement et au contrôle des passagers, des bagages et du fret se prêtent à la commande par ordinateur. Ces systèmes ne constituent pas une charge directe pour le réseau extérieur de communications car ils sont en général intégrés aux installations intérieures de communications de l'aéroport.

4.4.3 Signalisation numérique et circuits logiques

Parmi les avantages des communications numériques, on peut citer les suivants: la transmission des signaux de données ne nécessite pas de conversion, la transmission numérique est moins sensible au bruit par suite du codage et de la régénération des impulsions, les améliorations dans le domaine de la fiabilité et du coût sont étroitement liées à celles des circuits à semi-conducteurs et des circuits intégrés. Dans les communications

mobiles, on a utilisé la transmission numérique essentiellement pour l'appel sélectif. La transmission de données commence cependant à pénétrer le domaine des communications mobiles. La transmission numérique nécessitant une plus grande largeur de bande, la conversion de la parole pour la transmission numérique par radio est encore peu pratique. Les techniques de suppression de la redondance contribueront toutefois à réduire la largeur de bande nécessaire. Le plein développement de ces techniques aura pour conséquence la généralisation de la transmission numérique de tous les signaux au cours des années 1980.

Parmi les systèmes destinés à réduire les besoins de largeur de bande, les vocoders et les dispositifs électroniques de reconnaissance de la voix semblent être les plus prometteurs. Ils pourraient être utilisés par la police car ils assurent le secret des communications. A l'aide des techniques MIC actuelles, il est possible de réduire de cinq fois la largeur de bande nécessaire à la transmission numérique de la voix. Cependant, même ainsi, la largeur de bande nécessaire est trois fois supérieure à celle de la simple transmission analogique.

L'automatisation de nombreuses fonctions d'information, d'enregistrement et de contrôle dans le domaine de la circulation aérienne augmente de plus en plus le besoin d'une liaison numérique à usages multiples entre les aéronefs et le sol. Le développement rapide de détecteurs et de techniques économiques de jonction entre l'homme et les systèmes numériques fait qu'une telle liaison deviendra bientôt réalisable. Toutefois, il y a de nombreux problèmes d'intégration et d'exploitation qui, on peut l'espérer, seront résolus dans les cinq prochaines années.

4.4.4 Synthèse des fréquences

L'utilisation efficace des bandes de fréquences du domaine mobile terrestre exige que chaque unité mobile puisse fonctionner sur un nombre important de fréquences. Dans les grands centres urbains, les systèmes de sécurité publique nécessitent jusqu'à 12 voies. Les véhicules de transport urbain auront besoin d'une capacité multivoie. Le développement du téléphone mobile et le concept d'organisation cellulaire engendreront des besoins semblables.

On ne peut satisfaire ces besoins à l'aide des techniques actuelles. La synthèse des fréquences et ses perfectionnements connexes viendront donc résoudre le problème vers 1975. Bien qu'elles soient utilisées dans l'équipement militaire et les communications air-sol, il faut attendre d'autres progrès technologiques pour pouvoir les appliquer économiquement au service mobile terrestre.

On répondra aux besoins de voies supplémentaires de communications air-sol par la division des voies. Cela est

possible grâce aux techniques de stabilisation de la fréquence. En principe, ces techniques ne devraient être adoptées que lorsque l'équipement actuel sera devenu désuet. Cependant, le besoin urgent de voies supplémentaires en imposera probablement l'adoption au cours de la prochaine décennie.

4.4.5 Dispositifs d'impression

Des téléimprimeurs sur page de faible encombrement sont disponibles pour les véhicules. Les circuits intégrés rendent possible le faible encombrement, la haute fiabilité, la résistance aux chocs et aux vibrations ainsi que la faible consommation d'énergie qui sont essentiels aux services mobiles.

De nouvelles techniques permettent l'impression à 100 mots à la minute dans un milieu mobile et réduisent au minimum l'effet des impulsions parasites sur le taux d'erreur des messages. Le coût actuel de ces dispositifs limite leur emploi à des applications dans lesquelles les communications doivent être enregistrées, comme les services ferroviaires et les services de police. On estime que des améliorations de conception et une production à plus grande échelle mettront le téléimprimeur à la portée de la plupart des usagers de la radio mobile vers 1975.

4.4.6 Télévision à balayage lent

On peut transmettre des images sur des voies beaucoup plus étroites que la largeur de bande normale NTSC de 6 MHz. La largeur de bande nécessaire dépend du nombre d'images à transmettre par seconde et de la définition désirée. La voie phonique de 3 Hz d'un système radio bidirectionnel peut être utilisée si on tolère un certain flou ou si les sujets sont suffisamment stationnaires. D'autres progrès seront nécessaires avant que le coût baisse suffisamment pour permettre une utilisation à grande échelle de ces dispositifs. On prévoit que les organismes de police seront les premiers à utiliser la télévision à balayage lent dans les communications mobiles.

4.4.7 Antennes actives

Des antennes à diodes ou à transistors intégrés aux éléments rayonnants sont réalisables. Ce concept ouvre de nouveaux horizons aux recherches sur les antennes de petites dimensions. Il sera bientôt possible d'utiliser des antennes à réseaux d'éléments intégrés dans les communications mobiles, lorsque l'encombrement réduit est un facteur très important.

4.4.8. Répéteurs

Le répéteur hétérodyne amplifie un signal et le retransmet sans démodulation et remodulation. Le signal d'une unité mobile peut passer successivement par plusieurs de ces répéteurs sans

déformation de l'information phonique. Cela présente des avantages d'économie et de conservation du spectre. Au Canada, une utilisation sélective de ce système pourrait aider à régler le problème de l'encombrement du spectre radioélectrique.

Le répéteur à fréquence unique amplifie un signal incident et le retransmet simultanément sur la même fréquence. Les techniques employées impliquent des réglages très critiques. Il est peu probable que le répéteur à fréquence unique provoque une révolution dans l'industrie. On continuera probablement à l'utiliser pour des applications spéciales.

Le répéteur mobile est un répéteur monté dans un véhicule qui peut retransmettre automatiquement des signaux entre des unités radio portatives à faible puissance et leur station de base. Le principe de ces répéteurs est intéressant et les résultats obtenus sont satisfaisants. Les répéteurs réalisés sont en voie de perfectionnement et de simplification. Ils présentent actuellement certains problèmes: méthodes d'activation, contrôle du brouillage, séparation de l'émetteur et du récepteur à l'emplacement du répéteur, filtrage de l'alimentation dans le véhicule, choix d'une fréquence optimale pour chaque application, etc. Les systèmes comprenant plus d'un répéteur mobile devront de plus être conçus de telle manière qu'un seul répéteur à la fois soit activé par un émetteur mobile.

4.4.9 Utilisation des satellites

Du point de vue technique, les stations mobiles terrestres peuvent utiliser des répéteurs installés sur un satellite dans les bandes de fréquences mobiles. Ce genre d'utilisation des bandes mobiles pourrait cependant provoquer un brouillage généralisé dans tout le pays. L'utilisation d'antennes à faisceau étroit pourrait permettre de ne couvrir qu'une superficie équivalente à celle d'une ville. Dans le domaine mobile terrestre, les répéteurs sur satellite seraient probablement extrêmement utiles pour l'établissement de liaisons de point à point entre des stations de base très éloignées l'une de l'autre et pour les communications avec les navires, les avions et les véhicules terrestres en cas d'urgence.⁸ Dans le domaine de la sécurité aérienne, divers projets de navigation et de communications par satellites ont été présentés. Ces projets auraient également des applications dans le domaine de la navigation et des communications maritimes. Il ne s'agit cependant encore que de projets qui ne seront probablement ni entièrement définis ni exploitables avant la période de 1980 à 1985.

4.4.10 Techniques particulières de conservation du spectre

Les nouvelles utilisations de la radio mobile augmentent considérablement la demande de spectre radioélectrique dans le service mobile. Nous décrivons ici certains des progrès techniques qui permettront de lutter contre l'encombrement du spectre.

Nous passerons d'abord en revue un certain nombre de méthodes qui assureront une utilisation plus efficace du spectre déjà attribué. Il s'agit de techniques telles que la division des voies, les communications cellulaires, la concentration des lignes, les systèmes collectifs, le multiplexage, les techniques de modulation, les dispositifs sélectifs, l'utilisation des ordinateurs de répartition géographique, le captage par récepteurs multiples et la synchronisation des émetteurs.

La conclusion générale qui se dégage est qu'on a déjà beaucoup fait pour tirer le maximum du spectre attribué. Bientôt, la bande assignée aux communications mobiles terrestres sera utilisée à plein rendement. Il faudra alors, pour qu'il y ait possibilité d'expansion, songer dès maintenant à attribuer d'autres bandes au service mobile.

a) Divison des voies

L'industrie de fabrication, grâce aux progrès réalisés dans la solution des problèmes de stabilité de fréquence, de rayonnement parasite, de contrôle de déviation, de sélectivité et de non-linéarité, a assuré une utilisation plus efficace du spectre radio attribué au service mobile terrestre. La solution de ces problèmes a permis l'adoption de voies à bande étroite par la division en deux des voies existantes.

Les facteurs suivants s'opposent à une division plus poussée des voies.

- 1) Le matériel nécessaire serait trop cher.
- 2) Le taux de déviation des émetteurs FM devrait être réduit à un point tel qu'on perdrait les avantages de suppression du bruit de la modulation de fréquence.
- 3) A moins qu'il ne se produise des changements radicaux dans l'état actuel des techniques, l'utilisation de la transmission numérique serait hors de question car, en général, elle demande une voie plus large que la transmission analogique.
- 4) Un nombre accru d'émetteurs très proches les uns des autres dans une région donnée conduirait à des problèmes difficiles de brouillage par intermodulation. L'immunité aux bruits

prenant la forme d'impulsions ayant déjà été considérablement réduite, on ferait face à des problèmes très délicats dans le domaine du brouillage.

Les considérations ci-dessus rendent improbable une division plus poussée des voies sur le continent nord-américain au cours des dix prochaines années.

b) Les communications "cellulaires"

On a estimé qu'en 1990, chaque personne pourrait avoir son radiotéléphone personnel. Si on se fonde sur les techniques actuelles, il ne sera pas possible de satisfaire les demandes de voies.

On a proposé la mise en service de systèmes à grande capacité mais à portée radio limitée à une petite zone ou "cellule". L'utilisation de stations de base à portée limitée permettrait de réutiliser plusieurs fois chaque voie radio dans une zone étendue. Le recours aux hyperfréquences, tout en limitant la portée avec précision, donnerait également un nombre de voies supérieur à celui dont on aurait besoin.

Le principal problème qui demeure à résoudre est, en pratique, la commutation en temps réel de zone et de fréquence quand l'unité portative ou mobile se déplace d'une zone à l'autre.

c) Groupement des lignes (ou concentration)

Le groupement des lignes ou concentration suppose qu'un grand nombre d'utilisateurs ont accès à un petit nombre de voies. L'utilisateur choisit une voie libre, manuellement ou automatiquement, dans le système de commutation. L'Improved Mobile Telephone System, qui est maintenant en exploitation aux Etats-Unis, est un exemple de groupement des lignes ou de concentration. Le système de communications cellulaires mentionné plus haut utiliserait également le concept du groupement de lignes. Il fait peu de doute que ce concept a un champ d'application étendu dans le réseau téléphonique mobile des sociétés exploitantes de télécommunications. Ce n'est cependant pas la solution parfaite pour tous les utilisateurs du service de radio mobile terrestre. Dans les systèmes à forte densité d'appels brefs, le temps d'établissement de la liaison devient un facteur limitatif d'utilisation réelle et efficace du spectre. L'Annexe D traite en détail des nombreux facteurs en cause.

d) Systèmes à frais partagés

L'un des objectifs de la technologie est d'apporter des communications au plus grand nombre possible d'entreprises qui peuvent en bénéficier. Il existe de nombreuses petites

entreprises qui pourraient tirer profit d'un service mobile terrestre mais qui n'ont pas besoin d'une voie libre à plein temps. Dans ce cas, on peut toujours parvenir à mieux utiliser une voie radio en la faisant partager par plusieurs petits groupes. Il existe une technique d'utilisation dans laquelle plusieurs répartiteurs ont accès à une fréquence ou à un système partagé. Chacun d'eux peut être appelé sélectivement à l'aide d'un réglage silencieux codé. En outre, l'utilisation d'un réglage silencieux codé dans les unités mobiles évite le désagrément causé par des messages n'intéressant que d'autres usagers de la voie.

Les usagers peuvent posséder et exploiter la station de base en partageant les frais. Elle peut aussi être louée par le fournisseur du matériel. Les recherches dans ce domaine tendent vers une meilleure protection du secret des communications entre usagers communs.

e) Multiplexage

On peut utiliser le multiplexage dans le service mobile terrestre pour des applications spéciales. Une analyse de tous les facteurs entrant en jeu montre cependant qu'on ne parviendrait pas à mieux utiliser le spectre par l'applications à grande échelle du multiplexage.

f) Dispositifs sélectifs

A cause de l'encombrement de la bande de fréquences du service mobile terrestre, la sélectivité par rapport à la voie adjacente et la sélectivité à l'entrée des récepteurs ont pris une importance croissante. En conséquence, la technique des filtres à cristal a récemment fait des progrès très remarquables. On dispose maintenant de filtres à cristal haute fréquence ayant une sélectivité de 17 dB par rapport à la voie adjacente supérieure. Ces filtres sont indispensables dans le matériel radiotéléphonique mobile multivoie et pour toutes les applications nécessitant l'utilisation de voies adjacentes au même endroit. Ces filtres à cristal sont aussi utiles dans la lutte contre les problèmes d'intermodulation des récepteurs.

Des éléments résonants en céramique au titanate sont disponibles dans le commerce depuis quelque temps. On les utilise comme filtres passe-bande en fréquence intermédiaire. Un autre dispositif, le filtre à cristal monolithique à couplage de mode qui assure une meilleure sélectivité en fréquence intermédiaire, a été présenté dernièrement. Un ensemble de quatre filtres de ce type présente une caractéristique passe-bande à très grande sélectivité et n'a pas besoin de réglage d'accord.

On a réalisé des progrès réguliers dans la technologie des dispositifs sélectifs pour des applications extérieures au matériel radio. Ces progrès sont principalement localisés dans le domaine des filtres passe-bande et des multicoupleurs qui permettent le partage d'une antenne entre plusieurs émetteurs et récepteurs.

Dans les années à venir, les efforts continueront à être orientés vers le perfectionnement des dispositifs sélectifs. De nouvelles façons d'utiliser les circuits intégrés assureront probablement une meilleure exploitation du spectre dont nous disposons déjà.

g) Ordinateurs de répartition géographique

Par une analyse soignée des zones de service et des besoins de trafic des différents usagers, on peut déterminer la possibilité d'attribuer une même voie en plusieurs endroits d'une même région métropolitaine.

A l'aide de signaux codés à réglage silencieux, et en tirant le maximum de l'effet de capture de la modulation de fréquence, les unités mobiles proches d'une station de base pourraient fonctionner sans brouillage sérieux causé par d'autres stations de base.

Les véhicules d'une municipalité pourraient, par exemple, partager une voie avec ceux d'une autre quand l'occupation de la fréquence est faible ou lorsqu'ils ont peu de chance de sortir des leurs propres limites municipales.

Dans les régions urbaines, à mesure que l'encombrement des fréquences augmente, le partage géographique pourrait acquérir la prédominance qu'il a aujourd'hui dans les grandes villes des Etats-Unis. Pour minimiser le brouillage, on doit faire un choix optimal des lieux et des voies à partir d'une masse de renseignements pouvant être facilement mémorisés dans un ordinateur.

L'ordinateur est très utile pour la solution des problèmes se rapportant aux attributions de fréquences. L'un de ces problèmes est l'analyse de l'intermodulation dans laquelle l'ordinateur examine toutes les fréquences d'émission et de réception dans une région donnée pour déterminer les probabilités de brouillage par intermodulation. On utilise actuellement cette méthode, et dans les années à venir il faudra lui apporter des perfectionnements pour accélérer le choix d'une voie appropriée. On peut aussi utiliser l'ordinateur pour l'attribution géographique de voies tertiaires (fractionnement double 15 kHz) à l'aide d'un programme permettant des espacements moins importants entre usagers d'une même voie.

La bande haute devra finalement subir une évolution de répartition des voies pour qu'il soit possible de tirer parti des avantages de l'utilisation du spectre par doublage des voies. Dans ce cas aussi, les services d'un ordinateur seront précieux.

La technologie future comprendra une meilleure programmation pour que l'ordinateur dispose de données très proches des conditions réelles de service.

h) Captage par récepteurs multiples

Le but d'un système de captage par récepteurs multiples est d'augmenter la portée du matériel mobile ou portatif dont la puissance de sortie est généralement inférieure à celle de l'émetteur de la station de base. En disposant stratégiquement des récepteurs individuels dans la région urbaine, on peut équilibrer la portée d'émission et la portée de réception.

Il s'agit en fait d'un système sélectif grâce auquel la communication ne s'établit qu'avec le récepteur ayant le meilleur rapport signal/bruit. On a appliqué les systèmes à récepteurs multiples au service téléphonique mobile. On les utilise aussi pour accroître la portée du matériel radio bidirectionnel portatif à faible puissance utilisé dans les d'autres services. A cause de la puissance réduite du matériel, les possibilités de brouillage diminuent; c'est ainsi que le système contribue à la conservation du spectre.

La technologie future s'orientera vers l'amélioration du matériel sélectif dont la demande a augmenté par suite des perfectionnements apportés au matériel portatif.

i) Synchronisation des émetteurs

Les récepteurs multiples augmenteront la portée des émetteurs portatifs. De la même façon, les émetteurs multiples étendront la portée des récepteurs portatifs (comme ceux qu'on utilise dans les systèmes de téléappel radio). Afin d'assurer la couverture continue d'une région métropolitaine, il faut disposer les émetteurs de telle façon que les zones se chevauchent largement, ce qui donne naissance à des problèmes de brouillage. Quand un récepteur mobile reçoit simultanément des signaux de deux émetteurs fonctionnant sur une même voie, un battement d'une fréquence égale à la différence de fréquences des deux émetteurs se produit. Avec les éléments de stabilisation de la fréquence actuellement utilisés dans le matériel mobile terrestre, la fréquence du battement varie énormément en fonction du temps et de la température et rend le système inacceptable.

Dans certains systèmes, le message est émis non simultanément mais successivement par les différents émetteurs. Cela divise la

capacité du système par le nombre des émetteurs, ce qui est peu pratique quand on a besoin d'un grand nombre d'émetteurs.

De nouvelles techniques permettent la réalisation d'oscillateurs à grande stabilité qui ne varient que de quelques hertz par an, et permettent donc une exploitation par émetteurs multiples avec un minimum de brouillage interne. On a également proposé la synchronisation des émetteurs à partir d'une source commune. Le matériel nécessaire à cette fin pourrait être disponible dans le commerce lorsqu'une demande suffisante se fera sentir.

j) Techniques de modulation

D'importants travaux expérimentaux et des essais objectifs ont permis l'évaluation des techniques de modulation les plus appropriées aux bandes de fréquences élevées des services mobiles maritime et terrestre. La modulation de fréquence à large bande présente un avantage marqué en présence de bruit sous forme d'impulsions, problème permanent du milieu mobile. Elle n'est cependant pas pratique étant donné l'encombrement du spectre. L'avantage de la modulation de fréquence décroît rapidement à mesure que l'indice de modulation diminue. Les systèmes courants sont indiqués ci-dessous par ordre décroissant de supériorité.

- 1) Modulation de fréquence à large bande.
- 2) Modulation de fréquence à bande étroite.
- 3) Modulation de fréquence à bande mince (largeur de bande de 6 kHz).
- 4) Modulation d'amplitude à bande latérale unique.
- 5) Modulation d'amplitude à double bande latérale (largeur de bande de 6 kHz).

Aucune forme simple de la modulation par impulsions ne semble réalisable à cause de la largeur de bande que ce genre de modulation nécessite. La modulation d'impulsions en amplitude demande un niveau trop élevé de séparation entre les impulsions successives pour éviter la diaphonie; elle n'est donc pas utilisable dans ce genre de service.

En résumé, la détérioration causée par les bruits sous forme d'impulsions est inhérente aux systèmes à bande étroite. En ce qui concerne la conservation du spectre, on ne peut donc espérer d'améliorations venant d'une évolution des méthodes de modulation.

4.5 MISE EN MÉMOIRE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

Dans ce domaine, les communications croissantes entre ordinateurs imposeront une amélioration de l'exploitation des voies: il faudra accroître le débit d'information et réduire le taux d'erreur. Il faudra pour cela améliorer les techniques de traitement des signaux. Pour satisfaire ces besoins, il ne sera cependant pas nécessaire d'attendre cinq ou dix ans car la plus grande partie de la technologie nécessaire est déjà connue au Canada. Elle a été mise au point dans des laboratoires du gouvernement et dans des entreprises industrielles avec l'aide de subventions gouvernementales accordées principalement par la Direction de la recherche industrielle du Conseil de recherches pour la défense. On pourra facilement adapter cette technologie avancée à l'usage commercial quand la demande sera suffisante. Il s'agit là d'un domaine dans lequel les possibilités dépassent nettement les besoins, à tel point qu'à l'heure actuelle, on ne ressent pas réellement le besoin de faire progresser la technique plus avant. Les communications à basse vitesse, reliant essentiellement des postes terminaux éloignés à un ordinateur exploité en partage du temps, se développeront aussi mais leur taux d'expansion sera moindre.

Les nombreux avantages de la transmission numérique par impulsions codées pourront en faire dans vingt ans un système qui sera généralisé sur de nombreuses lignes des sociétés exploitantes de télécommunications, sinon sur leur totalité. Cela rendrait l'utilisation des mêmes circuits très satisfaisante pour les communications verbales ou de données. A long terme, cela pourrait être plus économique que l'établissement de lignes différentes répondant à des normes distinctes. On peut prévoir la généralisation de divers systèmes à multiplexage par partage du temps.

Les perfectionnements dans le domaine des ordinateurs eux-mêmes se feront principalement sentir dans les liaisons homme-machine. A mesure que l'exploitation des ordinateurs deviendra plus facile et plus intéressante, on verra augmenter le nombre d'abonnés aux services d'informatique. C'est dans ce domaine que se produira au cours des cinq ou dix prochaines années l'augmentation la plus importante. Par la suite, les mini-ordinateurs décentralisés prendront progressivement la succession, au moins en ce qui concerne les applications industrielles. Une tendance à l'utilisation à grande échelle des services d'ordinateurs à domicile pourrait se dessiner vers la fin de la deuxième décennie. Cela encore provoquera un besoin de transmission de données à basse vitesse et à prix peu élevé.

Les améliorations des dispositifs d'entrée des ordinateurs viendront des domaines suivants: simplification des langages d'ordinateur, identification optique des caractères, transcription et lecture de messages manuscrits, identification

de la voix. Les dispositifs de sortie comprendront: les tubes à rayons cathodiques, les panneaux plats électroluminescents, les réponses verbales données par les ordinateurs et probablement des dispositifs de fac-similé. Les dispositifs d'affichage interactifs seront généralisés.

En ce qui concerne l'ordinateur proprement dit, le principal progrès de la dernière décennie semble avoir été la mise au point des systèmes à partage du temps. Il ne fait pas de doute qu'à l'avenir ce progrès aura des prolongements lointains. On espère qu'une logique souple et programmable sera mise au point au cours des deux prochaines décennies. Le prix de revient des mémoires diminuera certainement quels que soient les types utilisés. On dispose déjà de mémoires de grandes dimensions à semi-conducteurs (particulièrement les mémoires MOS) inaltérables et à accès aléatoire. Ce domaine connaîtra une très forte expansion. L'intégration à grande échelle deviendra également possible dans de nombreuses autres applications. Ces trois facteurs (logique, mémoire et intégration à grande échelle) donneront une très grande souplesse aux petits ordinateurs et rendront la décentralisation encore plus intéressante. Les systèmes de petites et de grandes dimensions bénéficieront d'une meilleure fiabilité et de techniques de redondance améliorées.

5. LES RÉPERCUSSIONS SUR LES SYSTÈMES

Généralités

Dans ce chapitre, les participants (les sociétés exploitantes de télécommunications, les Industries électroniques du Canada, les organismes de radiodiffusion, etc.) ont examiné les répercussions globales de la technologie future sur les réseaux et systèmes qu'ils connaissent le mieux. Les techniciens sont en général jaloux de leur domaine particulier. Cette étude a toutefois provoqué des discussions et des échanges sur les apports de chacun d'entre eux. Ils ont essentiellement traité de sujets techniques afin d'atteindre uniformité et accord sur le plan technique.

5.1 LE RÉSEAU DES SOCIÉTÉS EXPLOITANTES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS

5.1.1 Introduction

Nous examinerons dans ce chapitre les divers besoins du réseau des sociétés exploitantes de télécommunications. Nous étudierons aussi les tendances générales des besoins des usagers et leurs répercussions sur le réseau, en tenant compte des techniques connues et de l'exploitation du réseau.

Au Canada, l'introduction rapide des systèmes de transmission MIC à courte distance par les sociétés exploitantes de

télécommunications a probablement ouvert la voie à un réseau de communications utilisant essentiellement des sous-systèmes numériques. La rentabilité des systèmes de transmission MIC sera encore améliorée par l'intégration soigneusement planifiée de la commutation temporelle dans le réseau actuel des sociétés exploitantes, ce qui donnera naissance à un système de communications polyvalent et très souple. Pour garantir le développement de ce réseau, il faudra en concevoir toutes les parties composantes en tenant compte de la performance et de l'économie de l'ensemble du système.

Tendances générales

On prévoit dans le réseau futur d'exploitation des télécommunications que l'homme aura toujours besoin d'échanger des renseignements, bien qu'il sera possible de découvrir et de perfectionner d'autres moyens d'agrandissement de l'"espace" humain de communications. Si cet espace est compris dans un réseau commuté polyvalent, les avantages, tant pour l'exploitation que pour l'utilisateur, seront nombreux. C'est la seule façon rentable de mettre à la disposition de tous grâce à un cadran de composition comme celui du téléphone des voies de données et de fac-similé à vitesse moyenne. L'accès limité à l'information engendre la division des idées et l'utilisation inefficace des ressources. L'utilisateur doit donc pouvoir communiquer facilement et sans restriction avec les autres usagers du réseau. Il ne faut pas essayer de diviser ou de compartimenter les communications en fonction des concepts de réseaux. On sait, par exemple, que la mise au point de circuits sensibles à la voix et à l'écriture manuscrite amèneront probablement des ordinateurs à communiquer avec l'homme dans sa propre langue ou sous forme visuelle, plutôt que sous la forme d'instructions machine. Il ne faut pas non plus limiter notre modèle de réseau de communications aux vues actuelles, car ceci écarterait certains concepts de l'avenir. Il faut orienter notre esprit vers la recherche d'un modèle souple, capable d'assurer la totalité des besoins d'information de l'utilisateur. Enfin, il ne faut pas perdre de vue qu'à l'avenir il faudra assurer des types de communications qui n'existent pas actuellement (ceux qui s'adressent à l'odorat, au toucher et au goût), si on veut arriver à dégager l'homme des limitations d'un milieu physique centralisé.

Progrès nécessaires de la technologie

Au Canada, la technologie devra réaliser des progrès considérables dans les deux décennies à venir. Bien que dans une certaine mesure on puisse prédire l'avenir en extrapolant les tendances actuelles et passées, Myron Tribus, doyen de la Thayer School of Engineering de Dartmouth, nous met en garde en ces termes: "Les choses vont évoluer plus vite et sur une bien plus grande échelle que la plupart d'entre nous s'imaginent; tout peut

arriver de mon vivant." Dans un même ordre d'idée, William Haber, doyen du College of Literature, Sciences and Arts de l'Université du Michigan, déclare qu'en 1990 la moitié de la population active sera employée à des occupations aujourd'hui inexistantes et dont la majorité n'est même pas encore conçue.

Au Canada, il va falloir disposer de fonds de recherche de plus en plus importants pour qu'une technologie véritablement canadienne puisse répondre à ces besoins. Les recherches seront par nécessité principalement orientées vers des domaines bien déterminés, dans lesquels le progrès et l'évolution technologique demandent des connaissances plus poussées. En même temps, il ne faut pas orienter et diriger la technologie au point d'étouffer les nouvelles techniques.

Compatibilité

Les sociétés exploitantes de télécommunications doivent assurer l'harmonisation du réseau canadien avec les réseaux du reste de l'Amérique du Nord et du monde. Etant engagées directement dans l'étude et l'exploitation du réseau, les sociétés exploitantes sont les seules qui peuvent garantir cette compatibilité. Une coopération étroite et des accords de travail entre les sociétés exploitantes canadiennes en ce qui concerne la conception des produits, les études de réseaux et les questions d'exploitation sont la clé de l'harmonisation globale du réseau de télécommunications. Des conditions géographiques et d'exploitation différentes feront que les sociétés exploitantes de télécommunications utiliseront souvent des méthodes et un matériel différents pour parvenir à un objectif national commun. Une coopération étroite avec le Bell System des Etats-Unis et l'UIT, assureront l'harmonisation sur les plans continental et mondial.

Dans le développement et la mise en oeuvre de nouveaux services, il est important que ceux-ci soient conçus, étudiés et établis de façon à garantir une parfaite compatibilité d'exploitation avec le réseau existant. Dans le réseau de communications, tous les éléments doivent pouvoir fonctionner ensemble. Les responsables de la conception et de la fabrication des composants doivent avoir une connaissance approfondie de l'ensemble du réseau afin d'assurer une utilisation optimale des ressources des télécommunications canadiennes.

Un réseau de télécommunications est un service bidirectionnel et, contrairement aux autres services publics, le produit de sortie doit être semblable au produit d'entrée. Il faut veiller à l'entière compatibilité des terminaux d'entrée et de sortie. Le concept du "système total" est très important, car tout nouveau service futur devra être relié à tous les points du pays, du continent et du monde.

Répercussions des innovations et de la modernisation

La modernisation et les innovations apportées au réseau d'exploitation des télécommunications sont essentielles si on veut maintenir l'efficacité et la qualité du service offert à l'utilisateur canadien des communications. L'innovation mène à la modernisation, et c'est uniquement par la modernisation qu'on obtient l'accroissement de la productivité, la réduction des prix, l'amélioration de la qualité du service et l'adaptation du réseau aux besoins de l'utilisateur.

Par le passé, les efforts de modernisation des sociétés exploitantes ont été importants et payants. A l'avenir, ils devront être encore plus importants afin qu'ils puissent aller de pair avec les progrès technologiques possibles des deux prochaines décennies. Les faits suivants permettent d'évaluer les progrès rapides de la technologie. Aujourd'hui, un chercheur n'est pas surpris qu'un ordinateur puisse accomplir en quelques secondes le travail qui lui aurait demandé plusieurs décennies il y a moins de vingt ans. Un technicien des communications n'est pas davantage étonné de pouvoir acheminer 100,000 conversations téléphoniques à grande distance sur un guide d'onde simple, tandis que moins de trente ans auparavant l'acheminement de 12 voies sur un câble bifilaire représentait un exploit de taille. En vérité, quand on sait que 90% de tous les chercheurs et techniciens qui aient jamais vécu sont aujourd'hui parmi nous, on s'aperçoit que le rôle que la technologie a joué pendant les dernières décennies, et qu'elle est assurément appelée à jouer au cours des deux prochaines, est énorme.

Les besoins de l'utilisateur indiquent plus nettement que jamais que le réseau futur de transmission doit être souple et perméable à tous les types de transmission de l'information, à partir de la voix jusqu'à l'image en couleur, ou au delà, si cela est nécessaire.

La planification des innovations nécessaires pour atteindre ce but bénéficie d'une étroite association de travail entre les sociétés exploitantes et les fabricants. Cette association conduit à de meilleurs résultats que le travail isolé de chacun des intéressés. On peut aussi affirmer que le Canada avec ses moyens techniques limités ne peut se permettre rien d'autre qu'un tel genre d'association.

Degré d'innovation

On introduit de nouvelles technologies lorsqu'elles peuvent amener une amélioration de la souplesse et de la qualité de transmission, ou une diminution des frais d'exploitation, ou encore quand les technologies existantes ne peuvent répondre à de nouvelles exigences. Le degré d'innovation ne se limite pas à la possibilité d'adaptation de nouvelles technologies au matériel en

place. Au Canada, les sociétés exploitantes de télécommunications ont été en général des pionniers dans toutes les ramifications des communications. On ne peut toutefois réaliser tout ce qui est techniquement possible avec des moyens financiers limités. Beaucoup de services et de technologies, s'ils parviennent à être mis en exploitation, doivent tenir compte du baromètre du marché, en l'occurrence les besoins de l'utilisateur et ce qu'il est prêt à payer pour un service nouveau ou de meilleure qualité. Il est inévitable que certains projets ne répondent pas à ces normes. Par contre, cela stimulera la recherche de moyens plus économiques, dans les limites restreintes des ressources disponibles.

En général, les technologies nouvelles ne sont réellement exploitées que 10 à 15 ans après leur conception. Cela est dû en partie au temps nécessaire à l'étude et aux essais. Toutefois, de nos jours on projette les systèmes en considérant qu'on doit faire des découvertes technologiques à divers stades de leur développement. L'utilisation d'ensembles normalisés, comme les circuits intégrés à grande échelle, dans la conception et la fabrication de systèmes peut aussi réduire cette partie du programme. Cela peut conduire à une disponibilité plus rapide des composants de systèmes. Le temps qui doit nécessairement s'écouler entre la mise en service et l'utilisation généralisée ne changera probablement guère comparativement aux délais qui s'écoulaient dans le passé. Les innovations doivent être planifiées et continuelles. Les améliorations introduites dans le but d'assurer un service ne sont pas obligatoirement les meilleures solutions. C'est pour cette raison qu'on doit encourager la souplesse technologique afin que les systèmes actuellement mis en place permettent l'exploitation future de nouvelles idées sans qu'on soit tenu d'adhérer rigidement aux évaluations passées de services et d'installations. Au Canada, à cause de l'expansion rapide du réseau d'exploitation des télécommunications, on peut de cette manière intégrer facilement de nouvelles technologies quand elles sont économiquement rentables. On a, par exemple, mis en place plus de 150 systèmes MIC à courants porteurs depuis leur mise en service initiale au Canada en 1965.

Les besoins de main-d'oeuvre

Le besoin de main-d'oeuvre spécialisée et le prix croissant de la main-d'oeuvre en général obligeront les sociétés exploitantes à faire preuve de la plus grande ingéniosité technologique dans la mise en oeuvre de méthodes d'exploitation et de dispositifs destinés à réduire le personnel nécessaire. A l'avenir, l'entretien automatisé constituera un aspect essentiel de la rentabilité d'un système. De même, il faudra automatiser les services d'assistance aux abonnés dans toute la mesure du possible afin de permettre l'expansion prévue du réseau au cours de la prochaine décennie. L'avenir sera orienté vers la

mécanisation de toute fonction susceptible d'être accomplie par une machine.

5.1.2 Rapports entre les sous-systèmes du réseau

a) Généralités

Un réseau rend économiquement possible les communications de point à point. C'est le réseau qui assure tant les moyens de sélection que la voie d'acheminement de la communication. En d'autres termes, le réseau réunit la totalité des divers sous-systèmes de transmission, de commutation et de conversion (transducteurs) qui permettent d'établir des itinéraires économiques entre les usagers.

L'interdépendance des différents sous-systèmes ainsi que les dimensions de l'ensemble d'un réseau d'exploitation éveillent l'intérêt. Le réseau canadien, composé de 10 millions de postes et de plusieurs sociétés exploitantes, doit fonctionner comme un ensemble. Il doit aussi pouvoir assurer les liaisons avec le reste du réseau nord-américain, qui comprend environ 130 millions de postes, ainsi qu'avec le reste du monde.

Le réseau actuel, dont le concept fondamental remonte à plus de quarante ans, s'est montré remarquablement adaptable à l'expansion et aux changements. Sa structure n'est ni monolithique ni rigide. Au contraire, sa grande souplesse permet de le reconvertir en fonction des divers équipements et conditions d'exploitation et de l'évolution du trafic et de la technologie.

Cette souplesse n'est pas accidentelle. Le réseau a été conçu d'après l'expérience qui a doté le Canada d'un des meilleurs systèmes de communications du monde. Dès le début, cette souplesse a été nécessaire afin de faire face à l'expansion et d'assurer l'équilibre continu du réseau en fonction du trafic et du prix relatif des sous-systèmes qui le composent.

b) Compromis économiques entre la commutation, la transmission la distribution et les transducteurs

Nous avons parlé au paragraphe 4.2 des compromis entre la commutation et la transmission dans le réseau. Il ne s'agissait là que d'un exemple de ce qui se produit à l'échelle du réseau tout entier en fonction de la technologie appliquée et des frais qu'y sont associés. A l'heure actuelle, les frais dans le réseau canadien se répartissent de la façon suivante par abonné: 7.5% environ pour le poste téléphonique et son raccordement, 37% pour les installations de distribution, 35% pour le matériel local de commutation, 5.5% pour le matériel de commutation tandem et 15% pour les installations de transmission à courte ou grande distance. Les installations plus complexes des entreprises

commerciales, comme par exemple les postes n'exigeant pas l'usage des mains ou ceux qui sont dotés d'autres caractéristiques, peuvent présenter des écarts de plus de 50% par rapport aux chiffres cités ci-dessus. Néanmoins, si on considère les frais, exception faite de ceux du poste téléphonique proprement dit, pour une liaison entre deux abonnés A et B dans le réseau, la répartition est alors la suivante: distribution (A): environ 20%; central local (A): environ 19%; transmission à courte ou grande distance plus commutation tandem: 22%; central local de commutation (B): 19%; distribution (B): 20%. On pense généralement que cette répartition est la plus économique. Cependant, elle varie continuellement en fonction des prix relatifs des sous-systèmes.

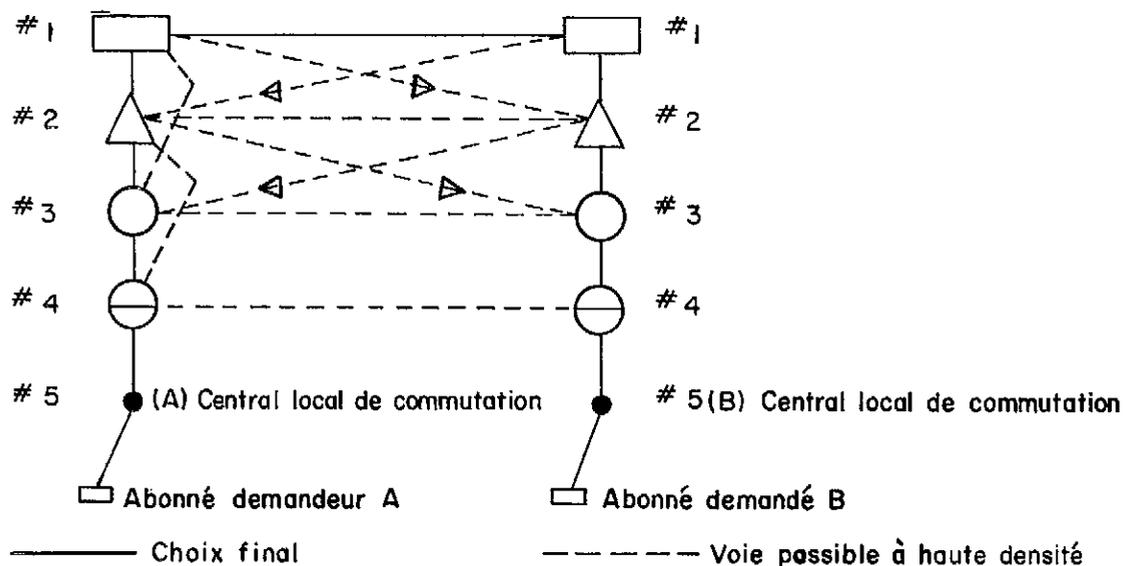


Fig. 9 Structure de la commutation hiérarchisée à 5 niveaux

Pour arriver à cette solution économique tout en maintenant la souplesse nécessaire, les installations à courte et grande distances ainsi que les centraux tandem sont disposés en une structure hiérarchisée à 5 niveaux de commutation, ce qui élimine le besoin de relier directement entre eux tous les centraux tandem. La Figure 9 illustre cette hiérarchie. Grâce à cette structure, plusieurs centraux locaux de commutation sont reliés par un central tandem (4) qui, à son tour, et parallèlement à plusieurs autres centraux du type 4, est relié à un central tandem de type 3. Ce dernier, ainsi que d'autres centraux de type 3, est relié à un central tandem de type 2, et ainsi de suite. Au Canada, il existe actuellement 2 centraux de type 1, 6 centraux de type 2, 27 centraux de type 3, 167 centraux de type 4 et plus de 4,000 centraux de type 5. La ligne pleine indique

le dernier choix possible, c'est-à-dire le pire dans la hiérarchie. Compte tenu des deux boucles locales de distribution, l'appel pourrait demander jusqu'à 11 chaînons de transmission pour être acheminé. Cette disposition hiérarchisée comporte cependant d'autres choix de voies d'acheminement. Les différents centraux de commutation tandem peuvent choisir, sur une base prioritaire, diverses voies d'acheminement à grande capacité (en pointillé sur la Figure 9). Le circuit en trait plein, ou dernier choix possible, ne risque de se produire que dans 0.001% des cas. Sur la Figure 9, on voit que les voies à grande capacité vont de gauche à droite, au même niveau ou à un niveau supérieur. Cette souplesse d'acheminement, tout en assurant des économies grâce à la combinaison des voies directes et des voies à grande capacité, réduit aussi énormément la possibilité de blocage d'un appel dans le réseau. Cette propriété complique la conception et la réalisation des installations du réseau. Chaque installation de transmission, y compris la distribution locale et le dispositif terminal, doit être conçue selon des normes rigides de signalisation et de transmission qui conviennent à sa position dans la hiérarchie. L'ensemble du réseau doit fournir une qualité uniforme de transmission quel que soit le nombre de chaînons utilisés dans la connexion.

Le réseau doit aussi pouvoir contrôler l'établissement et la rupture des liaisons. Entre les appareils de commutation, on utilise des signaux de supervision pour assurer ce contrôle en temps réel. Le réseau doit aussi pouvoir contrôler des variations de volume du trafic comme celles qui se présentent aux heures de pointe dans une localité ou une région particulière. On emploie ce genre de contrôle pour restructurer le réseau afin de pouvoir faire face aux diverses charges qui se présentent. On doit aussi pouvoir utiliser ce type de contrôle pour modifier la structure du réseau en cas de changement imprévu comme la mise hors circuit accidentelle d'une voie de transmission à grande distance.

c) Economies dues à l'exploitation à grande échelle du réseau

Le critère de rendement d'un réseau est la possibilité qu'il a d'assurer des communications de point à point à prix optimal. Le réseau le plus économique est celui qui achemine la quantité la plus importante de trafic et possède les installations de la plus grande capacité. Trois facteurs principaux peuvent conduire à cet objectif.

Le premier consiste à tirer le meilleur parti possible de la combinaison transmission-commutation. A mesure que les installations de transmission s'agrandissent grâce à l'expansion normale, au développement des choix d'acheminement et à d'autres concepts d'organisation de réseau, les installations peuvent acheminer davantage de trafic par unité. L'expansion permet

aussi l'établissement d'autres voies directes de transmission. Il en résulte une réduction du nombre de points de commutation et du nombre d'installations de transmission en tandem, ce qui réduit les frais. Le système hiérarchisé satisfait les besoins actuels. Sa souplesse inhérente le prépare aux développements futurs.

Le deuxième facteur est la possibilité d'entretenir un niveau élevé d'utilisation du réseau à tout moment. Avec des services comme le téléphone, le TWX, le télex, les services de données et autres, le réseau doit être conçu pour faire face à des pointes de trafic dépendant du service et des usagers. On peut réduire ces pointes dans une certaine mesure en offrant des tarifs réduits pendant les heures habituellement creuses. On peut obtenir un meilleur équilibre du trafic en combinant tous les genres de services dans le réseau, vu que leurs heures de pointe respectives ne sont pas les mêmes. On a appliqué ces deux méthodes dans le réseau actuel au moyen d'un régime de taxation selon l'heure et le jour et par l'acheminement de plusieurs services sur le réseau.

Le dernier facteur, relié au deuxième, concerne les économies réalisées par l'utilisation collective. L'adjonction de services supplémentaires contribue à l'amointrissement des pointes de trafic. En outre, lorsque des services (comme la distribution de la télévision) autres que ceux du réseau commuté normal sont acheminés par la société exploitante, l'utilisation d'une installation de transmission à grande capacité amène des réductions du coût unitaire qu'on ne réaliserait autrement que par l'adjonction de plusieurs centaines de circuits téléphoniques. Il est par conséquent indispensable pour des motifs d'efficacité d'assurer l'acheminement des services à large bande sur les installations collectives de transmission.

Les sociétés exploitantes doivent donc optimaliser la souplesse et les frais du réseau. On ne peut ignorer le fait que chaque partie du réseau dépend des autres de plusieurs façons. Dans ses tentatives en vue de combiner de façon optimale la commutation, la transmission et les postes terminaux, la société exploitante doit tenir compte des rapports étroits qui existent entre chaque partie du réseau lorsqu'il s'agit de réaliser la synthèse de son modèle. Il est regrettable que les plus gros ordinateurs ne puissent qu'établir le modèle d'une section infime du réseau entier. A l'avenir, l'incorporation dans le réseau de dispositifs d'auto-analyse permettra de tirer le meilleur parti possible des conditions existantes.

5.1.3 Besoins futurs du réseau

a) Généralités - Expansion rapide

Après avoir examiné la structure actuelle du réseau, nous étudierons les services susceptibles d'influer sur son avenir. Nous passerons également en revue les marchés domestique et commercial.

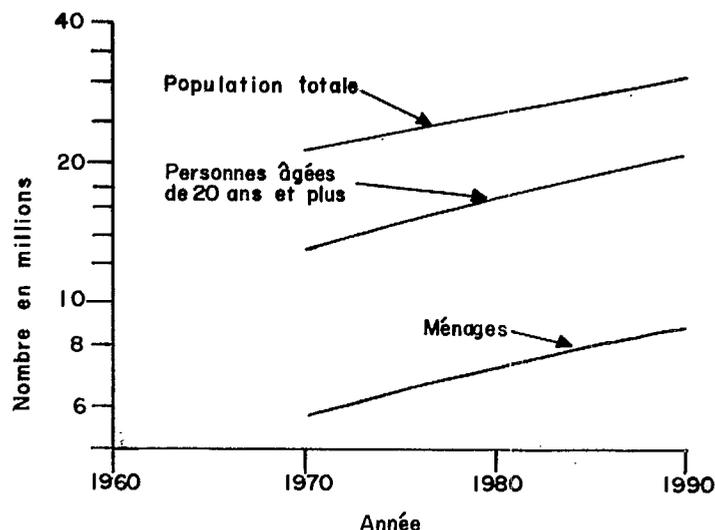


Fig. 10 Croissance prévue de la population et des ménages au Canada

Afin de pouvoir estimer les besoins futurs du réseau, il est bon d'étudier les prévisions d'accroissement de la population canadienne qui devra être desservie par le réseau des sociétés exploitantes de télécommunications pendant les deux prochaines décennies (voir Fig. 10). Il existe actuellement au Canada une répartition démographique particulière: 40% de la population est âgée de moins de 20 ans et 37% seulement fait partie de la population active. Pendant la prochaine décennie, la population âgée de moins de 20 ans diminuera pour ne représenter que 30% du total. On assistera à une augmentation correspondante de la population active. Les familles moins nombreuses de ces dernières années sont la cause de cette tendance, qui réduira aussi le rythme de formation des nouveaux ménages au cours des deux prochaines décennies.

Les services de fréquence vocale comprennent les services phoniques et de données assurés par commutation. Les services visuels seront aussi assurés par commutation et comprendront des services à débit d'information plus élevé que ceux de fréquence vocale. Des services spéciaux prendront en charge les besoins de distribution particuliers.

b) Services domestiques ou individuels automatisés

Comme le montre la Figure 10, le nombre de ménages continuera à augmenter mais leur taux d'accroissement baissera.

(i) Les services de fréquence vocale seront les plus demandés

Les besoins de services bidirectionnels de fréquence vocale continueront à augmenter malgré l'évolution des appareils, des gammes de services et du matériel de distribution, de transmission et de commutation. En ce qui concerne le nombre de lignes principales par ménage, la Figure 11 indique qu'on approche du point de saturation du marché, bien qu'on prévoit une certaine augmentation du nombre de lignes supplémentaires par ménage.

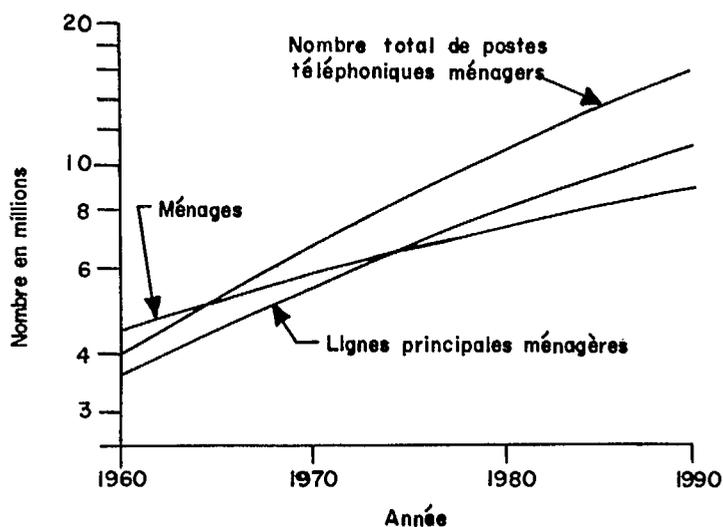


Fig. 11 Besoins téléphoniques des ménages

On estime que le taux d'expansion des postes supplémentaires suivra au cours de la même période celui de l'accroissement du nombre de ménages.

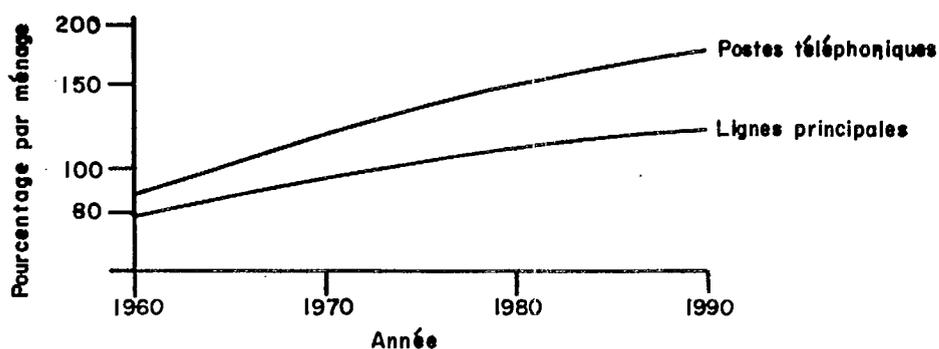


Fig. 12 Pénétration du téléphone dans le secteur des ménages

La Figure 12 illustre le degré d'implantation du service bidirectionnel de fréquence vocale sur le marché domestique.

Le paragraphe 2.1 de ce rapport et l'étude 2 e) de la Télécommission traitent des besoins auxquels on aura probablement à faire face. Nous les énumérons ici à titre de référence.

Entre 1970 et 1980

- Enregistreurs de messages pour abonnés absents ou lignes occupées
- Dispositifs de recouvrement de l'information à réponse parlée
- Services d'annonces enregistrées
- Téléphone à haut-parleur (élimination de l'usage des mains)
- Tél'imprimeurs portatifs permettant de communiquer avec des ordinateurs
- Meilleure qualité de transmission
- Intégration du service radiotéléphonique mobile au réseau public
- Dispositifs portatifs de téléappel
- Composition abrégée au cadran et rappel automatique
- Appels de conférence

- Transfert des appels à un autre poste
- Affichage alphanumérique
- Identification des abonnés
- Télécommande des appareils ménagers, etc.
- Services bancaires et règlement des factures par téléphone
- Possibilités d'accès à distance à des calculatrices
- Service d'alarmes automatiques

Entre 1980 et 1990

- Services d'informatique à reconnaissance de la voix
- Services de traduction
- Services de mémorisation et d'acheminement ultérieur des appels (commutation de messages)
- Appareils téléphoniques sans cordon
- Terminal de données à domicile
- Affichages graphiques
- Service de messages téléphonés

Une grande partie de ces services dépendront de la mise au point d'un dispositif économique d'entrée des données comme le clavier de composition par tonalité du téléphone. La réalisation des services énumérés ci-dessus, ainsi que d'un certain nombre d'autres qui seront nécessaires au cours des deux prochaines décennies, dépendra de leur prix. Comme par le passé, le monde des affaires sera le premier à utiliser de nombreux services nouveaux. Cependant au cours de la deuxième décennie, les tendances vers la décentralisation du lieu de travail en direction de chaque foyer, associées aux besoins de l'enseignement, donnera une importance accrue au secteur domestique du marché.

(ii) Les services visuels ne se généraliseront que pendant les années 80

La mise en service du visiophone bidirectionnel vers 1975 n'accapara qu'une faible partie du marché domestique jusqu'en 1980. On pense qu'il s'implantera plus fermement au cours des années 1980. Le visiophone sera probablement le support des services à large bande offerts aux domiciles des usagers. Nous énumérons ci-dessous quelques-uns des services qui feront leur apparition au cours des années 1980:

- Systèmes de recouvrement de l'information visuelle
- Services individuels d'achat par télévision
- Service postal électronique
- Services éducatifs par télévision
- Services d'affichage graphique
- Interaction visuelle bidirectionnelle avec des ordinateurs
- Services de conférences par télévision

On estime que le visiophone équipera environ 1% des ménages en 1990 (environ 70,000 postes). Cela représente une tranche importante du marché quand on sait que le visiophone a une largeur de bande de 100 à 400 fois supérieure à celle des voies téléphoniques.

Au départ, le prix assez élevé du visiophone et des autres services à large bande orienteront probablement le marché domestique vers d'autres types de services du réseau commuté à fréquence vocale. Des dispositifs d'impression ou d'affichage alphanumérique peu coûteux pourront ainsi dominer le marché jusqu'à ce que le besoin de services visuels bidirectionnels devienne assez important pour en justifier le prix.

(iii) Demande de services spéciaux avec possibilités de sélection

Au cours des dernières années, la tendance à l'individualisme en matière de divertissement s'est accrue. La musique par fil et la cablodiffusion continueront à se développer pour donner un plus vaste choix individuel de divertissements. Entre 1980 et 1990, à mesure que la tendance à l'individualisme se

développera, il faudra certainement faire face à un besoin de divertissements à domicile qui seront accessibles par composition au cadran. Les services demandés comprendront probablement:

- La distribution de musique haute fidélité et stéréophonique
- Les émissions visuelles spéciales sur demande
- D'autres services individuels à domicile

c) Communications étendues et plus grande mobilité pour le monde des affaires

Au cours de la prochaine décennie, le besoin de systèmes d'information plus efficaces pour le monde des affaires va ouvrir un marché d'expérimentation, créer des demandes de services qui devront permettre de faire face à la concurrence et amener une évolution générale des services de communications. Cette tendance va probablement se poursuivre jusqu'en 1990, quoiqu'il soit difficile d'imaginer l'aspect qu'aura le monde des affaires au-delà de 1980. Une réévaluation et une redéfinition des méthodes d'exploitation amèneront probablement l'utilisation d'autant de caractéristiques nouvelles qu'il est économiquement possible de réaliser du point de vue technique afin de satisfaire les besoins en télécommunications.

(i) Les services de fréquence vocale seront très demandés

Les services phoniques bidirectionnels ou les services assurés par le réseau commuté de fréquence vocale seront les plus demandés. La Figure 13 donne les prévisions d'expansion de cette partie du marché au Canada.

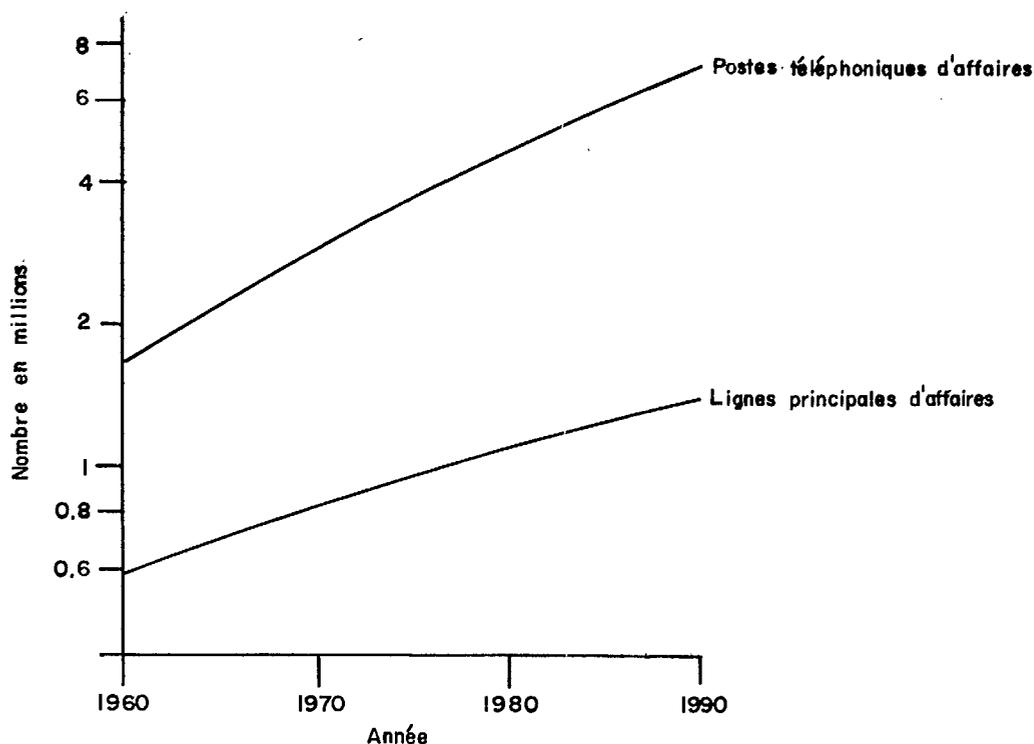


Fig. 13 Croissance prévue des services téléphoniques d'affaires

La Figure 14 montre, en outre, les prévisions concernant les terminaux commutés de données d'une vitesse allant jusqu'à 50 kilobits/sec., à l'exclusion des postes téléphoniques à cadran ou à clavier de composition. Ainsi que l'indique le paragraphe 4.2, le service actuel à 50 kilobits/sec. est commuté par une matrice séparée. Toutefois, on pense qu'il sera intégré au réseau de fréquence vocale pendant la période de prévision considérée.

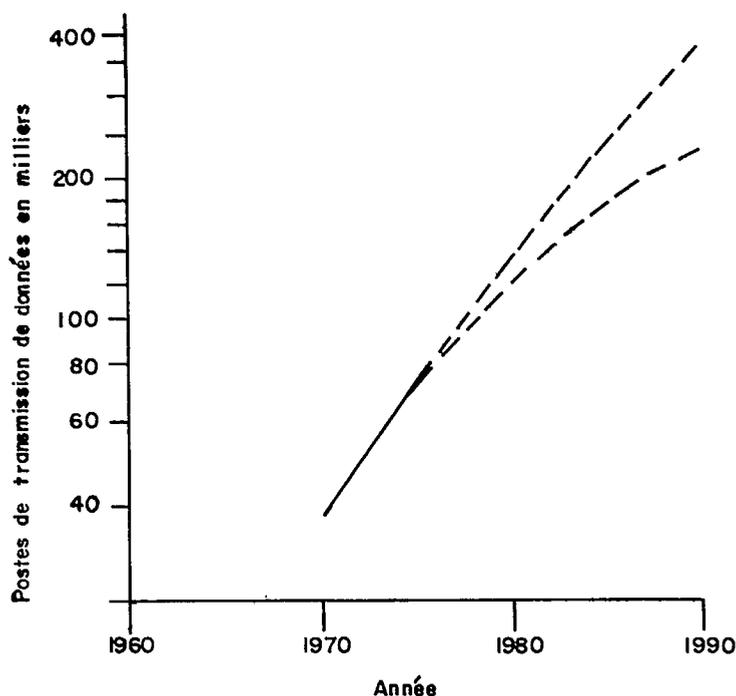


Fig. 14 Croissance prévue des postes de transmission de données branchés sur le réseau commuté

A cause du manque de données, cette prévision n'est au mieux qu'une approximation. Après 1975, elle est comprise entre deux courbes de valeurs. Avant 1975, le service à 50 kilobits/sec. sera probablement très peu demandé.

Nous énumérons ci-dessous les prévisions concernant les besoins apparentés aux services phoniques bidirectionnels et aux services de données de fréquence vocale:

De 1970 à 1980

- Service d'enregistrement des messages pour abonnés absents ou lignes occupées
- Dispositifs de recouvrement de l'information à réponse parlée
- Téléphone à haut-parleur (élimination de l'usage des mains)
- Téléimprimeurs portatifs permettant de communiquer avec des ordinateurs

- Intégration plus poussée du service radiotéléphonique mobile au réseau public
- Dispositifs portatifs complexes de téléappel
- Composition abrégée au cadran et rappel automatique
- Appels de conférence
- Transfert des appels à un autre poste
- Services de secrétariat par ordinateur
- Services de traduction
- Affichages graphiques pour le corps médical, etc.
- Affichages alphanumériques
- Services d'alarmes automatiques
- Service téléphonique interne sans cordon
- Mise en mémoire et acheminement des appels (commutation de messages) avec conversion du code et de la vitesse

De 1980 à 1990

- Services postaux par télécommunications
- Souplesse et portée accrues du téléphone sans cordon. Expansion des services existants et création de nouveaux services

(ii) Le monde des affaires aura besoin en priorité d'une grande variété de services visuels

On s'attend à ce que le marché des services visuels à l'intention du monde des affaires soit relativement important. Les systèmes visuels de recouvrement de l'information à l'usage des secteurs industriel et éducatif occuperont une grande partie de ce marché. On devra aussi, pour ne citer qu'un exemple, faire face aux besoins de services visuels en temps réel pour le corps médical. Ces besoins créeront la nécessité d'une gamme variée de transducteurs vidéo-numériques et d'affichages graphiques. Les services de conférences par télévision seront un complément des transports. La tendance

actuelle vers un transfert plus rapide de l'information, tendance due à la concurrence commerciale, complétera les services postaux. Bien entendu, le service postal continuera d'être le moyen le plus économique d'acheminer plus lentement de grandes quantités d'information sur microfilms, hologrammes et sous d'autres formes matérielles. Les services prévus sont résumés ci-dessous:

De 1970 à 1980

- Systèmes éducatif de recouvrement de l'information visuelle
- Systèmes visuels de recouvrement de l'information
- Services audio-visuels de conférences (par télévision)
- Service postal de première classe par fil
- Services éducatifs visuels pour l'enseignement
- Services d'affichages graphiques
- Service de visiophone

De 1980 à 1990

- Développement des services précités, avec une orientation vers une plus grande mobilité des usagers

Le marché sera constitué de plusieurs services axés sur différents types de transducteurs. On pense que le visiophone se sera implanté dans 6% des entreprises d'ici 1990 (80,000 postes).

(iii) Services spéciaux intégrés au réseau

Il existe actuellement de nombreux services spéciaux répondant aux besoins particuliers du monde des affaires. Nous avons déjà parlé des réductions du prix unitaire dont bénéficient tous les domaines grâce à l'intégration de ces services spéciaux dans le réseau. Il sera possible au cours de la prochaine décennie d'assurer la plupart des services spéciaux de lignes privées dans le réseau commuté, vu que de nombreux usagers ont des besoins semblables.

5.1.4 Le réseau futur

(a) Généralités.

Supériorité du réseau des sociétés exploitantes

Autrefois, les communications orientées vers les masses étaient très économiques et assuraient l'homogénéité de la société. La nouvelle technologie permet une plus grande liberté de choix à l'utilisateur, et conduit vers l'individualisme et les besoins qui en découlent relativement au réseau.

L'abonné, et par suite le réseau, adaptera ses dispositifs de communications préférés à son individualisme au moment et à l'endroit de son choix. Cela donnera lieu à la mise au point d'un nombre important de dispositifs d'entrée-sortie dans le réseau, et amènera une plus grande mobilité. Par le passé, les nouvelles technologies étaient plus facilement adoptées lorsqu'un support existant permettait leur croissance et leur expansion. A l'avenir, la plupart des dispositifs interactifs pourront utiliser le réseau commuté de fréquence vocale et toute l'organisation qui s'y rattache. Dans ces conditions, on peut espérer un accueil plus favorable et une adoption plus rapide de la part des usagers. De même, au cours de la deuxième décennie l'augmentation de capacité due à la mise en service du visiophone encouragera les innovations technologiques.

Dans le réseau futur de communications, le téléphone, l'ordinateur et divers appareils audio-visuels seront étroitement interdépendants dans un réseau unique, ce qui assurera une plus grande facilité d'interaction et de réponse à l'utilisateur.

b) Accroissement du trafic

La croissance rapide à laquelle on a assisté dans le passé se poursuivra grâce aux effets combinés de l'expansion des services déjà en place et à la création de services nouveaux. Pour satisfaire ces demandes, de nouvelles techniques devront être mises au point, et tout porte à croire qu'elles le seront.

A cause de l'augmentation présente et à venir du nombre d'appels et de leur durée ainsi que de la croissance du nombre de postes d'abonnés, il faudra davantage de matériel de commutation et de transmission. La Figure 15 illustre l'expansion globale prévue de tous les services assurés par les réseaux commutés des sociétés exploitantes, y compris les services de données, pour les appels locaux et interurbains. (Prendre note des échelles différentes des deux courbes.) Il faut remarquer que les deux courbes s'écartent légèrement de la croissance exponentielle classique qui se produit dans de nombreux pays. Cela indique une augmentation du pourcentage de croissance.

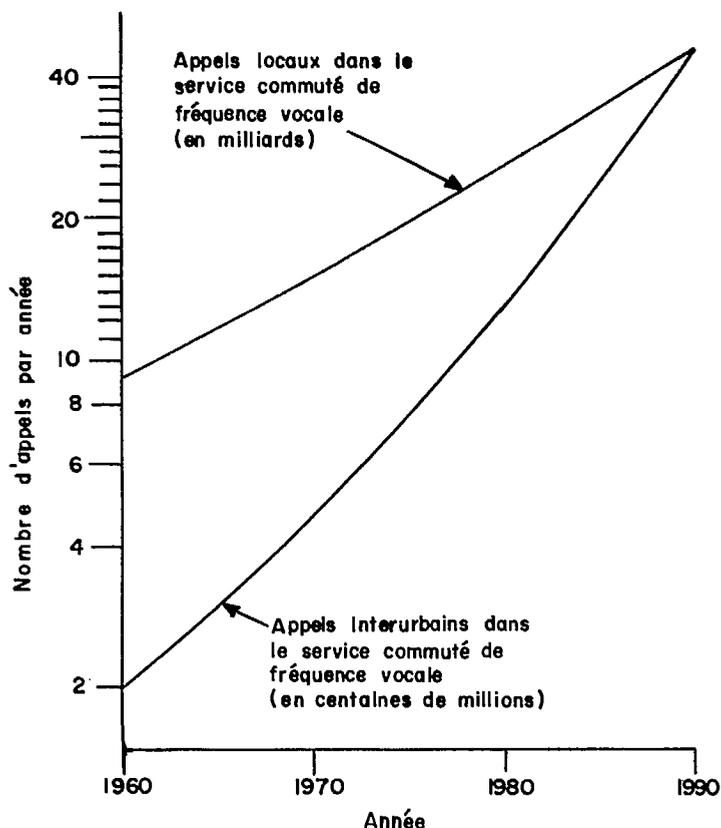


Fig. 15 Croissance prévue de tous les appels locaux et interurbains empruntant le réseau téléphonique commuté des sociétés exploitantes.

Le taux d'expansion annuel du nombre d'appels pour tous les services commutés de fréquence vocale dépasse 10% pour les appels interurbains et 5.5% pour les appels locaux. La durée des appels ou temps d'occupation augmente aussi à un rythme correspondant. Quand on prend en considération les besoins totaux, lignes privées comprises, le taux global d'expansion pour certains secteurs dépasse 17%. Les études des systèmes montrent que la structure hiérarchisée à cinq niveaux du réseau sera adéquate jusqu'au milieu des années 1970 au moins. Par la suite, le trafic aura augmenté à un point tel que le niveau supérieur (centraux de commutation tandem de type 1) pourra être éliminé. Cela sera la conséquence directe du trafic accru et des rapports financiers entre la transmission et la commutation à ce niveau de trafic.

c) Technologies nouvelles pour l'expansion

On devra faire appel à plusieurs des nouvelles technologies exposées en détail au chapitre 4 pour que le réseau commuté puisse répondre de façon satisfaisante aux divers besoins.

Les taux d'expansion du réseau nécessiteront l'utilisation de systèmes de transmission à grande distance à câbles coaxiaux d'ici le milieu des années 1970, et des systèmes à guides d'onde ou à laser pendant les années 1980. Il est peu probable que les circuits par satellites soient économiques ou adéquats sur les voies d'acheminement transcontinentales canadiennes au cours de cette décennie. On pourra cependant les utiliser pour la transmission est-ouest des émissions de télévision et pour la prestation de services dans les localités isolées du Grand Nord. Les systèmes de commutation mis en service seront tous par nécessité à commande centralisée et pour la plupart à commande électronique par programme enregistré pendant les années 1970. L'introduction de la commutation temporelle MIC décentralisée dans les centraux à programme enregistré pendant les années 1980 apportera une souplesse et des économies accrues. La diversité des services rendra probablement rentables les systèmes de distribution à large bande pour certaines régions à forte densité démographique. Au cours des années 1980, ces systèmes pourront être utilisés sur une grande échelle afin de permettre la combinaison de tous les services.

Le réseau doit ressembler de plus en plus à un réseau routier, avec ses super-autoroutes, ses bretelles d'accès, ses voies de service, ses rues et son contrôle de la circulation. A l'heure actuelle, chaque central de commutation choisit ses voies d'acheminement en fonction de structures logiques fixes et de la disponibilité des lignes auxquelles il est directement relié. Le réseau entier est disposé de façon à répondre aux besoins d'un trafic normal. La structure logique fixe d'acheminement de chaque central est établie de manière à tirer le meilleur parti possible des voies disponibles et de réduire au minimum les possibilités de blocage des appels.

d) Accroissement de l'efficacité du réseau par des voies communes de contrôle des données de signalisation

Dans la commutation tandem, même avec les possibilités de choix des voies d'acheminement, il est possible qu'un appel soit finalement bloqué dans un central éloigné à cause du trafic trop dense. Cela est essentiellement dû au fait que le central de commutation dispose de peu de renseignements sur l'ensemble du réseau. Dans chaque voie, les données de destination sont actuellement transmises par la voie elle-même. Par conséquent, le central de commutation doit explorer chaque voie pour déterminer son état d'occupation ou retrouver l'information de signalisation. Bien que le réseau actuel présente une certaine

souplesse d'acheminement, il n'est pas réellement adapté aux besoins futurs. Par ailleurs, en cas de dérangement dans le réseau, un dispositif économique d'acheminement automatique du trafic présente des avantages certains. Pour satisfaire la totalité de ces besoins, ainsi que d'autres qui viendront s'y ajouter, on étudie le concept d'une voie commune de contrôle des données de signalisation. Entre le milieu des années 70 et des années 80, tous les centraux ESP à commande centralisée pourront échanger des données de signalisation sur des voies communes distinctes des voies affectées aux communications. Chaque central disposera ainsi de données sur l'état de charge des autres centraux et acheminera son trafic en conséquence. On pense que cette caractéristique permettra à elle seule de réaliser des économies d'environ 20% relativement aux installations de transmission. La meilleure adaptation de la voie de données de signalisation à la vitesse de l'appareil de commutation permettra aussi d'autres économies et des vitesses de commutation plus élevées. Nous énumérons ci-dessous d'autres types de services pouvant être contrôlés par ce moyen.

- Structure variable des installations de transmission permettant l'envoi de plusieurs types d'information sur une voie commune et le tri à l'arrivée à destination

- Contrôle de l'importance des groupes d'installations de transmission pour faire face au trafic des heures de pointe grâce à la reconfiguration du réseau

- Données prioritaires sur le réseau

- Données spéciales de facturation comme dans le cas de l'INWATS⁹

- Identification extérieure au réseau, contrôle de l'interconnexion, mesure des utilisations spéciales en des points de commutation intermédiaires, etc.

- Fonctions de gestion du réseau pour en contrôler l'exploitation

- Renseignements sur l'état du réseau signalant les points critiques (encombrement, surcharge et pannes)

Ainsi, la signalisation et le contrôle prendront pratiquement la forme de communications entre ordinateurs.

e) Hiérarchie moins élevée par suite de l'expansion et de la signalisation commune

Le degré possible de contrôle du trafic dans le réseau grâce à la signalisation commune, ainsi que l'augmentation prévue du trafic pendant la deuxième décennie et le besoin de réduction du temps de liaison, feront certainement baisser le nombre des niveaux dans la hiérarchie actuelle d'au moins un échelon au cours des années 1970. Si les tendances actuelles persistent, la structure du réseau sera finalement composée en 1990 d'une hiérarchie à trois niveaux.

f) Centraux plus grands par suite de l'expansion

Des études indiquent que les centraux de l'avenir, en plus de réaliser la commutation spatiale et temporelle par programme enregistrée à commande centralisée, devront avoir une capacité beaucoup plus importante qu'à l'heure actuelle. Pour être plus précis, ce sont particulièrement les processeurs de commande centralisée qui devront être plus grands.

Grâce à un central tandem de plus grande dimension, on obtiendra des faisceaux de circuits interurbains plus importants et dotés d'une meilleure efficacité. En outre, des centraux tandem plus importants signifient un nombre moindre de centraux et d'artères interurbaines. Dans certaines régions métropolitaines pour lesquelles plusieurs centraux tandem sont nécessaires, des études montrent qu'il est possible en doublant la capacité de ces centraux de réaliser des économies annuelles d'un million de dollars relativement à la transmission et à la commutation. Les centraux devront donc être composés de blocs modulaires plus grands afin de permettre économiquement l'expansion.

Pour les centraux locaux et urbains de commutation, il faut que le processeur central soit commun au plus grand nombre possible de lignes afin de réaliser des économies maximales grâce à l'efficacité accrue des liaisons. Cela ne suppose pas l'utilisation d'un seul processeur. Une commutation décentralisée pourrait par exemple utiliser plusieurs organes satellites situés dans des immeubles ou des trous d'homme et dotés de possibilités limitées de traitement. Ce serait cependant un processeur central (parmi d'autres) qui assurerait la commande principale.

g) Un seul réseau pour tous les services actuels et futurs

La partie du réseau commuté actuel fonctionnant en fréquence vocale peut assurer en moyemme un débit maximum d'environ 24 kilobits/sec. Les postes de données actuels ne permettent encore qu'un débit de 9.6 kilobits/sec. par voie dans un réseau commuté. Lorsque s'étendra l'utilisation de la modulation numérique MIC

dans le réseau, on atteindra une nouvelle limite de 64 kilobits/sec. par voie. La grande majorité des usagers de données utilisent actuellement des vitesses maximales de 1200 bits/sec. et seulement pendant de très brèves périodes. L'accroissement de la capacité des voies ne fera qu'en diminuer le rendement à moins qu'on augmente les possibilités de l'utilisateur ou qu'on permette l'utilisation collective des voies.

Ainsi, l'utilisation de sous-voies de transmission s'avère donc capitale pour tirer le meilleur parti possible des capacités de commutation et de transmission du réseau. Au départ, on assurera ce service à l'aide de concentrateurs distincts. La fonction de subdivision des voies pourra par la suite être incorporée aux futurs dispositifs de commutation.

Le réseau peut satisfaire tous les besoins actuels et futurs en matière de données. Le réseau analogique commuté de fréquence vocale offre à l'utilisateur des vitesses de transmission allant jusqu'à 4.8 kilobits/sec. et plus. Des matrices spéciales utilisées avec les dispositifs de commutation de fréquence vocale peuvent porter cette vitesse à 240 kilobits/sec. et plus. Elles peuvent aussi acheminer les signaux de visiophone à 6 millions de bits par seconde. Cela dépasse largement les besoins actuels. Au Canada, avec les installations MPF, cette façon d'acheminer des données sur des installations analogiques est la moins chère compte tenu du marché actuel. Par exemple, le rapport du coût relatif pour l'utilisateur moyen (1200 bit/sec.) serait actuellement de 2 à 1 en faveur de la méthode analogique existante. Ce rapport serait encore plus grand si on utilisait l'appareil de transmission de données à circuits intégrés mentionné au paragraphe 4.3.

A mesure que les installations MIC se développeront au Canada et dans le monde, les sociétés exploitantes pourront offrir des vitesses de transmission de 8, 64, 256, 1500 et 6300 kilobits/sec. dans un réseau commuté. Cela devrait répondre à la majorité des besoins. Des vitesses beaucoup plus élevées (jusqu'à 280 millions de bits/sec.) seraient aussi à la disposition de certains usagers. Dans un réseau entièrement numérique, on aura besoin d'un matériel de multiplexage en liaison avec chaque ligne permettant de convertir les informations asynchrones du client avant leur transmission sur le réseau MIC.

La distribution et la commutation en direct de la télévision exécutées par la société exploitante pour le compte des radiodiffuseurs entreront dans une nouvelle phase avec l'avènement de la commutation et de la transmission numériques vers la fin des années 1970. Cette phase atteindra son plein développement au cours des années 1980. On ne profitera pleinement des avantages de la transmission MIC à grande distance que quand tous les chaînes du réseau visuel utiliseront des

installations et une commutation numériques. Il faudra en outre que les circuits de communications par satellite puissent acheminer les trains d'impulsions à 100 millions de bits par seconde comme l'exige la transmission visuelle. Lors de la conception des circuits par satellites, il faudra donc s'assurer de leur entière compatibilité avec le réseau de communications.

h) Intégration de la nouvelle technologie grâce la voie commune de signalisation

Un fort pourcentage des installations analogiques actuelles ainsi que les installations qu'on leur ajoutera au cours de la prochaine décennie seront encore en service après 1990. La transition intégrale du stade analogique au stade numérique se fera ainsi graduellement et s'étalera sur une longue période de temps. La mise en place d'installations analogiques sur de nouvelles voies d'acheminement imposera l'incorporation de certains circuits analogiques futurs dans les nouvelles installations numériques.

L'utilisation de voies communes de données de signalisation à partir du milieu des années 70, permettra l'acheminement des services sur les voies de transmission anciennes et nouvelles selon leurs caractéristiques. Cela réduira donc les problèmes d'intégration des deux technologies.

i) Connexion de la radio mobile au réseau public

L'utilisation de la radio mobile est en définitive le seul moyen susceptible de donner à l'homme la mobilité dont il a besoin. L'abonné pourra tirer le meilleur parti possible de la radio mobile lorsque ce service sera totalement intégré au réseau commuté au même titre que n'importe quel autre service. En définitive, il faudra probablement accroître le nombre de voies disponibles aux dépens des bandes VHF et UHF de la télévision. Grâce à ces nouvelles voies et à l'utilisation d'un dispositif de recherche des voies libres dans les unités mobiles, on pourra répondre aux besoins des usagers tout en utilisant de façon efficace le spectre disponible.

Il faudra pour les mêmes raisons intégrer les services de téléappel radio au réseau commuté (voir paragraphe 4.1).

5.1.5 L'exploitation du réseau

a) Automatisation des services d'assistance aux abonnés

A moins d'un développement important de la mécanisation ou d'une évolution des principes, on ne pourra pas se tenir au niveau de l'expansion générale dans le domaine des services d'assistance aux abonnés (téléphonistes de l'interurbain, assistance annuaire, etc.). On devra donc recourir à de nombreux

dispositifs nouveaux. Des systèmes en cours de développement permettront de réduire au minimum l'intervention des téléphonistes dans les services interurbains. De même, des dispositifs de recherche d'information remplaceront peu à peu une grande partie des systèmes manuels actuellement utilisés pour les demandes de renseignements et de recherches dans l'annuaire.

b) Stabilisation automatique de la répartition du trafic

A l'intérieur du réseau, on stabilise la répartition du trafic à l'aide de commandes manuelles et automatiques de gestion du réseau. Grâce aux efforts de stabilisation, on parvient à réduire au minimum les conséquences de la surcharge et de l'encombrement temporaires d'un secteur du réseau. On assure cette fonction grâce à divers moyens:

- Suppression de l'acheminement par voie détournée
- Réserve directionnelle des installations
- Contrôle de réacheminement du trafic excédentaire
- Affichages de renseignements sur l'état du réseau
- Contrôle dynamique de la surcharge
- Suppression des opérations de priorité secondaire

Comme nous l'avons indiqué, plusieurs de ces fonctions sont aujourd'hui automatisées.

A la fin des années 1970 et au début des années 1980, à mesure que s'accroîtra la complexité du réseau, il faudra développer l'automatisation et disposer de plus de données sur l'état du réseau. L'utilisation de processeurs centraux plus importants apportera un certain soulagement en assignant davantage de temps aux matrices de commutation très chargées qu'à celles qui le sont moins. Grâce aux voies communes de données de signalisation, on peut aussi réattribuer automatiquement les installations de transmission. D'ici les années 1980, la tendance actuelle à la centralisation des postes de commande et de surveillance se renversera lorsque la technologie permettra d'incorporer économiquement plusieurs fonctions de contrôle automatique du réseau dans chaque processeur.

c) Décentralisation de l'enregistrement du trafic et de l'occupation du réseau

Le réseau doit pouvoir fournir des renseignements précis sur la croissance du trafic et les taux d'appels ainsi que sur l'utilisation de l'interurbain et des services spéciaux. Cet aspect du réseau évoluera progressivement à mesure que le prix du matériel de décompte des messages baissera grâce aux progrès technologiques. Les dispositifs actuellement centralisés d'enregistrement automatique des messages évolueront pour s'intégrer aux processeurs centraux à partir desquels les informations enregistrées seront transmises périodiquement à des postes centraux de facturation. D'une manière analogue, le groupage des renseignements relatifs au trafic deviendra partie intégrante des fonctions de ces processeurs. On peut s'attendre à ce que cette méthode et la technologie connexe apportent des données d'ordre plus précis en vue de l'organisation du trafic pour les types de services, l'encombrement et les abonnés.

d) Facturation en fonction de la vitesse et des messages

En ce qui concerne le débit d'information et la durée des appels, de nombreux nouveaux services différeront sensiblement du service téléphonique bidirectionnel ordinaire qui prévaut actuellement. Une facturation fondée sur l'utilisation de la voie et le débit d'information plutôt que sur un tarif moyen stimulerait l'offre de nouveaux services et l'utilisation accrue du réseau.

Actuellement, la plupart des appels interurbains sont facturés automatiquement en fonction de la durée de l'appel par un matériel d'enregistrement et d'identification des numéros. La majeure partie de ce coûteux matériel d'enregistrement est placée dans les centraux métropolitains ou interurbains. Les frais accrus qu'engendrerait l'adaptation du matériel existant à des formes spéciales de facturation seraient actuellement prohibitifs.

A l'avenir, on décentralisera l'enregistrement des appels interurbains lorsque cette fonction pourra être assurée économiquement dans les centraux locaux à commande électronique par programme enregistré. Dans ces nouveaux centraux, les frais engendrés par l'enregistrement des appels locaux iraient essentiellement à la mémoire et au processeur, dont le prix doit sensiblement diminuer au cours de la prochaine décennie. Lorsque cela serait nécessaire, on pourra ainsi assurer la taxation sur une base progressive en fonction du message et de l'utilisation. Si cela s'avère souhaitable, on pourra aussi adapter les systèmes de facturation aux besoins individuels des abonnés à mesure que de nouveaux dispositifs électroniques de commutation entrent en service.

e) Fiabilité et automatisation de l'entretien

La mesure dans laquelle la technologie nouvelle permet une réduction de l'entretien constitue l'un des critères les plus importants d'une expansion rapide. Sans amélioration de la fiabilité du matériel (qu'on considère être actuellement excellente), il sera pratiquement impossible dans 20 ans d'assurer l'entretien du réseau à cause de ses dimensions.

Au cours de cette décennie, on améliorera considérablement la fiabilité du matériel grâce à l'utilisation continue de la redondance. L'automatisation des méthodes s'étendra de la vérification des systèmes individuels au cours des années 70 à celle de la totalité du réseau au cours des années 1980.

Au cours des années 70, on mettra en service des postes d'entretien centralisés dotés d'outillage de réctification commandé par ordinateur. Au cours de la même période, les nouvelles méthodes de vérification et certaines possibilités d'auto-entretien des dispositifs de commutation permettront d'assurer l'entretien courant soit à distance, soit grâce à une équipe mobile.

Au cours de la deuxième décennie, cette tendance persistera. De plus, des dispositifs automatiques de diagnostic et de correction seront incorporés aux processeurs centraux. Là aussi, des postes de contrôle centralisés, bien qu'en plus grand nombre, assureront l'analyse des dérangements par ordinateurs, ils seront dotés d'un personnel hautement qualifié et pourront remédier rapidement aux pannes.

5.1.6 Les conditions économiques

Les sociétés exploitantes de télécommunications doivent se procurer d'importants capitaux pour réaliser les développements technologiques exposés dans cette étude et répondre ainsi aux besoins des usagers.

On peut se faire une idée de l'importance de ces capitaux par l'extrapolation (voir Fig. 16) de l'expansion passée des sociétés membres de l'Association du téléphone du Canada. La Figure 16 indique qu'on aura besoin d'environ 1.5 milliard de dollars en 1980 et de 3.7 milliards de dollars en 1990, sans compter l'amortissement.

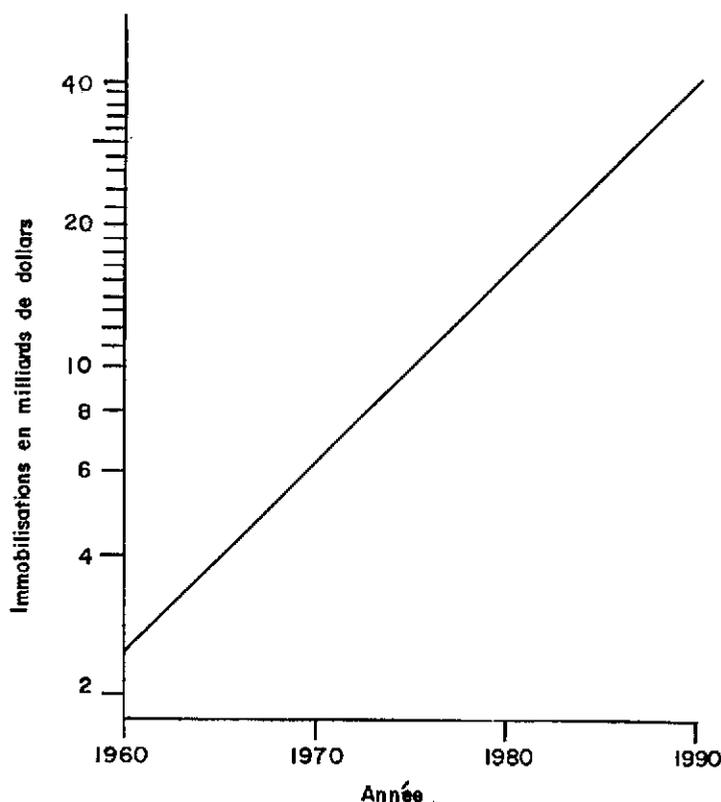


Fig. 16 Croissance prévue des immobilisations
(Association du téléphone du Canada)

Afin de pouvoir remplir le rôle qui leur a été attribué, les sociétés exploitantes de télécommunications doivent être appuyées par une réglementation réaliste qui reconnaît pleinement la nécessité de réaliser des bénéfices suffisants pour attirer de tels capitaux.

L'absence d'une politique réaliste de réglementation ne fera que retarder les dépenses nécessaires, et, du même coup, l'utilisation avantageuse de la technologie nouvelle. Elle provoquera en outre la multiplication d'installations privées, ce qui mènera à l'augmentation du prix total des communications.

Des bénéfices réalisés aujourd'hui dépend donc l'avenir des communications.

5.2 LA RADIODIFFUSION

Dans les vingt prochaines années, les systèmes de câblodiffusion, les systèmes ménagers de reproduction audiovisuelle, les satellites et les dispositifs électroniques à semi-conducteurs auront des répercussions importantes sur la

radiodiffusion. On connaît déjà ces nouvelles technologies; jusqu'à présent cependant elles n'ont eu qu'une légère influence sur la radiodiffusion, exception faite du transistor.

Ces nouvelles technologies assureront une grande diversification des services et des émissions, et ce à un prix de revient assez bas et à un niveau de qualité suffisant pour créer de nouveaux marchés de masse au Canada.

Le passé a montré la lenteur de la pénétration d'une nouvelle technologie (la télévision en couleur, par exemple). La pénétration de plus de 50% du marché possible demande généralement une ou plusieurs décennies. Il est par conséquent improbable qu'une technologie aujourd'hui inconnue influence la radiodiffusion dans les vingt ans à venir. Cela ne signifie pas qu'on n'inventera rien de radicalement nouveau; il est seulement peu probable qu'une nouvelle invention soit commercialisée et ait des effets notables au cours de cette période.

On s'attend à une expansion vigoureuse des nouvelles technologies exposées ci-dessous au cours de la prochaine décennie. Cette expansion ne sera toutefois pas suffisante pour modifier sensiblement la structure actuelle de la radiodiffusion. Au cours de la deuxième décennie, de 1980 à 1990, la pénétration des technologies nouvelles sera assez importante pour changer le rôle du réseau de radiodiffusion, sans toutefois mettre ce dernier au rancart. La radiodiffusion offre des avantages que d'autres technologies n'ont pas. Entre autres, elle peut desservir des auditeurs en déplacement. Par conséquent, on pense que d'ici 1990 la radiodiffusion aura évolué pour prendre une nouvelle place aux côtés des innovations apportées par la technologie des communications.

5.2.1 Utilisation du spectre pour la radiodiffusion

L'encombrement du spectre en bande AM (535-1605 kHz) incitera à l'utilisation de la bande FM (88-108 MHz) qui est encore fort peu utilisée au Canada pour la radiodiffusion sonore.

Au Canada, tandis que la bande VHF de télévision est encombrée, la bande UHF est pratiquement inutilisée. Le plan canadien d'attribution de fréquences à la télévision en bande UHF prévoit un maximum de 7 canaux supplémentaires de télévision pour chaque ville du Canada. Par conséquent, on utilisera beaucoup plus la bande UHF au cours de la prochaine décennie, surtout pour l'enseignement et la diffusion en langue seconde.

On a attribué une partie de la bande de 11.7 à 12.7 GHz à la radiodiffusion. Des études préliminaires menées en Europe et en Amérique du Nord suggèrent l'utilisation de cette bande pour la radiodiffusion par satellite vers les systèmes de câblodiffusion,

et peut-être directement à domicile. On se servira probablement de cette bande au cours de la prochaine décennie.

Il est probable qu'aucune suite ne sera donnée aux propositions concernant l'utilisation de la bande UHF pour la radiodiffusion à partir de satellites.

5.2.2 Systemes de cablodiffusion

Dans les systemes actuels de cablodiffusion, la plus grande distance d'acheminement entre la source et le recepteur est de 35 milles. Celle distance pourrait être portée à 100 milles grâce au matériel dont nous disposons aujourd'hui. Nous n'avons pas pour le moment aucun matériel permettant d'assurer l'interconnexion à grande distance des systemes de cablodiffusion. D'ici 1980, si cela s'avère nécessaire, on pourra disposer d'installations dotées d'une bande passante suffisante (de 54 à 216 MHz) pour établir une "grille nationale" de cablodiffusion. On pense que les satellites joueraient un rôle de premier plan dans un tel réseau.

Les téléviseurs actuels peuvent recevoir les bandes VHF de 54 à 88 MHz et de 174 à 216 MHz et offrent ainsi un choix de 12 canaux. Les téléviseurs importés ou vendus depuis le 1er juillet 1968 reçoivent aussi la bande UHF de 470 à 890 MHz, ce qui représente un total de 82 canaux. Etant essentiellement utilisée par les services aéronautiques et mobiles terrestres, la bande intermédiaire de 108 à 174 MHz n'est pas disponible. La bande FM de 88 à 108 MHz sert dans les systemes de cablodiffusion pour la transmission des émissions de radio FM. Les entreprises de cablodiffusion voudraient pouvoir se servir de la bande entière comprise entre 54 et 216 MHz (ou même 300 MHz). Cela impliquerait l'utilisation d'un téléviseur spécial qui pourrait alors offrir un choix de 27 canaux VHF.

Il y a cependant d'autres difficultés outre le téléviseur spécial, ce sont: la modification des câbles existants afin de réduire leur rayonnement (pour éviter qu'ils ne brouillent les communications aéronautiques et mobiles terrestres), l'établissement d'un plan de fréquences pour les nouveaux canaux et le rééquipement en nouveaux amplificateurs à large bande de la grande majorité des systemes existants de cablodiffusion. Des travaux sont en cours pour surmonter ces difficultés.

L'atténuation des signaux UHF de télévision dans les systemes à câbles coaxiaux est telle que la cablodiffusion ne peut convenir à l'heure actuelle à la transmission en UHF. Les fabricants de câbles essaient de surmonter ce problème en mettant au point de nouvelles techniques.

Il n'y a généralement aucune liaison matérielle entre les stations de radiodiffusion et les systemes de cablodiffusion. On

ne rencontrerait évidemment aucune difficulté technique à la réaliser, et elle présenterait un énorme avantage du point de vue de la qualité de l'image.

Les systèmes de câblodiffusion gagnent de plus en plus d'importance. Au Canada, à l'heure actuelle, 20% des téléviseurs sont raccordés à des systèmes de câblodiffusion. Ce pourcentage atteindra au moins 50% d'ici 1980.

5.2.3 Dispositifs ménagers de reproduction audio-visuelle

Au cours des 5 prochaines années, de 1970 à 1975, on pense que les appareils ménagers de reproduction décrits ci-dessous seront commercialisés.

Le système EVR de la CBS utilise l'enregistrement sur film photographique. Sa mise au point a atteint un stade avancé. Au départ, son prix sera de \$1,000 pour le noir et blanc et de \$1,400 pour la couleur. On estime que d'ici la prochaine décennie une cassette donnant une émission d'une demi-heure coûtera à peine plus cher qu'un disque de phonographe. Ce système sera probablement commercialisé très prochainement.

Le système VPS (Selectavision) de la RCA en est aux premiers stades de la mise au point. Il utilise l'enregistrement holographique sur ruban en vinyle. On cite des prix de \$600 pour l'appareil de reproduction et de \$2 à \$3 pour une cassette donnant une émission en couleur d'une demi-heure. Il est peu probable que ce système soit commercialisé avant 1973.

Plusieurs fabricants travaillent à la réalisation de magnétoscopes à ruban magnétique. Ces appareils ne coûteraient pas plus de \$1,000 pour la couleur et \$500 pour le noir et blanc. Il n'existe malheureusement aucune compatibilité entre les appareils des divers fabricants. Un des avantages du magnétoscope ménager est qu'il peut enregistrer des émissions transmises par propagation hertzienne pour les reproduire ultérieurement. A l'aide d'un vidicon, on peut aussi s'en servir pour faire du cinéma à domicile. D'ici 1972, au moins un de ces appareils sera disponible dans le commerce.

Les systèmes de la CBS et de la RCA sont surtout fondés sur des méthodes d'impression en grande quantité d'émissions audio-visuelles sous une forme permettant la reproduction à l'aide d'un dispositif peu coûteux. On pense que les fabricants de magnétoscopes ménagers présenteront un enregistrement analogue (cassette préenregistrée pour magnétoscope). Cependant, la multiplicité des magnétoscopes et les frais plus élevés d'enregistrement sur ruban magnétoscopique défavoriseront probablement ce support de communications. D'ici 1980, on prévoit cependant que les enregistrements vidéo auront un marché important.

On peut considérer que le magnétoscope ménager avec un vidicon est un concurrent de l'ensemble de cinéma amateur de 8 mm. Dans l'avenir prévisible, il est probable que ce dernier restera le meilleur marché et offrira une meilleure qualité. Il est en outre plus facile à transporter. L'ensemble vidicon-magnétoscope ménager offre l'avantage de la reproduction instantanée (aucun film à développer). Aussi pense-t-on qu'il pénétrera quelque peu le marché au cours de la prochaine décennie. Dans les années 80, l'utilisation de capteurs d'images à semi-conducteurs diminuera l'encombrement et le prix des caméras de télévision. Ainsi, celles-ci concurrenceront plus fortement les caméras de cinéma et auront une meilleure position sur le marché.

5.2.4 Les satellites

En 1972, le premier satellite national canadien de communications sera introduit dans le réseau de distribution de la Société Radio-Canada. Son avantage principal est qu'il permet la transmission des émissions de télévision en français et en anglais vers n'importe quel point du Canada, du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest. On estime que toutes les localités canadiennes en voie de développement pourront accéder au satellite d'ici 1980. Il n'existe aucun motif technique empêchant la distribution des signaux radiophoniques d'une manière analogue. Cela ne dépend que des fonds accordés par le gouvernement et de la demande publique.

Au cours de cette décennie, on pense que les satellites pourront transmettre dans la bande de 12 GHz (voir 5.3.1 ci-dessus) directement vers les systèmes de câbles communautaires, et peut-être vers des récepteurs ménagers dotés d'un matériel spécial de réception.

Depuis 1962, on utilise des satellites internationaux en orbite au-dessus de l'Atlantique et du Pacifique pour relier le réseau canadien de radiodiffusion aux réseaux d'autres continents. Le nombre d'heures par an de ce genre d'émissions intercontinentales augmente constamment. Il y a plusieurs systèmes de télévision différents de par le monde. La mise au point récente d'un convertisseur de signaux entièrement électronique a beaucoup amélioré la qualité technique des transmissions intercontinentales. On espère que l'utilisation de ces convertisseurs sera généralisée d'ici 1975, et qu'ils permettront l'expansion des échanges intercontinentaux d'émissions de télévision.

Au cours des vingt prochaines années, il est peu probable qu'on adopte des normes internationales uniformes pour la télévision à cause des capitaux énormes investis dans les installations et les téléviseurs ménagers existants. De plus, la

mise au point d'un convertisseur satisfaisant rend inutile l'adoption de telles normes.

5.2.5 Téléviseurs ménagers

Aujourd'hui, les téléviseurs contiennent encore un grand nombre de lampes. L'introduction assez lente au départ de dispositifs à semi-conducteurs et de circuits intégrés dans les récepteurs de télévision va se développer, et ces dispositifs remplaceront totalement les lampes d'ici 1975. Cela amènera une amélioration considérable de la fiabilité, de la stabilité, de l'encombrement, de la dissipation de la chaleur et finalement du prix des téléviseurs. Si on améliorait le rendement des téléviseurs, on pourrait parvenir à une meilleure utilisation de la bande de fréquence attribuée à la télévision.

a) Dispositifs d'affichage

On pense que les dispositifs actuels d'affichage (tubes à rayons cathodiques) continueront à connaître des améliorations notables quoique peu spectaculaires en ce qui concerne la luminosité, le chromatisme, la stabilité et la qualité générale de l'image. On disposera bientôt de tubes d'affichage en couleur dotés de plus grands angles de balayage. Ces tubes réduiront en conséquence la profondeur du coffret du téléviseur.

On a fait et on fait encore beaucoup de recherches en vue de perfectionner différents types d'écrans de télévision plats. Jusqu'ici, la réussite commerciale a échappé à ces efforts. Au cours des cinq prochaines années, il est peu probable qu'un dispositif d'affichage entièrement nouveau soit disponible dans le commerce. La matrice d'émetteurs luminescents à semi-conducteurs est le dispositif d'affichage plat qui a le plus de chances de réussite. On ne pense pas en disposer avant 1980.

En laboratoire, on a utilisé le laser pour obtenir des images bidimensionnelles très lumineuses, de grandes dimensions et en couleur. Cela pourrait conduire à l'utilisation du laser pour la télévision tridimensionnelle en couleur. Il est difficile de savoir quand ces dispositifs seront commercialisés. On doute toutefois que cela soit avant 1990. Au cours de cette période, il est fort peu probable qu'un système public de télévision stéréoscopique soit mis au point.

b) Autres terminaux ménagers

On a montré qu'un appareil de fac-similé, comme le Homefax de la RCA, pouvait assurer la transmission unidirectionnelle de documents en clair. Le système de la RCA donne un imprimé électrostatique à partir de l'information contenue dans l'intervalle de retour du balayage vertical de la télévision.

Dans ce cas, la technologie est au point et n'attend que la demande.

La télévision bilingue est maintenant en exploitation expérimentale dans plusieurs pays. Le téléspectateur dispose d'un choix de deux langues pour la même image. Un tel projet semble présenter des avantages sociaux et politiques dans le cas d'événements nationaux, comme les compétitions sportives. Au Japon, le prix de l'appareil d'adaptation au téléviseur d'un des systèmes à l'essai est inférieur à \$100. A l'heure actuelle, la réalisation de la télévision bilingue ne semble présenter aucune difficulté technique.

5.2.6 Technologie des semi-conducteurs

L'expansion des nouveaux services ménagers décrits plus haut dépendra essentiellement de la réalisation de nouveaux dispositifs à semi-conducteurs. Ceux-ci permettront l'exécution de fonctions électroniques à un prix extrêmement bas. Au cours des deux prochaines décennies, les appareils de radio, les téléviseurs et les appareils d'enregistrement et de reproduction seront d'un prix de plus en plus abordable en même temps que leur qualité s'améliorera. On utilise déjà dans ces appareils des dispositifs à semi-conducteurs comme les transistors et les circuits intégrés. On espère pouvoir disposer des circuits intégrés à grande échelle en 1975, et des dispositifs d'affichage et de captage à semi-conducteurs au début des années 1980. Pendant la même période, on utilisera au maximum ces nouveaux dispositifs dans le matériel de production d'émissions, de distribution et de diffusion de signaux dans le but d'en améliorer la qualité, la fiabilité et la stabilité. En ce qui concerne la production d'émissions, on se servira de plus en plus d'ordinateurs numériques à grande vitesse équipés de circuits complexes à semi-conducteurs pour le contrôle de l'acheminement des émissions.

5.3 COMMUNICATIONS MOBILES

5.3.1 Communications maritimes

Systèmes de communications par satellite

On s'accorde généralement pour dire que l'application de la technologie des satellites va révolutionner les communications et la navigation maritimes. A l'heure actuelle, on procède à l'évaluation du réseau de satellites de navigation de la marine américaine (UNSS, composé de quatre satellites en orbite). Ce réseau permet de prendre des relèvements, de jour ou de nuit et par n'importe quel temps, à des intervalles d'environ 100 minutes.

La société General Electric a dernièrement fait des essais de relèvement en VHF à l'aide du satellite ATS-3.

A l'aide du satellite ATS-5 en orbite équatoriale synchrone qui sert de relais à une station terrienne de Californie, la NASA a effectué des expériences de communications et de navigation par satellite à bord du pétrolier Manhattan lors de son deuxième voyage dans l'Arctique. Par la transmission de données à diverses vitesses, les expériences visaient à étudier les communications avec les navires se trouvant à des latitudes très élevées ainsi que les effets du climat arctique de la surface de l'océan et ceux de la réflexion des signaux sur les glaces environnantes. Les expériences de navigation visaient à déterminer la possibilité de calculer la position et la vitesse du navire. Il s'agit là d'expériences préalables à l'établissement de plusieurs satellites dont les signaux entrecroisés permettront un relèvement très précis de la position des navires.

D'après les discussions qui ont eu lieu à l'Organisation intergouvernementale consultative de la navigation maritime (OMCI), l'utilisation des satellites pour les communications maritimes progressera très lentement. Il faut toutefois remarquer qu'un système de satellites à l'usage exclusif de la marine marchande serait rentable. Pour un gros navire, une journée de navigation en moins représente une économie de l'ordre de \$10,000. En outre, le prix par navire d'un système de satellite ne serait pas très élevé. On aurait cependant à faire face à de graves problèmes d'encombrement du spectre. On devra probablement utiliser un type de liaison entre stations côtières qui transmettra les messages à grande vitesse par l'intermédiaire des satellites.

Les satellites offrent peu d'intérêt pour les petits navires. Par ailleurs, dans l'exploration au large et l'exploitation des ressources maritimes, un réseau de satellites constitue une solution supérieure à toute autre pour le relèvement des positions à grande distance. De rapides progrès dans l'exploitation des ressources minérales des fonds marins pourraient avoir une influence décisive sur la réalisation de réseaux de communications et de localisation par satellite pour les navires et les stations fixes en mer. La précision requise pour les relèvements géophysiques est plus grande que celle requise pour la navigation. Cependant, un système pouvant servir à ces relèvements serait certainement applicable à la navigation.

Propagation ionosphérique et par ondes de surface

On pense avoir besoin des communications navire-terre par propagation ionosphérique et par ondes de surface pendant encore 15 à 20 ans.

Dans le Nord, on utilisera des radiotéléimprimeurs navire-terre à basse fréquence et à décalage réduit.

On prévoit que la fréquence moyenne (environ 500 kHz) sera nécessaire pour le radiotéléimprimeurs et la transmission manuelle en morse.

On prévoit un besoin continu des fréquences moyennes (de 1630 à 2950 kHz) pour la transmission par onde de surface et la propagation ionosphérique par réflexion sur la couche E aux fréquences plus élevées. Les stations côtières seraient équipées d'émetteurs de sondage ionosphérique. Sur les navires, on installerait des récepteurs de sondage ionosphérique indiquant les fréquences utilisables.

Dans le Nord ainsi que sur les côtes est et ouest, on utilisera la propagation ionosphérique pour le radiotéléphone à bande latérale unique et le radiotéléimprimeur en haute fréquence (de 4000 à 27,500 kHz). On emploiera aussi des émetteurs et des récepteurs de sondage ionosphérique dans les stations côtières. Les navires devraient être équipés de récepteurs de sondage ionosphérique afin de pouvoir connaître la meilleure fréquence utilisable.

La bande VHF (de 156 à 174 MHz) sera de plus en plus utilisée. Les services de correspondance publique se développeront, surtout sur la côte ouest, sur les Grands Lacs et dans le golfe du Saint-Laurent. Sur les Grands Lacs et les côtes ouest et est (le Labrador exclu), tout navire situé à moins de 60 milles du territoire canadien devra pouvoir communiquer en VHF. On aura besoin de voies pour le radiotéléimprimeur, la radiotéléphonie et la transmission des données. Tous les grands ports pourront transmettre en radiotéléphonie des renseignements relatifs à la navigation. Le service de renseignements sur la navigation sera étendu aux Grands Lacs.

Parmi les autres développements prévus, on note:

- La nécessité pour les navires équipés de radio VHF de garder l'écoute simultanément sur deux fréquences
- Des installations de communications plus importantes pour la navigation de plaisance
- Des voies sur toutes les bandes pour des services de téléimprimeurs et de données plus importants
- L'attribution de voies sur la bande VHF pour le matériel d'impression directe

- L'utilisation accrue des réalisations technologiques (appel sélectif, impression directe, alarme automatique, accès automatique au télex, sélection automatique des voies, etc.) pour l'amélioration du service et la réduction de l'intervention humaine dans les radiocommunications maritimes

Communications à portée optique

A l'exception du radar, l'industrie maritime a très peu utilisé les fréquences de l'ordre du gigahertz. De récents essais d'émetteurs-récepteurs FM portatifs à 37.5 GHz de 50 milliwatts de puissance d'émission munis d'antennes réceptrices auto-orientables ont donné de bonnes communications entre navires jusqu'à une distance de 15 milles. On fait face à un réel besoin de communications phoniques de passerelle à passerelle qui engendrent un minimum de brouillage, pour éviter les abordages et maintenir le contact entre les navires d'un même groupe. On prévoit un développement rapide de l'utilisation des fréquences de l'ordre du gigahertz dans les communications maritimes et le contrôle de la circulation.

Communications internes

Sur le Manhattan, le succès du répéteur à 450 MHz, qui permet aux membres de l'équipage de communiquer entre eux en tous points du navire à l'aide d'émetteurs-récepteurs portatifs de 50 milliwatts, montre que les fréquences de 450 MHz et plus sont les plus efficaces pour ce genre de communications internes.

Service des cartes météorologiques et de cartes des glaces

Entre 1970 et 1975, on disposera du service de transmission par satellite de cartes météorologiques et de cartes des glaces sur voie VHF réservée (au-dessus de 135 MHz) ou sur voie UHF (au plus bas de la bande). La transmission des bulletins météorologiques et des renseignements sur les glaces par facsimilé en HF aux navires de l'océan Arctique doit continuer jusqu'à ce qu'un service par satellite soit réalisé. Depuis quelques années, les données sur les glaces sont communiqués aux navires à partir d'avions de reconnaissance utilisant la bande de 3 à 7 MHz. La transmission des renseignements sur les glaces se fera à partir de Frobisher et de Resolute. On diffusera les bulletins météorologiques ordinaires à partir d'Edmonton et peut-être de Gander.

Systèmes radar et systèmes de surveillance

De 1970 à 1975, on installera pour le contrôle de la circulation maritime des systèmes de surveillance de zone équipés de transpondeurs; ce service sera d'abord introduit sur le fleuve

Saint-Laurent. Ce système enregistre automatiquement la position en longitude du navire sur le fleuve grâce à des balises à faisceau étroit émettant sur 960 MHz environ. Les pilotes du fleuve sont munis d'un émetteur-récepteur permettant la transmission à faible débit des données de position à Québec. Ces données permettent la mise à jour d'un dispositif d'affichage qui suit la progression des navires le long du Saint-Laurent.

On installera sur les côtes du Canada, les régions arctiques comprises, des radiophares au rythme de 10 par an entre 1970 et 1980. Ces appareils émettent en bande X et balayent la bande de 9300 à 9500 MHz en deux minutes.

On mettra en place des installations de radar portuaire et des dispositifs connexes à hyperfréquences de réunion des données d'ordinateurs et d'affichage. Les radars occuperont probablement la partie supérieure de la gamme de 9300 à 9500 MHz, et les liaisons par hyperfréquences la gamme de 5900 à 8500 MHz.

Limites de puissance

Les consignes spécifiant l'utilisation d'une puissance d'émission aussi basse que possible ne sont pas suivies. L'équipement naviporté est rarement doté d'un dispositif de réglage de la puissance, et l'opérateur s'inquiète rarement de réduire sa puissance d'émission. Afin de réduire le brouillage, un matériel pouvant se régler automatiquement à la puissance minimum nécessaire à de bonnes communications serait de la plus grande utilité. Cela peut être réalisé par référence au niveau du signal reçu.

5.3.2 Communications aéronautiques

Les perfectionnements et les nombreuses applications des communications et des dispositifs de navigation et de surveillance joueront un rôle de premier plan dans la solution des problèmes créés par le développement rapide de la circulation aérienne.

Systèmes de navigation

Au cours de la prochaine décennie, le principal dispositif de radionavigation demeurera probablement le système centralisé VOR-DME/TACAN de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI). Les points terminaux auront besoin d'installations plus nombreuses. La saturation des fréquences constitue un problème. Dans les zones encombrées, l'amélioration de la précision du VOR (radiophare omnidirectionnel VHF) est indispensable. Le perfectionnement du matériel de navigation aéroporté représentera cependant les progrès les plus importants. Cela permettra une navigation très précise et un calcul rapide de l'heure estimée d'arrivée (ETA) grâce à des changements minimes de la forme des

signaux radio. Il faudra cependant engager des montants considérables pour l'amélioration et le développement des installations au sol.

Systemes de contrôle de la circulation aérienne

Les perfectionnements prévus des systèmes de navigation réduiront les besoins de communications en concentrant les responsabilités de la navigation dans la cabine de pilotage des avions. D'autre part, les besoins de contrôle de la circulation et de l'espacement des avions ainsi que l'augmentation générale de la circulation aérienne nécessiteront le développement des communications et la réduction du temps d'établissement de la liaison contrôleur-pilote. Le perfectionnement des méthodes de contrôle de la circulation permettra une augmentation de la densité du trafic tout en assurant une plus grande sécurité. A cette fin, il faudra améliorer la surveillance, mettre au point des dispositifs de communication automatique de l'altitude, de la vitesse, de la vitesse ascensionnelle et peut-être de la position; et enfin réaliser des moyens de transmission de données à accès sélectif. On peut assurer ces fonctions grâce à plusieurs techniques, et on ne sait pas encore laquelle sera choisie. On procède à l'amélioration du système actuel de surveillance à l'aide des programmes ARTS III et NAS, stade A. Ces travaux seront probablement terminés vers 1975. Il est toutefois évident que ces programmes ne donneront ni des espacements appropriés, ni des temps de réponse assez brefs pour faire face aux densités prévues de la circulation future.

Il est très probable que de nouveaux progrès permettront de satisfaire les besoins de séparation des avions. Le programme exposé en décembre 1969 par le U.S. Air Traffic Control Advisory Committee représente une possibilité. Ce programme envisage l'utilisation de signaux de surveillance sélectifs à balayage électronique et de transpondeurs perfectionnés qui donneraient toutes les données cinétiques nécessaires ("Super radiophare"). On utiliserait les données ainsi obtenues pour améliorer notablement les fonctions de programmation et maintenir l'espacement nécessaire entre les avions. Ce système serait mis au point entre 1975 et 1980.

Systemes intégrés de navigation et de contrôle de la circulation aérienne

On a également proposé divers projets qui utiliseraient les satellites comme points de repère et de relais pour la navigation, la surveillance et les communications. Par exemple, l'armée de l'air américaine a proposé un système de navigation (621B) utilisant un groupe de quatre ou cinq satellites disposés en "Y" ou en "X" en orbite au-dessus du continent nord-américain. Cela représenterait le tiers d'un système à l'échelle mondiale. Pour exploiter ce système, l'avion devrait être équipé d'un

oscillateur à quartz à fréquence stabilisée de qualité supérieure et d'un ordinateur ou d'un transpondeur pour relayer les signaux vers une station terrienne. Les aviations militaire et civile pourraient toutes deux utiliser ce système. Il peut aussi constituer la base d'un système unifié de communications, de navigation et d'identification (U-CNI) qui remplacerait, grâce à un émetteur-récepteur à large bande fonctionnant en UHF ou en fréquences supérieures, tout le matériel radio actuel.

Le signal numérique à large bande permettrait l'intégration de plusieurs fonctions dans un émetteur ainsi que l'occupation simultanée de la même partie du spectre radioélectrique par des signaux émis à partir de plusieurs sources (accès multiple). Ces projets devront faire l'objet de travaux de recherche importants; on ne pense pas qu'ils soient exploitables avant 1980 ou 1985.

Il est possible que l'espacement entre avions soit mieux assuré par l'utilisation de techniques air-air semblables à celles du système anti-collision aérien ARINC (rapport ARINC 587). Ce système utilise des oscillateurs synchronisés et des transmissions dans la bande de 1592.5 à 1622.5 MHz pour évaluer la distance, le taux d'éloignement, la différence d'altitude et la vitesse ascensionnelle et éviter ainsi les situations dangereuses.

Systèmes d'atterrissage aux instruments

On utilisera aussi les perfectionnements apportés à la navigation, à la surveillance des communications et au contrôle pour assurer une planification et un échelonnement améliorés dans les zones d'aéroport, et par conséquent augmenter la capacité des pistes. Du point de vue du signal radio, l'installation de systèmes d'atterrissage aux instruments à faisceau de balayage en hyperfréquences à la place du système VHF actuel constituera le changement le plus important (en dehors des fonctions de surveillance et de transmission des données mentionnées plus haut). Aux Etats-Unis, le Comité spécial 117 de la Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA) a choisi la technique du faisceau de balayage pour les systèmes de guidage parce qu'elle présente les plus grandes promesses. Ce système fonctionnera probablement sur les bandes C ou Ku. La RTCA a formé plusieurs équipes devant continuer l'étude du projet qu'on prévoit être au point d'ici 1980.

Communications auxiliaires air-sol

En dehors des communications nécessaires au contrôle de la circulation aérienne, il existe un besoin croissant de transmission de données techniques et administratives pour l'exploitation plus efficace des avions de passagers et de transport. On prévoit que ce secteur connaîtra une expansion rapide des liaisons VHF de transmission des données.

La demande croissante de communications publiques dans l'aviation privée et commerciale est un autre élément qui apparaîtra au cours des dix prochaines années. Un système radiotéléphonique mobile à large bande et accès multiple répondrait à cette demande.

On pense que la plupart des autres changements technologiques apportés au matériel de télécommunications aéronautiques seront orientés vers l'amélioration de la fiabilité et de l'autonomie des appareils ainsi que vers la lutte contre l'encombrement du spectre.

Services auxiliaires

On utilise de plus en plus des systèmes à commutation des données pour les services de réservation et la communication des renseignements météorologiques. Cela encore nécessitera une augmentation de la capacité du réseau de communications.

5.3.3 Communications mobiles terrestres

a) Identification des véhicules

A l'avenir, l'identification des véhicules par transmission automatique d'un signal codé au début d'un message permettra de réduire la durée de la communication, de localiser l'origine d'un signal d'alarme sans donner l'éveil aux voleurs, et d'enregistrer et de contrôler les messages quand les données du véhicule sont mises en mémoire à la station centrale. On pourra également utiliser ce signal pour accuser automatiquement réception de l'invitation à émettre parvenant d'une station centrale.

La réalisation d'un tel système ne comporte aucune difficulté technique. Elle est toutefois limitée par le prix des dispositifs nécessaires. Au début des années 1970, l'application de la technologie des circuits intégrés aux dispositifs mobiles et l'introduction de la transmission numérique permettra de réduire considérablement ce prix.

b) Contrôle de l'état des véhicules

La répartition efficace des véhicules d'un groupe mobile nécessite une connaissance précise de la position de chacun d'entre eux. Le véhicule est-il en mouvement? Le chauffeur est-il ou non dans son véhicule? A-t-il reçu un travail à faire? Quand le véhicule sera-t-il disponible? Là aussi nous disposons de la technologie nécessaire, mais il faut envisager une modernisation considérable du matériel et des systèmes si on veut pouvoir tirer parti de cette technologie. Le contrôle de la position des véhicules ne sera probablement qu'un aspect d'un système global de contrôle, d'identification et de localisation des véhicules. Au début des années 1970, on se servira

couramment de systèmes commandés par ordinateur pour remplir ces fonctions.

c) Localisation des véhicules

La localisation des véhicules consiste à déterminer une position dans un milieu bidimensionnel et à la communiquer à un point de référence. La réalisation automatique, sans aucune intervention humaine, de cette opération est souhaitable. Le dispositif de localisation doit avoir un système de référence et certains moyens de mesure ou de détermination des coordonnées. En plus de localiser le véhicule, le système doit pouvoir communiquer ce renseignement à un poste central (ou à plusieurs postes si les conditions d'exploitation l'exigent), et identifier le véhicule particulier en cause.

Dans un plan, il existe plusieurs moyens de déterminer la position. Ils dépendent tous de la connaissance d'angles ou de distances. Il existe six systèmes possibles de référence qui sont énumérés ci-dessous et examinés dans l'Annexe D.

- 1) Coordonnées cartésiennes (x, y ou coordonnées rectangulaires)
- 2) Coordonnées polaires
- 3) Triangulation
- 4) Relèvement de trois distances
- 5) Relèvement de deux distances différentielles
- 6) Relèvement de deux angles différentiels

L'Annexe D examine aussi trois types fondamentaux de techniques de localisation. Ce sont les suivants:

- 1) Relèvements directs
- 2) Codage
- 3) Relèvements dérivés

Nous énumérons ci-dessous plusieurs méthodes qui pourraient remplir des fonctions de localisation de véhicules.

- 1) Transpondeurs radar
- 2) Système hyperbolique
- 3) Poteaux indicateurs électroniques
- 4) Système de relèvements dérivés (compas et compteur de vitesse)
- 5) Système utilisant les signaux radioélectriques existants

Certains projet ainsi que plusieurs versions de ces systèmes sont exposés dans l'Annexe D. Bien que ces derniers n'aient pas été essayés en service, ce type d'installations sera nécessaire. On procédera à l'évaluation de leurs qualités de fonctionnement au début des années 1970. L'utilisation de ces systèmes devrait

être assez courante au cours de la deuxième moitié de cette décennie.

d) Communication de documents

Il existe de nombreux cas dans lesquels il est souhaitable de garder le message transmis sous une forme durable. On peut citer comme exemples de ce genre de besoins la communication de numéros d'immatriculation aux véhicules de la police, la transmission d'instructions aux équipes d'ouvriers travaillant pour les services publics et l'envoi d'instructions à un opérateur mobile pouvant se trouver occasionnellement hors de son véhicule. Au centre de contrôle, il existe de nombreux cas où on a également besoin de messages sous une forme durable.

Nous avons mentionné ailleurs un modèle de téléimprimeur qui pourrait répondre à tous ces besoins. En outre, il est adaptable à la transmission de fac-similés.

En plus de fournir des documents en clair, ce genre d'appareil protège mieux les messages contre l'interception grâce à l'utilisation de la transmission numérique.

Au cours des prochaines années, il sera possible de réaliser des appareils fiables et peu coûteux.

e) Systèmes visuels mobiles

Des systèmes visuels mobiles seraient très utiles pour la police, les forces anti-émeutes, les contrôleurs de la circulation et les pompiers.

On dispose déjà de la technologie nécessaire à la mise en place de tels systèmes; en outre, les besoins existent. Leur réalisation n'attend que la détermination d'une ligne de conduite et l'autorisation du ministère des Communications.

f) Sécurité sur les routes et les voies navigables

Divers organismes de sécurité publique, la police et les pompiers en premier lieu, s'intéressent à des systèmes qui permettraient à toute personne en difficulté de demander de l'aide. Cette aide peut prendre diverses formes: assistance médicale, dépannage, assistance en cas de sinistre, protection, etc.

Dans les régions peuplées, on peut utiliser les réseaux de communications existants. Toutefois, on fait face à des difficultés dans les régions rurales.

(i) Appareils radio portatifs

On pourrait équiper les personnes (campeurs, ouvriers du bâtiment, etc.) qui fréquentent des régions isolées d'appareils radio portatifs peu coûteux à utiliser en cas d'urgence. On pourrait délivrer une immatriculation ou un permis aux propriétaires de ces appareils de secours, comme cela se fait pour les automobilistes et les armes à feu. En ajoutant à ces dispositifs des unités de codage permettant l'identification de la source de toute émission, on pourrait éviter les fausses alarmes ou les transmissions malveillantes.

On peut augmenter la portée effective d'un tel système en lui adjoignant des récepteurs satellites stratégiquement placés.

(ii) Repérage des véhicules en panne

Avec l'accroissement de la circulation routière, il est de plus en plus important de s'occuper des véhicules en panne car ils constituent un grand danger, même s'ils sont sur l'accotement de la chaussée.

On a proposé plusieurs solutions provisoires qui sont exposées en détail dans l'Annexe D.

En définitive, le meilleur système serait celui qui n'exigerait aucune intervention de la part du conducteur du véhicule. Dans un tel système, un signal serait automatiquement envoyé à la station centrale chaque fois qu'un véhicule quitte la chaussée. Ce système ne sera économiquement réalisable que lorsqu'il sera incorporé à "l'autoroute électronique" de l'avenir.

L'"autoroute électronique" nécessitera un réseau de communications de guidage pour tenir chaque véhicule dans sa voie et maintenir des distances suffisantes entre les véhicules. Il serait possible d'ajouter à ce réseau la fonction de repérage et de localisation des véhicules en panne.

Il est probable que la réalisation de "l'autoroute électronique" s'échelonne sur une longue période de temps. Elle sera très coûteuse à cause des milliers de milles de voies rapides et des millions de véhicules à équiper. On fera d'abord probablement appel à des systèmes nécessitant

l'intervention du conducteur du véhicule. Aux Etats-Unis, trois de ces systèmes sont à l'essai.

1) Un système radiophonique bidirectionnel utilisant des installations montées sur poteaux, alimentées par piles solaires, protégées contre le vandalisme et placées en des points déterminés de la route. On pense qu'un tel système permettra la coordination des services de secours, la commande des signaux de circulation et la transmission de données sur la densité de la circulation.

2) Un système par fil de type téléphonique reliant des postes routiers à une station centrale de secours.

3) Un système basé sur la technique de mesure de la résistance permettant de calculer la position du point d'appel. Ce système ne requiert aucun composant coûteux tel que des appareils téléphoniques ou des appareils radio. Toutefois, le besoin d'un câble souterrain pour la protection contre le vandalisme augmente considérablement le prix par mille de l'installation.

Cependant, un tel câble serait avantageux par la suite puisqu'il permettrait l'alimentation du matériel électronique lors de la réalisation de l'"autoroute électronique".

Un système utilisant des émetteurs installés dans chaque véhicule présente des difficultés relativement au prix, aux faux appels accidentels ou malveillants et à la multiplicité des récepteurs installés sur les routes. A l'heure actuelle, ces difficultés semblent militer contre la réalisation de ce système.

g) Sécurité et secret des communications

Le besoin de sécurité et de secret pour les communications des organismes de police qui utilisent des systèmes mobiles est manifeste. Les systèmes employés dans d'autres domaines ont à des niveaux divers des besoins semblables. On a mis au point plusieurs dispositifs dont les degrés de sécurité varient considérablement. Ils vont de l'appareil simple assurant le secret des conversations jusqu'à l'ensemble complexe de protection des données contre le décodage pendant plusieurs années. Le prix de ces dispositifs varie en fonction du niveau

de sécurité assuré. On peut déjà obtenir à un prix raisonnable l'appareil simple qui protège le secret des conversations. Dans quelque temps, on aura des dispositifs plus complexes de protection des conversations ou d'autres types d'information. La technologie est connue; on doit toutefois trouver des solutions aux problèmes d'exploitation et définir des méthodes d'utilisation avant la mise au point du matériel.

h) Communications individuelles

Depuis quelques années, on utilise de plus en plus de petits appareils radio individuels qui viennent s'ajouter aux appareils plus volumineux installés à bord des véhicules. Les appareils portatifs individuels utilisés par le personnel des aéroports, par les agents de police en patrouille et par les ingénieurs faisant leur tournée dans les ateliers en sont des exemples.

La technologie nouvelle a amélioré la fiabilité et le rendement et a permis la réduction du poids et de l'encombrement de ce matériel. Grâce à la réduction plus poussée du poids et de l'encombrement, à l'augmentation de la durée des piles et de la puissance de sortie, on espère mieux répondre aux besoins qui se présenteront dans l'avenir.

L'appareil radio en casque, bien commode et d'une puissance de sortie égale à celle des appareils portatifs actuels, apparaîtra dans les cinq ans à venir. L'utilisation de circuits intégrés à moyenne ou grande échelle associés à des circuits hybrides microélectroniques permettra la réalisation de cet appareil. On pense aussi que les progrès de la technologie des piles permettront la fabrication d'appareils de plus en plus petits.

Les circuits intégrés et les techniques de microminiaturisation permettent aussi d'espérer la réalisation de la "radio-bracelet". Une version récepteur devrait être développée dans cinq à dix ans, mais l'émetteur-récepteur n'est pas encore au point et sa réalisation devra encore attendre plusieurs années.

(i) Dispositifs portatifs et mobiles de commande, de signalisation et d'alarme

Des appareils de codage à fonctions multiples permettent de surveiller des choses telles que l'entrée d'un immeuble, la présence de feu ou de fumée, le chauffage, etc. Des conditions anormales peuvent déclencher un émetteur qui relaie les renseignements à un poste central de surveillance.

On peut transmettre les signaux d'alarme par radio; on peut aussi d'une façon analogue télécommander des dispositifs éloignés. Par exemple, la commande de grues mécaniques par radio

est maintenant chose courante. On peut étendre l'utilisation de ce système à la télécommande de locomotives, de navires ou de véhicules terrestres. On envisage un usage plus important des signaux radio pour la commande de vannes dans un champ pétrolifère, du démarrage de générateurs de secours, etc.

j) Surveillance médicale d'urgence

La revue Electronic News du 9 septembre 1968 annonçait, en page 44, une nouvelle technique dans le domaine des communications et de l'électronique médicale. Un service d'ambulance de Los Angeles a essayé une version modifiée du contrôle de fonctions physiologiques à électrodes de la NASA. Ce système transmet les battements de coeur d'un cardiaque par la radio de l'ambulance au centre de répartition du service d'ambulance à partir duquel les renseignements sont retransmis par ligne téléphonique spéciale à un électrocardiographe de l'hôpital. Le médecin peut ainsi étudier l'électrocardiogramme et prendre les dispositions nécessaires pour la réception du malade dès son arrivée à l'hôpital.

Les signaux électriques du coeur du malade sont captés par des électrodes "dry-spray" placées sur sa poitrine. Les signaux sont modifiés par un amplificateur-modulateur FM. Les signaux FM sont reproduits par un petit haut-parleur placé dans le microphone de l'émetteur-récepteur de l'ambulance. Il en résulte une transmission d'une onde FM/FM.

Avec le dispositif actuel, on ne peut transmettre simultanément les battements de coeur et la voix. L'utilisation d'appareils radio FM à canaux multiples permettrait à l'avenir d'envoyer des données sur d'autres fonctions physiologiques comme la pression sanguine, le pouls, le volume respiratoire, la température épidermique, etc. En utilisant les techniques de multiplexage, on pourrait envoyer simultanément plusieurs de ces fonctions sur une voie radiotéléphonique ordinaire.

Ces systèmes sont aujourd'hui réalisables. D'ici cinq ans, la généralisation de leur usage contribuera à sauver des vies. Ce service devra plus tard disposer de voies spéciales.

k) Système de guidage et d'acheminement de la circulation routière

La conduite automatique des automobiles fait l'objet d'un grand intérêt. Cela est compréhensible quand on considère l'amélioration de la sécurité routière et du confort qui en découlerait pour un aussi grand nombre de personnes. La question est toutefois extrêmement complexe. Dans l'état actuel des progrès technologiques, on ne possède encore que des solutions partielles à ce problème.

On doit résoudre trois problèmes principaux. Le premier, la commande latérale, ou direction, est relativement simple. La technologie actuelle permet d'enfouir sous la chaussée un câble rayonnant et de munir les véhicules de capteurs appropriés pour assurer la commande latérale. Le second, la commande longitudinale (vitesse, accélération, freinage) est plus complexe. On a proposé plusieurs solutions dont certaines se basent sur l'asservissement à un véhicule-guide. On a aussi proposé un système utilisant un rayon laser pour régler automatiquement la distance entre les véhicules. Le troisième problème porte sur la combinaison des deux systèmes et la réalisation des sous-systèmes nécessaires de vérification et de secours (en cas de panne).

Il est peu probable que le système de conduite automobile automatique apporte en lui-même un fardeau supplémentaire aux communications mobiles terrestres. Toutefois, l'introduction de ce système vers la fin des années 1980 créera probablement des besoins supplémentaires de communications pour le véhicule. Le chauffeur, dégagé de ses responsabilités de conduite, voudra en effet s'absorber dans d'autres travaux qui nécessiteront sans doute l'usage de communications.

1) Lutte contre la pollution de l'air et de l'eau

Dans le contrôle de la pollution atmosphérique, les communications radio mobiles constituent le seul moyen pratique d'entrer en liaison avec les inspecteurs de la pollution pour qu'ils puissent se rendre assez tôt sur les lieux d'une infraction. Cela est très important parce qu'un contrevenant ne peut être poursuivi après la disparition des preuves de l'infraction.

Le gouvernement surveille depuis quelque temps les Grands Lacs pour lutter contre la pollution par les hydrocarbures. Un avion équipé de matériel mobile utilisant la bande des communications maritimes peut signaler les infractions au commandant du navire et aux stations de la Garde côtière. L'inspection aérienne est en fait le moyen le plus efficace de prévention de la pollution, car elle permet de constater les infractions et d'en photographier les preuves. Les inspecteurs peuvent aussi de cette façon se rendre rapidement sur les lieux pendant que la violation est encore évidente.

L'accroissement de la pollution doit nous porter à prendre des mesures de prévention efficaces. Les services de prévention de la pollution devraient avoir autant droit à des fréquences de communications que les services de sécurité publique.

On peut aussi procéder au contrôle automatique de l'environnement à l'aide de voies radioélectriques de communications. Des capteurs situés dans des endroits

stratégiques pourraient détecter les niveaux de pollution et les retransmettre automatiquement sur interrogation d'une station centrale ou lorsqu'un certain maximum préétabli serait dépassé. Ce système serait semblable à ceux qui sont actuellement utilisés en météorologie.

5.4. RÉSEAUX D'INFORMATIQUE

Lorsqu'on envisage l'avenir, obscurci par les remarques du paragraphe 2.4., la seule conclusion évidente est qu'il n'y a rien d'évident. Au cours des vingt prochaines années, la capacité de traitement de l'information du pays se sera certainement multipliée plusieurs fois. Il s'agit de savoir dans quel domaine se produira cette expansion.

Le nombre d'ordinateurs géants, y compris les systèmes dotés de grandes mémoires mais de petites unités de traitement, augmentera sans toutefois doubler. Ainsi qu'on l'a exposé auparavant, il en faudra un nombre relativement faible pour satisfaire les besoins du pays en ce qui concerne la documentation. Le Gouvernement utilisera quelques grands ensembles d'ordinateurs. Plusieurs ensembles de taille moins importante serviront les personnes et les entreprises qui font un usage minime ou rare des ordinateurs; grâce à de simples postes terminaux dont le raccordement pourra être assuré par la compagnie de téléphone locale, ces besoins pourront être satisfaits.

L'expansion la plus importante aura lieu dans le domaine des systèmes de petite taille. La citation suivante, tirée de la revue Electronic News du 2 mars 1970 nous en donne une idée, quoique l'industrie canadienne des ordinateurs soit en désaccord avec les chiffres cités. L'opinion de Monsieur Bothwell, de la société Honeywell, selon laquelle le mini-ordinateur condamnera les grands ensembles d'informatique, n'est pas universellement partagée. Voici donc quelques extraits (traduits) de l'article d'Electronic News:

"Le mini-ordinateur bénéficiant des progrès considérables de la technologie condamnera les grandes unités centrales sauf dans les systèmes requérant de grands fichiers centraux.

"Voilà ce que certains orateurs ont prédit la semaine dernière devant les membres de l'American Management Association au cours de son 17e congrès annuel sur le traitement électronique des données, dans une séance sur "l'envahissement par les mini-ordinateurs".

"Les partisans des "petits géants", dont les possibilités augmentent continuellement, déclarent que leur utilisation avec du matériel périphérique économique diminuera les frais de transmission et améliorera la sûreté de fonctionnement. Ils

affirment en outre que l'accumulation de mini-ordinateurs apportera des réductions extraordinaires aux frais de programmation des grandes unités, et que les mini-ordinateurs s'acquitteront de fonctions spécialisées telles que la commutation des communications.

"M. Paul Bothwell, vice-président et directeur général de la division de commande par ordinateur de la société Honeywell, a déclaré que les petites entreprises devront s'orienter vers le mini-ordinateur spécialisé pour soutenir la concurrence.

"Il prévoit qu'en 1975 six ordinateurs sur dix seront des mini-ordinateurs, soit 80,000 sur un total de 130,000, alors qu'aujourd'hui il n'y en a que 10,000."

Il n'y a que deux exceptions susceptibles de prendre de l'importance. L'intérêt d'un service d'informatique par rapport aux systèmes individuels ne résidera pas au départ dans le matériel mais dans l'accessibilité à la programmation et la facilité d'exploitation. Ces considérations peuvent d'avérer très importantes dans certaines applications. L'autre question intéresse les systèmes de taille intermédiaire. Il existe dans l'industrie et les affaires une tendance à l'utilisation de grands ordinateurs. Cependant, ces systèmes centralisés desserviront surtout le siège social, et les entreprises pourraient continuer à avoir besoin à l'occasion des services d'informatique pour les travaux techniques et financiers de leurs bureaux régionaux ou locaux. Cette méthode pourrait en effet être la plus économique. Le système centralisé d'ordinateurs engendrera un besoin réel de télécommunications appropriées et économiques entre les différentes installations d'une même société. Le choix évident est celui des lignes des sociétés exploitantes de télécommunications, si elles sont toutefois disponibles et si elles ont les caractéristiques désirées. L'ordinateur deviendra partie intégrante de l'entreprise individuelle. Il remplira des fonctions telles que le contrôle des stocks, l'établissement des feuilles de paie, la facturation, les décisions de gestion et la commande des opérations. Sauf pour quelques applications connexes à celles décrites ci-dessus, il se pourrait bien que l'ordinateur de taille moyenne ne soit presque plus utilisé.

6. CONCLUSIONS

6.1 Le milieu

Les principaux besoins suivants orienteront le développement des systèmes de communications au Canada:

- (i) La demande pour toute une diversité de services de transmission à bande étroite ou large, alliée à des

pressions pour obtenir partout des services de qualité identique.

- (ii) Pour les communications de masse, un besoin croissant d'une grande variété d'émissions accessibles à tous, quand cela est nécessaire, c'est-à-dire, plutôt sur demande que d'après un programme établi.
- (iii) La mobilité croissante, qui engendrera des problèmes de contrôle des communications et la nécessité d'une disponibilité continue de communications pour les personnes en déplacement.

L'évolution démographique est la principale inconnue dans ce domaine. Le coût et la nature des systèmes optimaux de communications dépendront de l'évolution de la tendance actuelle à l'urbanisation. L'amélioration des communications peut renverser cette tendance (et entraîner ainsi certaines dépenses). Cependant, ce ne sont pas des facteurs techniques qui décideront de la chose; le problème ne fera par conséquent pas l'objet de nos prévisions. Il faut toutefois insister sur le fait qu'une évaluation précoce ainsi que la détermination d'une ligne de conduite sont d'importance primordiale pour une expansion économique satisfaisante des communications au Canada.

Dans environ 10 ans, si le cours actuel de l'urbanisation se poursuit, le déploiement dans les banlieues nécessitera à lui seul qu'une bonne partie de l'enseignement et du travail de bureau soit faite à domicile.

6.2 Technologie fondamentale

Le temps écoulé entre la découverte d'une technologie ou d'un dispositif fondamental et sa mise en service dans le matériel de production d'une façon assez généralisée pour provoquer un changement notable dans la vie du grand public a été jusqu'ici d'environ 20 ans. On ne s'attend pas à la réduction de cet intervalle. Les technologies fondamentales pouvant être utilisées dans les installations prévues pendant les deux prochaines décennies sont donc déjà connues. Leur mise en oeuvre doit cependant attendre une réduction sensible des prix, soit grâce à d'autres développements techniques à et de meilleures méthodes de fabrication, soit par la création de marchés importants.

Les recherches sur le contrôle des processus microscopiques, moléculaires et atomiques mèneront à la découverte de nouveaux dispositifs à applications multiples pouvant être fabriqués rapidement et à bon marché. L'intégration à grande échelle réduira le coût et l'encombrement des sous-ensembles d'environ 30 fois dans la seconde partie de cette décennie. On fabriquera par conséquent des appareils pouvant exécuter des fonctions complexes

et nécessitant moins de surveillance et d'entretien que leurs prédécesseurs moins avancés. Tout le matériel actif de communications, sauf celui à haute puissance de sortie, sera fait de composants à semi-conducteurs.

Des mémoires de grande capacité sont essentielles à la technologie des communications et à tous les aspects du traitement et de l'affichage des données. Les mémoires à ferrites occuperont une position dominante jusqu'en 1980 au moins. Elles seront alors probablement remplacées par des mémoires à circuits intégrés à semi-conducteurs et par des mémoires holographiques et à bulle magnétique pour la mémorisation à haute densité. Les coûts diminueront de plusieurs ordres de grandeur pendant les 20 ans à venir.

De 1.5 à 8 c. par bit pour les mémoires actuelles à ferrites

De 0.1 à 0.5 c. par bit pour les mémoires à circuits intégrés (1980)

0.001 c. coût possible par bit pour les mémoires à haute densité (fin des années 1980)

La densité de mise en mémoire dans les dispositifs à grande capacité du type à accès en série augmentera d'environ 1 Mbit/po. ca. à peut-être 100 Mbit/po. ca. dans les 20 prochaines années.

Les nouvelles techniques permettront la réalisation d'une très grande variété de dispositifs d'entrée-sortie comportant diverses largeurs de bandes de transmission. Ceux-ci seront adaptés aux besoins des usagers et permettront d'assurer un nombre considérable de services visuels qui compléteront les services phoniques.

Vers 1975, tous les récepteurs ménagers neufs seront à semi-conducteurs. Les tubes cathodiques commenceront à faire place à des dispositifs d'affichage à semi-conducteurs ou autres vers 1980.

Des appareils enregistreurs ou reproducteurs, magnétoscopiques deviendront économiquement compatibles avec les autres appareils électroniques d'usage domestique.

6.3 Technologie de la transmission

On utilisera au Canada une combinaison de systèmes terrestres à hyperfréquences, d'installations à propagation guidée et de communications par satellite pour assurer la transmission à courte et grande distances. Les satellites joueront un rôle important dans les communications du Nord canadien et assureront aussi une partie des liaisons transcontinentales aux heures de

pointe. Des liaisons par ondes subinfrarouges pourraient assurer des voies multiples qui complèteraient les réseaux à câbles pour la transmission de la télévision à courte distance. L'expansion rapide des installations de transmission (jusqu'à 22% par an sur certaines voies) rendra économique l'utilisation des voies de transmission à très haute densité.

Câble coaxial MIC	De 16,000 à 20,000 circuits	en 1975
Liaisons radio numériques	32,000 circuits	en 1980
Guide d'ondes	De 100,000 à 200,000 circuits	en 1985
Liaisons par laser sur voie de transmission à fibres optiques	Plus de 200K circuits	en 1980

La mise en service progressive de ces installations assurera la diminution continue des frais de transmission, diminution qui s'établit à environ 6% par an pour les installations terrestres.

Les satellites de communications peuvent assurer la transmission entre des stations de base très éloignées les unes des autres et entre des stations de bases et plusieurs récepteurs dans une même région de grande superficie; les satellites peuvent aussi faciliter la navigation des navires, des avions et des véhicules terrestres. Le premier type est déjà en service, le second doit l'être en Inde en 1972, et le troisième est en voie de développement.

L'intégration à grande échelle des circuits électroniques (des filtres numériques, p. ex.) permettra une réduction considérable du prix du matériel à courant porteur du type à multiplexage par partage des fréquences pendant la période 1975-1980. Après 1980, les réductions du prix du matériel numérique à multiplexage par partage du temps seront encore plus intéressantes. Les problèmes d'entretien et de rendement des circuits analogiques réduiront les nouvelles applications du multiplexage par partage des fréquences après 1980. On s'attend à ce que l'intégration à grande échelle des circuits produise un effet maximal vers la fin des années 70 et le début des années 80.

L'avantage économique des voies de transmission à grande capacité et de l'utilisation partagée des installations permettra aux grandes sociétés exploitantes d'offrir au prix le plus bas possible un nombre toujours croissant de nouveaux services.

L'utilisation de systèmes radioélectriques à modulation par codage numérique peut permettre une utilisation plus efficace du

spectre des fréquences au moyen de la réutilisation géographique que ne peuvent le faire les systèmes MPF-MF actuels, pourvu qu'on procède à une répartition judicieuse des fréquences.

A l'avenir, les installations de distribution dans les foyers et les entreprises commerciales utiliseront davantage de matériel électronique pour obtenir une largeur de bande plus importante, un meilleur rendement et un taux d'utilisation plus élevé. On utilisera une combinaison économique de systèmes coaxiaux et bifilaires. La partie du système de distribution utilisant le mode analogique sera constituée de petits tronçons de qualité supérieure.

A l'exception des unités mobiles, la réception en direct de transmissions radiodiffusées disparaîtra graduellement dans les centres urbains et les banlieues à forte concentration démographique. Cela pourrait permettre un réajustement très important de l'attribution des fréquences pour permettre la diffusion télévisée sur canaux multiples dans les régions rurales.

6.4 Technologie de la commutation

Les systèmes futurs de commutation seront tous à commande centralisée, et surtout à commande électronique par programme enregistré (ESP). De tels systèmes pourront traiter facilement les caractéristiques complexes des communications phoniques et celles de données et les émissions de radio ou de télévision en utilisant la commutation spatiale et temporelle. La commutation spatiale analogique existante sera complétée par la commutation MIC spatiale et temporelle vers la fin des années 1970 ou au début des années 1980.

Les matrices de commutation elles-mêmes seront graduellement disséminées dans le réseau au lieu d'être concentrées; cela donnera des tronçons de distribution plus petits et de meilleure qualité. Le réseau se développera grâce à des processeurs plus importants commandant de nombreuses matrices. Ces processeurs seront à leur tour reliés entre eux par des voies de signalisation communes pour former un véritable réseau à commande centralisée qui remplacera le réseau progressif tel qu'on le connaît actuellement.

6.5 Technologie numérique

Le réseau des sociétés exploitantes sera principalement composé de sous-systèmes numériques pouvant offrir la gamme complète des services numériques et analogiques requise par tout usager d'un réseau à commutation. Comme beaucoup de gens auront accès à de grandes banques de données, la technologie de la téléinformatique accélérera le passage à la transmission numérique.

L'accès de l'utilisateur aux ordinateurs est actuellement limité par les dispositifs mécaniques d'entrée. Les lecteurs de documents et les dispositifs sensibles à la voix humaine deviendront des jonctions d'usage courant vers la fin des années 1970. Ils augmenteront la facilité d'accès tout en réduisant le niveau de compétence nécessaire pour les faire fonctionner.

Les dispositifs électroniques d'affichage (analogiques ou alphanumériques) prendront de plus en plus d'importance au cours des prochaines années.

Les bruyantes imprimantes mécaniques à percussion seront rapidement remplacées par un matériel silencieux de faible encombrement au cours de la première partie des années 70.

Le nombre d'ordinateurs, petits et gros, augmentera. De petits ordinateurs peu coûteux et de faible encombrement (de la taille d'une additionneuse) seront fabriqués en série. On peut envisager au cours de chaque décennie une augmentation de 10 à 100 fois de la vitesse de traitement des données par les gros ordinateurs. Il en résultera une réduction très marquée du prix du traitement par fonction.

Les mini-ordinateurs utilisés en série chez les usagers serviront à assurer la communication entre l'utilisateur et les gros ordinateurs éloignés ou les banques de données, lorsque la capacité de traitement des données ou de mise en mémoire des installations de ces usagers n'est pas suffisante. Ceci permettra à la majorité des usagers de ces ordinateurs d'avoir une durée d'occupation plus courte et une capacité en voies moins grande que celles que l'on croyait autrefois nécessaires.

6.6 Développement des systèmes

La complexité croissante des sous-systèmes impose d'optimiser l'ensemble du réseau, mais rend possible beaucoup plus de compromis économiques, ce qui permet d'assurer une meilleure efficacité aux réseaux à usages multiples.

L'automatisation dans les réseaux à courants porteurs sera le facteur principal de la rentabilité du système. L'automatisation des services d'assistance aux abonnés doit être aussi techniquement complète que possible afin de pouvoir faire face à l'expansion attendue pour la prochaine décennie. La tendance de l'avenir sera de faire exécuter par les machines toutes les fonctions qui pourront l'être.

La mise en service d'un réseau de distribution communautaire à usage récréatif et éducatif demandera des installations phoniques et visuelles. Ce réseau devra pouvoir recevoir et retransmettre les émissions nationales radiodiffusées et relayées par satellite. Les systèmes de distribution par câbles

desserviront les zones à densité de population élevée, tandis que les émetteurs radio locaux assureront le service dans les zones peu peuplées et à l'intention des personnes en déplacement.

La radiodiffusion directe par satellite à des petits systèmes à antenne collective sera probablement réalisable avant la fin de cette décennie. La radiodiffusion directe au foyer des usagers se fera vers le milieu des années 80. Ceci aidera à équilibrer la disponibilité des communications de masse dans tout le Canada. Le nombre de canaux ainsi fournis à chaque endroit sera cependant limité par les frais élevés à une capacité bien inférieure aux systèmes terrestres de transmission par câbles des centres urbains.

Dans les zones à haute densité de population, des systèmes de distribution multivoies fourniront aussi une variété d'autres services, pour la plupart bidirectionnels ou interactifs.

Le besoin d'un service visuel à demande sera partiellement satisfait par des bibliothèques personnelles et locales, d'une part et, de l'autre, par le développement d'un réseau vidéo commuté semblable aux réseaux téléphoniques actuels mais qui serait relié à des mémoires.

Dans les zones à faible densité de population, le besoin d'une plus grande variété d'émissions et d'une certaine liberté de choix sera satisfait par des développements nouveaux de la radiodiffusion comme des dispositifs vidéo ménagers et des canaux d'appel à bande étroite.

Le radiotéléphone (une forme avancée de station mobile de réception personnelle), divers dispositifs terminaux et des services mobiles perfectionnés de radiotéléphonie procureront une plus grande mobilité à l'utilisateur du réseau téléphonique commuté.

L'expansion des communications dans le service mobile ne sera limitée que par la disponibilité du spectre. Une redistribution des bandes actuellement attribuées à d'autres services pourrait s'avérer nécessaire. Des dispositifs de recherche des voies libres seront mis en service pendant les années 1970. Pour obtenir une capacité supplémentaire d'expansion, les techniques de compression de bandes, telles que les vocoders et leurs équivalents visuels, deviendront rentables pendant les années 1980.

Le développement rapide de la circulation aérienne et maritime peut continuer à créer de sérieux problèmes de contrôle, mais leurs solutions ne seront pas limitées par la technologie des communications. De nouveaux systèmes plus complexes de contrôle, d'enregistrement et de navigation aérienne sont et seront mis en service. Cela provoquera une grande expansion des

besoins de transfert de plusieurs types d'information. Cela mènera peut-être à l'unification des systèmes de communications, de navigation et d'identification.

Le nombre de véhicules terrestres utilisés à des fins de loisirs et autres dans les régions désertiques du Canada, surtout en hiver, continuera selon toute probabilité à augmenter rapidement. Ces véhicules s'aventureront loin des régions habitées. Un besoin de communications mobiles à très bon marché et d'accessoires de navigation pour ces véhicules se fera sentir. Si le niveau de production est suffisamment élevé, la technologie devrait être en mesure de satisfaire ces besoins, mais il y aura cependant des problèmes d'encombrement du spectre.

RENVOIS

1. Transmission d'information codée entre machines.
2. "Picturephone" est le nom de commerce du visiophone.
3. Audio-visuel: qui s'adresse à la fois à l'ouïe et à la vue.
4. Système de transmission et d'enregistrement dans lequel des images ou des pages imprimées sont converties en signaux électriques, à un rythme beaucoup plus lent qu'en télévision. Le fac-similé, qui donne à l'extrémité réceptrice des documents en clair, n'a besoin que d'une bande de fréquence assez étroite.
5. Mémoire de l'Electronic Industries Association, FCC Docket N° 18397, partie V.
6. Système dans lequel l'émetteur côtier envoie des signaux modulés sur plusieurs porteuses et l'émetteur-récepteur de bord choisit automatiquement la fréquence optimale de communication. Il est également possible dans ce système d'envoyer à partir de l'émetteur côtier des renseignements codés sur le rapport signal/bruit pour aider le dispositif de bord dans son choix automatique.
7. Code de demande et de répétition automatiques. Dans ce système, une demande de retransmission des messages est automatiquement envoyée à l'émetteur lorsque le nombre d'erreurs dans le message reçu dépasse une certaine limite.
8. "Innovations and New Concepts in Mobile Communications," communication présentée par MM. D.K. Clark et L.G. Schneller à l'I.E.C., Toronto, octobre 1969.
9. "Inward Wide Area Telephone Service", service interurbain planifié d'arrivée, qui permet au public d'appeler gratuitement certains numéros, les factures étant ensuite envoyées au destinataire des appels.

TÉLÉCOMMISSION

Étude 4 a)

MANDAT APPROUVÉ

TABLE DES MATIÈRES

Généralités

Objet de l'étude

Période en cause

GÉNÉRALITÉS

Le but de cette étude est de décrire et d'évaluer la nature des progrès futurs de la technique des communications ainsi que leurs effets. Elle constitue par conséquent la base du travail de toutes les autres équipes de la Télécommission, car la Télécommission elle-même doit entièrement son existence au taux explosif des changements qui se sont produits dans la technique des communications. Par conséquent, une connaissance adéquate des façons dont cette technique évolue est une condition préalable essentielle à des délibérations significatives en ce qui concerne chacun des domaines fonctionnels.

OBJET DE L'ÉTUDE

La prophétie est au mieux une entreprise dangereuse et inexacte; ceci est particulièrement vrai lorsque le sujet en question est aussi vaste et varié que les communications. Trop souvent, l'étincelle qui produit un changement révolutionnaire provient d'un travail obscur dans un domaine qui est considéré comme insignifiant au moment où les prédictions sont faites. De la même façon, les éclairs soudains de l'inspiration qui conduisent à d'importantes inventions sont intrinsèquement imprévisibles. L'immensité même du domaine des communications crée un autre problème, et il serait impossible au groupe d'étude de couvrir en profondeur tous les développements techniques qui pointent à l'horizon. L'étude se limitera par conséquent à donner un aperçu général de certains domaines critiques dans lesquels des changements auront probablement le plus grand effet sur la société. L'identification de ces domaines devrait donc constituer la préoccupation primordiale de l'équipe dans les premières phases de ses travaux. Au début, le travail des équipes sera canalisé le long de trois axes principaux dont chacun pose une gamme particulière de questions. Ces questions sont les suivantes:

1. Qu'est-ce qui sera communiqué?
2. Comment cette information sera-t-elle communiquée, transmise, traitée, etc.?
3. Qui utilisera les services, c.-à-d. les nouveaux développements?

La dimension "comment" traitera de facteurs tels que:

- la mise en mémoire de l'information
- la transmission, c.-à-d. liaison troposphérique, par câble, par satellite, etc.
- la commutation, tant les dispositifs que les techniques
- les terminaux
- le contrôle

- le traitement et la modulation, etc.

En ce qui concerne la catégorie de "ce qui sera communiqué", l'équipe aura à traiter des quatre types fondamentaux de services. Ce sont:

- La voix
- L'image
- L'écriture
- Les données

La troisième dimension, ou "Qui", se rapporte aux usagers des différents services et, dans ce cas, trois catégories fondamentales ont été déterminées:

- Nationale
- Institutionnelle
- Traitement des données

PÉRIODE EN CAUSE

L'équipe limitera ses prédictions à la période allant d'aujourd'hui à 1990 et, à l'intérieur de cette période, elle étudiera quatre intervalles fondamentaux:

- de 1970 à 1974 inclusivement
- de 1975 à 1979 inclusivement
- de 1980 à 1984 inclusivement
- de 1985 à 1990 inclusivement

ANNEXE B

TECHNOLOGIE FONDAMENTALE

Ces études ont été menées par des groupes de spécialistes appartenant au personnel de laboratoire des organismes et entreprises suivants:

Laboratoires de recherches et de développement de Northern Electric

Division de génie électrique et de radiotechnique du Conseil national de recherches du Canada

Centre de recherches sur les communications

Le personnel de l'Établissement de recherches pour la défense à Ottawa et des membres de la Commission des sources d'alimentation du Conseil de recherches pour la défense ont apporté une contribution importante à l'étude sur les sources d'alimentation.

TABLE DES MATIÈRES

Mémoires

Composants à semi-conducteurs

Ordinateurs

Techniques optiques de mise en mémoire

Lasers

Transmission

Technologie de l'entrée-sortie

Dispositifs d'entrée-sortie

Filtrage analogique et numérique

Autres réalisations

1. MÉMOIRES

Introduction

Ce rapport succinct n'a ni pour objet de comparer en détail les techniques actuelles ni d'établir des prévisions fondées sur les caractéristiques particulières de certaines techniques. Les résultats comparés de l'étude de deux systèmes peuvent être aussi nombreux qu'il y a de paires de systèmes. Cette étude est fondée sur la valeur réelle de systèmes actuellement en exploitation et sur les orientations les plus probables de l'utilisation des diverses techniques au cours des vingt prochaines années. On a également tenu compte des conditions du marché dans lequel ces systèmes de mémoires doivent se développer et s'implanter.

Techniques

A l'heure actuelle, les mémoires à ferrites (ou à tores magnétiques) dominent tous les autres types de mémoires grâce à des perfectionnements qui, sans être révolutionnaires, sont constants.

Les systèmes de mémoire magnétique comme les fils plaqués, qui ont une densité de bits limitée et des couches minces imposant des normes de fabrication très sévères, sont actuellement peu exploités, quoiqu'un fabricant japonais se soit récemment intéressé aux fils plaqués. Dans la mesure où leurs caractéristiques actuelles permettent des prévisions, on peut dire que les couches magnétiques ou les fils plaqués n'occuperont pas une place importante sur le marché des mémoires. Dans le domaine des semi-conducteurs, les mémoires bipolaires et les mémoires à transistors MOS (silicium-oxyde métallique) semblent prendre une place de plus en plus importante. Ces dispositifs bénéficient de la technologie connexe des semi-conducteurs, qui ne sont pas particulièrement destinés à la mise en mémoire de l'information.

En ce qui concerne la période qui nous intéresse, on s'attend à ce que les tores magnétiques constamment améliorés continuent à occuper le premier rang pendant au moins dix ans. On peut encore réduire les dimensions des tores et améliorer l'automatisation de leur montage. La concurrence des autres technologies stimulera, au lieu de décourager, les efforts visant à maintenir l'utilisation des tores magnétiques du type "gaufrier". Elles ne constituent cependant pas un perfectionnement exceptionnel des systèmes magnétiques.

Dans les dix prochaines années, pour qu'une autre technologie remplace les ferrites il faudra qu'elle soit rapidement mise au point, plus fiable, plus économique et dotée de meilleures caractéristiques de vitesse, de consommation d'énergie et

d'encombrement. La mémoire à semi-conducteurs est le concurrent le plus sérieux. Elle sera l'objet d'une expansion importante au cours des prochaines années. On estime que les dispositifs MOS prendront une place importante dans les mémoires principales, les mémoires bipolaires plus rapides étant réservées aux petits systèmes rapides comme les mémoires intermédiaires.

Au cours de la seconde période de dix ans, on devra probablement faire face à des besoins considérablement accrus de mémoires dotées de plus grandes densités de mémorisation. Malgré des débuts prometteurs, la mise au point des mémoires cryoélectriques s'est révélée décevante. L'utilité des pellicules amorphes "vitreuses" n'a pas été démontrée au cours des dernières années d'étude. Les mémoires holographiques présentent de grandes possibilités d'emmagasinage grâce à un espacement théorique de bits de l'ordre de la longueur d'onde de la lumière. Néanmoins, à court terme, la nouvelle mémoire à bulle peut offrir un système plus facilement réalisable. On gardera le système holographique en réserve pour un avenir plus éloigné.

Mémoires et communications

En général, les caractéristiques des mémoires qui seront disponibles au cours des vingt prochaines années n'auront aucune conséquence restrictive sur le développement des communications.

Du point de vue de la vitesse de fonctionnement, il est fort possible que les systèmes périphériques d'accès à la mémoire au moyen de dispositifs d'entrée-sortie jouent un rôle déterminant dans l'incorporation des mémoires, quelle que soit leur type, aux systèmes de communications.

La réduction de l'encombrement des ordinateurs, en partie due à la miniaturisation des mémoires, permettra de développer leur usage, en particulier sur les avions et les satellites où le poids et l'encombrement sont des critères importants. On pourrait par exemple loger dans le compartiment de bout d'aile du matériel électronique pour la commande et le contrôle des systèmes de l'avion grâce à des données envoyées par radio à partir de stations terrestres; le fuselage serait ainsi libre pour loger le matériel plus encombrant.

Les méthodes de production de n'importe quelle mémoire dépendent dans une grande mesure de la fiabilité de l'ensemble du système dont elle fait partie. Comme le maillon d'une chaîne, la mémoire doit avoir une fiabilité propre beaucoup plus élevée que celle du système entier si on désire éviter les installations parallèles de matériel. Le cas des avions et des satellites, que nous avons déjà cité plus haut, illustre parfaitement l'importance de la fiabilité.

Les mémoires entreront sans aucun doute dans la composition de nombreux systèmes de communications dans des proportions plus importantes et à un rythme de plus en plus rapide. On estime cependant que la tendance actuelle vers la recherche d'un matériel meilleur marché et moins encombrant, la vitesse n'étant qu'un facteur secondaire, est suffisante pour permettre de développer n'importe quel système (par exemple le partage du temps dans les télécommunications et la transmission des données) qui sera susceptible d'être mis en service au cours de la période de temps à l'étude.

Prix prévus

Il est difficile de comparer les données relative aux coûts, car elles varient en fonction de la dimension, de la vitesse, de la consommation d'énergie, de l'utilisation actuelle de différentes techniques et du genre de mémoire. Les ordinateurs futurs seront construits de telle manière qu'ils pourront utiliser les meilleures combinaisons possibles des différents types de mémoires. De plus, les mémoires à circuits intégrés ont un vaste champ d'application dans les lignes à retard, l'affichage, etc.

A l'heure actuelle, les mémoires à ferrites coûtent entre 1.5 et 8 cents le bit. Dans le cas des mémoires MOS altérables et en série, le bit revient à environ 10 cents. Dans les mémoires inaltérables, il coûte entre 1 et 5 cents. Les mémoires bipolaires à circuits intégrés sont utilisées dans les applications nécessitant une vitesse élevée. Elles coûtent actuellement assez cher (50 cents le bit). On a avancé des prévisions de 0.1 à 0.5 cent le bit pour les mémoires à circuits intégrés.

La mémoire à bulles, fondée sur la technique nouvelle des bulles magnétiques, semble être un dispositif à faible consommation d'énergie, à grande densité de mémorisation et à accès lent qui pourrait remplacer les mémoires à disques comme dispositif intermédiaire de mémorisation. On pense que des fichiers de données codées mémorisés sur bulles magnétiques pourront contenir 15 millions de bits codés d'information dans un volume d'un ou deux pouces cube en ne consommant que 0.040 watt. Pour ces mémoires, on a avancé le prix optimiste de 0.001 cent par bit.

2. COMPOSANTS À SEMI-CONDUCTEURS

Introduction

En raison de son dynamisme, l'évolution de l'industrie des semi-conducteurs a parfois ressemblé à une révolution. Une succession d'inventions et de mises au point de procédés technologiques importants a mené à un développement extrêmement

rapide, quoique relativement ordonné, de ce domaine. La forte demande du marché des ordinateurs a également mis en relief ce domaine particulier et tracé la voie à la plupart des développements actuels. Le grand nombre de blocs fonctionnels réalisés pour l'industrie des ordinateurs a entraîné la fabrication de dispositifs et de circuits adaptés aux applications linéaires. La disponibilité des circuits numériques semble destinée à jouer un rôle très important dans le domaine des communications dans lequel il est maintenant possible d'appliquer les techniques complexes du traitement numérique.

Afin de prévoir l'orientation des recherches ou le type de technologie qui sera adopté, il faut considérer deux intervalles de temps:

- (1) Entre l'invention du dispositif ou du procédé et son implantation sur le marché, il s'écoule en général de 3 à 5 ans.
- (2) Entre l'invention du dispositif ou du procédé et son perfectionnement optimal (coût minimal), il s'est passé environ 10 ans pour les transistors au silicium et au germanium. Tout indique qu'il en sera de même pour les circuits intégrés monolithiques.

Il semble donc raisonnable de prévoir que les dispositifs inventés actuellement atteindront leur niveau optimal de commercialisation au début des années 1980. Ceci ne signifie pas que la durée d'un dispositif ne soit que de dix ans, car le niveau optimal de commercialisation peut s'étendre sur de nombreuses années.

Dans le cas des dispositifs à semi-conducteurs, le niveau optimal a aussi coïncidé avec une grande fiabilité. La fiabilité des dispositifs et des circuits actuels, dans lesquels on a appliqué des normes de qualité rigoureuses en cours de fabrication, a permis à l'homme de se rendre sur la lune et d'en revenir. Un tel niveau de fiabilité devrait être relativement courant au cours des années 1980.

Perspectives d'avenir des technologies existantes

Notre technologie actuelle est basée sur des semi-conducteurs à cristal unique élémentaire ou composé. Les cristaux élémentaires sont les mieux connus. Jusqu'à présent, ils ont été la base même de l'industrie des transistors et des diodes. Les cristaux composés sont le fondement d'une industrie naissante et très prometteuse pour ce qui est de la fabrication de dispositifs pouvant fonctionner dans la bande des hyperfréquences.

Le germanium: Bien que le germanium ait été remplacé dans une grande mesure par le silicium, le chiffre des ventes des

dispositifs au germanium en 1969 était de 60% inférieur à celui de 1961, année où les ventes ont atteint un sommet. La production des dispositifs au germanium est très automatisée. Au cours des années 1970, ce type de transistor continuera à être utilisé en grande quantité pour la consommation courante (appareils ménagers, etc.).

Les caractéristiques de mobilité du germanium étant supérieures à celles du silicium, des travaux isolés de recherches ont été menés en vue de déterminer les possibilités de fabrication de transistors hyperfréquence au germanium. On pense que ces recherches se poursuivront encore quelque temps. Le principal défaut du germanium est sa sensibilité aux variations de température.

Le silicium: Le silicium est le matériau le plus largement utilisé dans la fabrication des dispositifs à semiconducteurs. La mise au point des masques à oxyde vers le milieu des années 1950 a permis non seulement la fabrication de transistors et de diodes fiables et peu coûteux mais aussi le développement de circuits intégrés MOS et bipolaires.

Bien que le volume des ventes des dispositifs au silicium soit resté pratiquement le même depuis 1966, le prix de revient unitaire continue à baisser. A l'heure actuelle, le prix par dispositif est le même que pour le germanium, soit un peu moins de 50 cents.

Les ventes de circuits intégrés augmentent chaque année en suivant une courbe presque rectiligne. Le prix moyen par ensemble continue à diminuer. On s'attend à ce que l'ensemble revienne à moins de \$1 avant la fin des années 1970. Les problèmes de métallisation à couches multiples, de refroidissement, d'essai et de conditionnement ainsi que l'intégration à moyenne et grande échelles (plus de 100 composants par ensemble) sont actuellement étudiés. On attend le plein développement des circuits intégrés vers la fin des années 1970. On estime qu'au cours des deux prochaines décennies, le silicium restera le support principal des circuits intégrés.

Compte tenu de l'état actuel des connaissances dans le domaine de la physique de l'état solide, on ne s'attend pas à ce que les transistors classiques discrets au silicium atteignent une puissance supérieure à 3 ou 4 watts à 5 GHz, et à quelques milliwatts à 20 GHz. On pourrait peut-être améliorer légèrement ces puissances en mettant en parallèle plusieurs microplaquettes à transistors discrets.

Le marché des mémoires à semi-conducteurs est actuellement en pleine expansion. Les prévisions donnent des prix de 0.1 cent le bit pour les réseaux de capacité supérieure à 1000 bits.

Semi-conducteurs composés

Parmi les caractéristiques des semi-conducteurs composés, deux sont particulièrement intéressantes:

- (1) La bande de puissance peut être modifiée selon l'application à laquelle on destine le semi-conducteur.
- (2) Le mécanisme d'échange énergie-moment qui provoque la formation des domaines de champ progressif permet la réalisation de dispositifs dotés de nouvelles propriétés (dispositifs Gunn et LSA).

La physique des semi-conducteurs composés est plus complexe que celle des dispositifs élémentaires ainsi que l'a démontré la mise au point relativement lente des dispositifs exploitables. Au cours des deux prochaines décennies, il faut s'attendre cependant à l'apparition d'une technologie optimale en ce qui concerne les semi-conducteurs composés.

Au cours des années 1970, il sera possible de réaliser des émetteurs lumineux économiques pour les affichages et le couplage des signaux. Il est intéressant de remarquer que les pays occidentaux et le Japon ont surtout fait porter leurs travaux de recherche sur l'arséniure-phosphure de gallium tandis que l'URSS s'est presque uniquement concentrée sur le carbure de silicium. Bien que ce dernier ait des propriétés de mobilité relativement faibles, il possède d'excellentes propriétés d'émission lumineuse et de fonctionnement à haute température.

Technologie des hyperfréquences

Bien que jusqu'à présent la majeure partie des efforts ait porté sur les circuits numériques, la technologie des hyperfréquences apparaîtra au cours de la prochaine décennie. On peut en considérer deux aspects bien distincts.

Il y a tout d'abord le problème d'augmentation du rapport puissance/fréquence (voir Figure B 1). Jusqu'à présent, les dispositifs à hyperfréquences importants fonctionnant jusqu'à 4 ou 5 GHz étaient essentiellement composés de transistors bipolaires discrets au silicium. Leur rendement a maintenant atteint ses limites théoriques.

En second lieu, les dispositifs fonctionnant à 4 et 5 GHz possèdent en général deux bornes, ce qui a pour effet de limiter leurs applications. On fait actuellement des efforts considérables pour mettre au point des dispositifs à trois bornes, c'est-à-dire qui ont un moyen de commande par la troisième électrode.

En outre, les dispositifs hyperfréquence sont plus sensibles au bruit que leurs homologues à lampes. Des recherches visant à réduire le bruit de ces dispositifs sont en cours. On pense remédier à ce problème avant la fin des années 1970.

Les travaux de recherche sur les dispositifs haute fréquence continueront au cours des années 1970. Cette technologie devrait atteindre son niveau optimal vers le milieu des années 1980. Certains chercheurs envisagent la mise au point de dispositifs émettant des impulsions de 250 kW à 1,000 GHz.

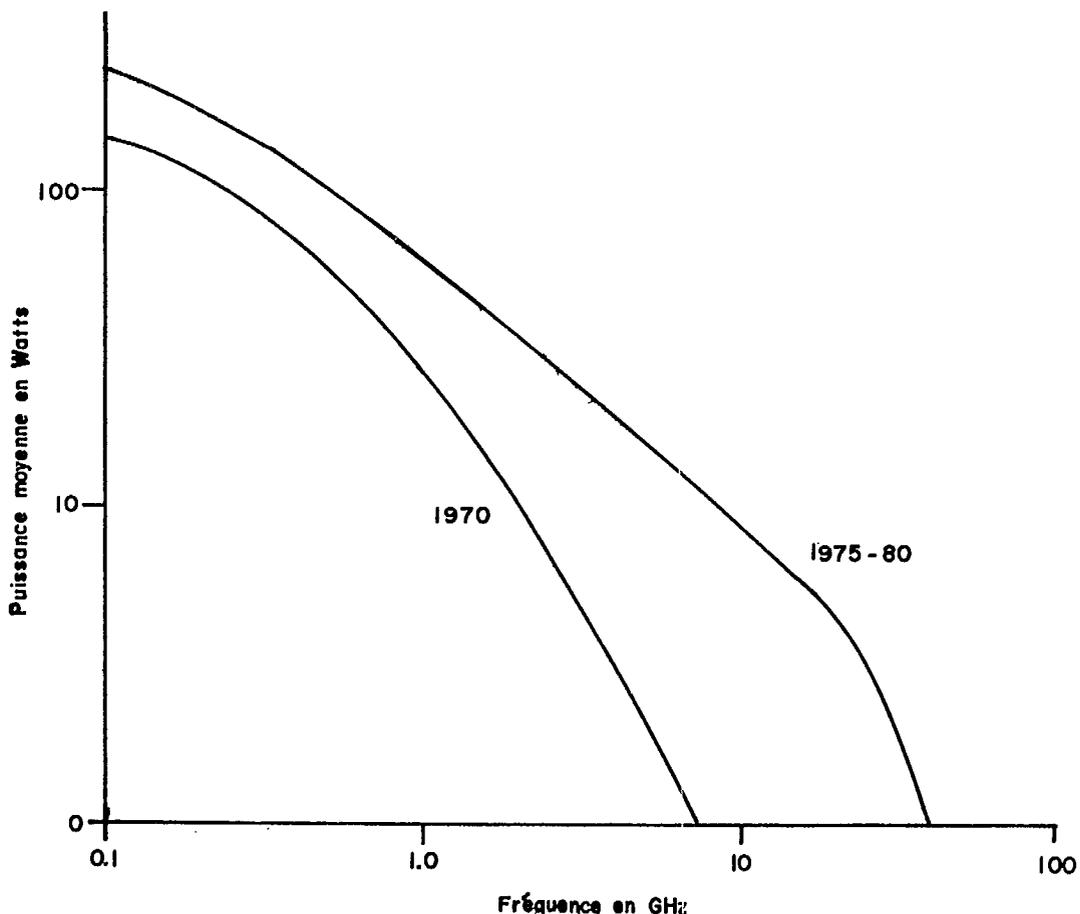


Fig. B1 Orientation prévue de la puissance de sortie / fréquence des dispositifs hyperfréquences à semi-conducteurs.

Introduction de nouvelles technologies

Les recherches portent actuellement sur plusieurs secteurs importants qui permettront de mettre au point de nouveaux dispositifs au cours des deux prochaines décennies.

Semi-conducteurs amorphes:

L'application la mieux connue de ce type de matériau est probablement le commutateur à "pellicule vitreuse". Certains chercheurs avancent la possibilité de vitesses de l'ordre de la picoseconde. Des matériaux semi-conducteurs font également l'objet de recherches.

Dispositifs de jonction à faisceau électronique:

Dans ces dispositifs, la région de charge d'espace d'un semi-conducteur est bombardée par un faisceau d'électrons dans le but de produire des paires trou-électron. On a noté des gains de courant de 2,200 à 10 keV et des temps de montée de 200 à 300 picosecondes. Il s'agit de dispositifs à trois bornes qui présentent des possibilités d'application en hyperfréquences.

Dispositifs à onde de surface:

Ce dispositif est basé sur l'interaction des ondes sonores avec les propriétés électroniques d'un cristal. On connaît aussi ce phénomène sous le nom d'acoustique des hyperfréquences.

Interconnexions optiques:

La vitesse de propagation d'un signal le long d'une interconnexion dans un circuit intégré peut baisser jusqu'à 1/50e de la vitesse de la lumière. Des chercheurs essaient donc de remplacer les interconnexions matérielles par des interconnexions optiques lorsque la distance à franchir est de l'ordre du pouce.

Pellicules épitaxiales:

De nombreux chercheurs en hyperfréquences étudient la formation de pellicules épitaxiales de haute qualité sur les substrats isolants en vue d'obtenir de grandes vitesses de propagation et l'isolation voulue. La formation d'une pellicule de silicium sur un saphir est un exemple de ces techniques.

Domaines magnétiques:

La "mémoire à bulle", qui est peut-être l'exemple le mieux connu des domaines magnétiques, est fondée sur les propriétés des pellicules de matières magnétiques déposées sur la surface de certains cristaux. L'application de la technologie des semi-conducteurs à ces pellicules magnétiques a permis la fabrication, la

fixation et l'utilisation des domaines magnétiques. Il est possible de réaliser grâce à ces bulles des mémoires à très grande capacité.

Mémoires permanentes à semi-conducteurs:

La mise au point des mémoires MOS a permis d'élaborer des structures dans lesquelles on peut incorporer des isolants autres que le bioxyde de silicium. On a observé que des couches de différents matériaux isolants déposées sur la surface de semi-conducteurs cristallins (actuellement le silicium) pouvaient garder une charge électrique pendant des périodes prolongées. On peut introduire cette charge dans la structure de l'isolant de plusieurs manières (effet de tunnel, irradiation par ondes électromagnétiques, etc.). Quand la charge est en place, elle demeure là sans qu'il soit nécessaire d'appliquer des forces extérieures.

Conclusions

Dans ce rapport, trois points essentiels sont à souligner.

1. Le silicium est actuellement le semi-conducteur le plus utilisé, et il continuera de l'être au cours des 20 prochaines années.
2. De nouveaux matériaux, surtout les semi-conducteurs composés, occuperont une place de plus en plus importante dans le domaine des hyperfréquences et dans les applications spéciales, par exemple dans le domaine de l'optique. Il est probable que le carbure de silicium sera le matériau le plus utilisé pour les applications à haute températures.
3. Les circuits intégrés à semi-conducteurs métal-isolant et bipolaires domineront le marché au cours de cette période. On peut s'attendre à des degrés de complexité et de fiabilité beaucoup plus élevés que ceux d'aujourd'hui.

Le marché des composants à semi-conducteurs est vaste. Il représente actuellement des ventes annuelles totales de plus de 1.5 milliard de dollars. Les Etats-Unis détiennent actuellement, et continueront de détenir, la plus grande partie de ce marché. Les entreprises canadiennes peuvent mettre à profit, par exemple dans le domaine des communications, les spécialisations et les avantages qu'elles possèdent. Cependant, la réussite exigera une concentration énorme des efforts et la réalisation de techniques avancées et automatisées.

Ce vaste marché nécessite la mise en oeuvre de travaux de recherche orientés vers l'étude de la bande de travail des semi-conducteurs et de sa structure. Il est donc normal qu'une grande variété de dispositifs et de circuits de formes nouvelles et possédant des caractéristiques électriques propres soit lancée. Comme ces développements permettront de regrouper des fonctions de plus en plus complexes, nous pouvons nous attendre à ce que la conception des systèmes vise à atteindre ses limites théoriques.

3. ORDINATEURS

Structure des systèmes et du matériel

Au cours des cinq prochaines années, on prévoit l'expansion continue du nombre et des dimensions des grands ensembles d'ordinateurs, sans toutefois qu'il y ait d'évolution spectaculaire. A l'heure actuelle, on note une augmentation importante du nombre des petits ordinateurs grâce à la diminution marquée du coût des mémoires et des circuits logiques. Les dispositifs graphiques simples d'entrée-sortie sont aujourd'hui couramment utilisés. Au cours des prochaines années, on fera un usage abondant d'unités plus complexes. Ces changements rapides, surtout ceux qui résultent de l'utilisation dans de nombreux secteurs d'ordinateurs peu coûteux, amèneront des modifications qualitatives à notre milieu social et économique.

Au cours des vingt prochaines années, l'importance des grands ordinateurs, mesurée d'après le nombre réel d'instructions exécutées par seconde, doublera ou triplera chaque décennie. L'augmentation brute de la vitesse des circuits ne fera pas des progrès aussi rapides à moins d'une évolution imprévue. La mise au point de systèmes plus complexes (par chevauchement et mise en parallèle des opérations) permettra néanmoins d'accroître les vitesses d'exploitation. On peut envisager de nettes améliorations, surtout :

- a) dans la fabrication de réseaux très complexes de circuits intégrés à temps de propagation d'une nanoseconde ou moins et à faible consommation d'énergie;
- b) dans la fabrication en lots de mémoires rapides magnétiques et à semi-conducteurs ayant un temps de cycle d'environ 10 nanosecondes;
- c) dans les techniques de micro-programmation qui apporteront de grands changements aux concepts de systèmes en augmentant la vitesse et la souplesse;
- d) dans les mémoires de masse à accès aléatoire. L'exploitation de technologies telles que celles de la lumière cohérente ou des faisceaux électroniques

pourrait donner des capacités de l'ordre de 10^{12} bits avec un temps d'accès de quelques secondes.

On fabriquera en série de petits ordinateurs à très bon marché. Cela favorisera la décentralisation de nombreuses fonctions; toutefois, le besoin de communications avec de plus grands ordinateurs augmentera.

Les dispositifs graphiques occuperont le premier plan dans les systèmes d'entrée-sortie. Dans de nombreuses applications, l'utilisation de terminaux interactifs remplacera le traitement actuel par lots. L'utilisation des lecteurs optiques se généralisera, et les communications verbales avec les ordinateurs se développeront de plus en plus.

Programmation

La programmation est actuellement rudimentaire et coûteuse à élaborer. Les problèmes relatifs à la mise au point de programmes pour les très gros ordinateurs n'ont pas encore été résolus de façon satisfaisante. Nous prévoyons que les machines établiront de plus en plus leurs propres programmes, ce qui mènera à une réduction des prix et à une amélioration spectaculaire de l'efficacité. A l'avenir, les problèmes s'énonceront de plus en plus dans un langage naturel et pratique pour l'utilisateur. Ce langage sera ensuite traduit en instructions machine à l'aide de processeurs beaucoup moins difficiles à produire que les compilateurs actuels. La technique de la programmation des systèmes fera des progrès tels qu'il sera possible de construire des ensembles informatiques (matériel et programme) qu'on pourra développer à mesure que croîtront les besoins des usagers.

Fiabilité

La fiabilité cessera d'être un facteur limitatif des dimensions et de la complexité des systèmes. On utilisera un matériel de fonctionnement plus sûr, des codes de correction d'erreurs et un matériel redondant doté de dispositifs d'autovérification pour former une combinaison économique capable d'assurer une fiabilité correspondant aux besoins de l'utilisateur.

Prix prévus

Actuellement, le prix de revient des grandes installations augmente d'environ 10% chaque fois que la capacité en est doublée. Cette tendance devrait continuer. Le prix des petits ordinateurs devrait diminuer au sens absolu (capacité accrue à un prix moindre).

Répercussions

Dans ces prévisions, nous supposons que de grandes banques de données seront installées en de nombreux points du pays et qu'elles seront accessibles à un grand nombre d'utilisateurs, soit au moyen d'un simple terminal, soit au moyen d'un ordinateur.

La technologie des ordinateurs imposera l'utilisation de la transmission numérique et de la commutation électronique dans des systèmes de communications normalisés. Nous ne sommes pas en mesure de faire une évaluation quantitative, mais nous pensons que les principaux systèmes seront numériques dans une décennie. Le seul obstacle est l'énorme investissement nécessaire à cette conversion.

Le taux d'expansion décennal actuel (entre 100 et 200% de la capacité des voies de communications) devra se maintenir pendant au moins une autre décennie pour suivre l'expansion prévue des installations d'ordinateurs. Il sera également essentiel de poursuivre l'automatisation des systèmes de communications.

Tout en créant de nouveaux problèmes pour les exploitants et les concepteurs des systèmes de communications, la technologie des ordinateurs aidera à les résoudre. La gestion et la conception seront plus efficaces et moins ardues grâce à l'ordinateur. La technologie des ordinateurs contribuera directement au développement des systèmes de communications en permettant:

- (1) l'automatisation des centraux de commutation;
- (2) le contrôle par ordinateur de la répartition des moyens de communications disponibles;
- (3) la décentralisation de la commutation locale dans les endroits où les techniques actuelles sont coûteuses ou peu pratiques;
- (4) l'emmagasinage en série des signaux des mémoires installées aux points stratégiques des systèmes de communications.

4. TECHNIQUES OPTIQUES DE MISE EN MÉMOIRE

Introduction

Les progrès réalisés au cours des dernières années dans les techniques d'enregistrement optique et électro-optique ont permis la réalisation de structures nouvelles ou très améliorées de mémorisation des données sous un faible volume. Ces progrès permettent l'amélioration des mémoires optiques courantes telles

que la photographie et le microfilm, et elles concurrencent le quasi-monopole des disques et des bandes magnétiques dans le domaine des mémoires périphériques d'ordinateur.

a) Microfilm

(1) Imprimés d'ordinateur

Les systèmes à microfilm trouvent aujourd'hui de nouvelles applications comme dispositifs pour l'obtention rapide et silencieuse d'imprimés d'ordinateur. Ces systèmes peuvent donner des vitesses d'impression dix fois plus grandes que celles des imprimantes mécaniques. Ils peuvent imprimer 10,000 lignes de 132 caractères par minute. Ces systèmes sont actuellement disponibles dans le commerce. Ils remplaceront en partie les imprimantes mécaniques.

(2) Microfilm à très haute définition

Les progrès enregistrés dans la fabrication de films à grain très fin a rendu possible la microphotographie de microfilms. Cette technique a permis de réaliser ce qu'on pourrait appeler "l'ultra-microfiche". La technique permet aujourd'hui d'imprimer 3,200 pages de 8 1/2 X 11" sur un film plastifié de 4" x 6". L'importance de ces progrès est considérable quand on pense à l'énorme quantité de données qu'il est possible d'envoyer par la poste (pour seulement 8 cents au Canada). Deux entreprises américaines, Ford et Sears Roebuck, utilisent déjà la technique de "l'ultra-microfiche". L'utilisation plus répandue de "l'ultra-microfiche" dépendra de la réduction du prix des dispositifs optiques de lecture.

b) Holographie

L'holographie est une forme de photographie dans laquelle on n'utilise pas de lentilles. La densité des données mémorisées dépend par conséquent du pouvoir de résolution d'émulsions à grain très fin et non plus de la qualité des lentilles, comme dans le cas des dispositifs de photographie directe utilisés en microfilmage. Les mémoires holographiques disposent aussi d'un pouvoir séparateur sur l'échelle des gris. Cela permet de mettre en mémoire de l'information de grande qualité sur cette échelle (les microfilms ne renferment ordinairement que de l'information binaire en noir et blanc). En outre, l'indexation de l'information contenue dans le cas des mémoires holographiques n'est

pas aussi critique que dans les cas des mémoires à microfilm. On a proposé l'utilisation des mémoires holographiques dans les systèmes de vérification de la solvabilité. La production d'un laser peu coûteux (moins de \$100), qui est actuellement en cours d'étude, déterminera les possibilités d'exploitation de cette technique, qui sera probablement introduite sur le marché vers 1975.

Les mémoires holographiques ont aussi été proposées comme mémoires inaltérables d'ordinateur. On a atteint des densités de mémorisation d'environ 1.6 million de bits par pouce carré. Cela correspond approximativement à 1000 pages de texte alphanumérique de 8 1/2" x 11". Il n'est pas nécessaire que la mémoire soit sous forme d'une mince émulsion; elle peut se présenter en trois dimensions par la superposition des diverses couches. On pourrait alors emmagasiner 1000 hologrammes dans un cristal d'un centimètre cube. Des modèles expérimentaux ont été mis au point aux Etats-Unis, et ce genre de cristal est maintenant disponible.

c) Système d'enregistrement à faisceaux d'électrons

Les systèmes d'enregistrement à faisceaux d'électrons utilisant les techniques du microscope électronique à balayage peuvent servir à la mise en mémoire des données sur des surfaces photosensibles. On a déjà des densités de l'ordre de 3 millions de bits par pouce carré. On peut utiliser des systèmes optiques de lecture pour transférer les données de telles mémoires aux ordinateurs. Ces mémoires peuvent atteindre une densité dix fois supérieure à celle des systèmes à disque ou à bande magnétique.

Dans le cas de l'emmagasinement des données sous forme d'archives (durée d'emmagasinement de 100 ans ou plus), les matériaux photosensibles sont inacceptables en raison de leur détérioration possible. On peut dans ces cas obtenir un emmagasinement essentiellement permanent des données en perçant de petits trous sur des bandes métalliques à l'aide de faisceaux d'électrons ou de laser.

Toutes les techniques précitées sont bien connues actuellement, mais on n'en fera sans doute qu'un usage restreint au cours des années 70.

Répercussions sur les communications

De nombreuses applications nécessitent une grande diffusion de l'information contenue dans les mémoires dans un laps de temps de quelques jours. L'expédition par la poste à intervalles appropriés des supports de données pourrait être la méthode la plus économique de transfert de grandes quantités de données. Les catalogues et la vérification de la solvabilité sont des exemples de ces applications. Dans le premier cas, il n'y a aucun changement dans les méthodes classiques de communication de l'information par la poste. Dans le second cas, on ne sait pas encore si la vérification de la solvabilité serait plus économique par transmission bidirectionnelle directe entre les clients du système et les banques de données, ou par l'expédition des données à intervalles réguliers pour constituer des banques locales. Il est probable qu'on adoptera une combinaison des deux méthodes. Il est cependant tout à fait certain que la vérification de la solvabilité sera une des nouvelles formes les plus importantes de transmission des données.

Ce qui a été exposé ci-dessus pour la vérification de la solvabilité vaut également pour la transmission des imprimés d'ordinateur, des documents tirés d'archives, etc.

5. LASERS

Introduction

Il faut encore classer le laser parmi les réalisations récentes, en dépit du fait que le premier appareil exploitable ait été construit par Maiman en 1960. Le laser apporte en effet de trop grands changements aux communications civiles pour devenir exploitable à court terme. Bien que des recherches assez poussées aient été menées au cours de cette décennie, une grande partie des travaux qui conduisent à la réalisation de dispositifs peu chers reste à faire. A l'encontre de la technologie des hyperfréquences, les communications optiques ne s'appuient pas sur d'importants travaux effectués dans le passé. Il faut par conséquent s'attendre à des progrès relativement plus lents et plus coûteux. A mesure que la quantité de données à transmettre augmente, il est cependant très possible que les systèmes de communications optiques deviennent plus économiques pour la transmission de quantités plus considérables que tous les autres systèmes actuellement envisagés. Il semble probable cependant que les autres systèmes pourront satisfaire les besoins des communications interurbaines au cours des vingt prochaines années plus économiquement que les systèmes optiques. Il s'agit donc de savoir si à la fin de cette période les besoins de communications se seront accrus assez rapidement pour permettre aux systèmes optiques de venir compléter les autres systèmes à grande capacité.

Il est en fait impossible de prévoir ces besoins avec précision. Il serait plus pratique de se demander quelle serait l'utilité d'un système doté d'une très grande largeur de bande et de chercher ensuite les moyens les plus économiques de répondre aux besoins. De ce point de vue, les techniques de communications optiques devraient avoir une certaine importance au cours des vingt prochaines années et devenir très importantes au cours des vingt années suivantes.

Possibilités présentes et futures

a) Émetteurs

Il existe un certain nombre de types de laser pouvant éventuellement servir d'émetteurs. Parmi ces lasers, deux présentent des caractéristiques particulièrement intéressantes. Il s'agit du laser à semi-conducteurs (GaAs) et du laser au Nd YAg. A l'heure actuelle, le laser GaAs doit encore faire l'objet de perfectionnements importants pour atteindre la bande passante nécessaire dans des conditions d'exploitation faciles. On a réussi à moduler un rayon de laser au Nd YAg en MIC à 225 Mbits/sec. par voie. On peut prévoir avec certitude que cette vitesse sera doublée au cours des prochaines années.

b) Transmission

En raison de la mauvaise propagation des fréquences optiques dans l'atmosphère lorsque les conditions météorologiques sont défavorables (brouillard, neige et pluie), la transmission guidée est nécessaire pour assurer un fonctionnement sûr. Il existe deux genres de transmissions optiques particulièrement intéressants. L'un consiste en une conduite creuse équipée de lentilles de rectification à intervalles réguliers. Les pertes de ce système sont très faibles. On a fait des essais sur des liaisons d'un kilomètre de long. Une conduite de transmission de 50 milles de long et de six pouces de diamètre peut acheminer plusieurs centaines de voies. Il n'est donc pas exagéré de prévoir qu'une telle ligne de transmission pourra acheminer un million de Mbits par seconde dans cinq à dix ans. Les conduites doivent cependant être posées avec une grande précision et être dotées de dispositifs permettant de compenser les mouvements du sol. Le deuxième type de ligne de transmission optique est la fibre optique. Chaque fibre peut acheminer au moins 1,000 Mbits/sec. En raison de leur souplesse et de leur diamètre très faible, il est possible de grouper un très grand nombre de ces fibres. Ce type de ligne de transmission a cependant une forte atténuation. Toutefois, il semble possible de réduire ce taux à moins de 20 dB/km.

c) Récepteurs:

Ici l'élément limitatif fondamental est le détecteur optique. Actuellement, les possibilités de ce détecteur se limitent à 5000 Mbits par seconde dans la région visible du spectre. Cependant, il semble qu'on pourra porter cette vitesse à 10,000 Mbits par seconde au cours des prochaines années. Les récepteurs ne limiteront plus alors le rendement de la plupart des systèmes envisagés. De plus, grâce à de récents travaux sur les dispositifs optiques paramétriques pouvant servir d'oscillateurs locaux, on peut envisager l'utilisation de systèmes superhétérodynes.

Résumé

Les systèmes optiques ont un avenir très prometteur pour la transmission de données à très haute vitesse (10^{12} bits par seconde). D'après les chiffres actuels d'utilisation des communications, les besoins des vingt prochaines années pourront probablement être satisfaits plus économiquement par d'autres systèmes. Cependant dans le domaine social, les planificateurs soulignent de plus en plus fréquemment la nécessité de la mise en place généralisée de services tels que les bibliothèques centrales et les banques de données. Ces services permettraient à l'utilisateur de bénéficier de l'enseignement à domicile et de traiter une grande partie de ses affaires chez lui. Si ces vœux se concrétisaient, les systèmes de communications optiques pourraient être très utiles à cause de leur très grande largeur de bande.

En outre, l'étroitesse de leurs faisceaux et l'absence relative de brouillage rendent les systèmes optiques intéressants pour quelques applications spatiales telles que les communications de satellite à satellite.

6. TRANSMISSION

Transmission guidée

Il existe quatre supports principaux de transmission guidée: les câbles à paires torsadées, les câbles coaxiaux, les guides d'ondes millimétriques et le "conduit optique". Les caractéristiques de ces supports ne sont pas modifiées par les champs extérieurs. En outre, ils ne rayonnent pas de façon sensible. L'atténuation y est proportionnelle à la longueur du trajet de transmission. Les pertes dans les systèmes à câbles sont causées par l'effet Kelvin (effet de peau) et augmentent proportionnellement à la racine de la fréquence, tandis que les guides d'ondes et les "conduits optiques" ne dépendent pas sensiblement de la fréquence dans la bande où ils sont utilisés. Il existe deux types de conduits optiques particulièrement intéressants. L'un est constitué d'une fibre (d'un diamètre de

2 microns) revêtue d'un diélectrique (50 microns) qui forme un guide d'ondes optiques. L'autre est constituée d'une conduite creuse qui permet la transmission rectiligne libre d'un faisceau lumineux. L'installation doit être faite en surface ou sous terre. Selon le terrain, les frais varient considérablement. On peut réduire le prix de revient par voie en groupant un grand nombre de voies de transmission dans une seule installation matérielle. Certaines gaines contiennent ainsi 1100 paires ou plus et certains câbles coaxiaux 20 tubes.

Atténuation/mille		Largeur de bande
Câble bifilaire cal.22	26 dB à 1 MHz	Plusieurs MHz
Câble coaxial de 0.375"	41 dB à 100 MHz	Plusieurs centaines de MHz
Guide d'ondes en cuivre de 2", mode TE01	De 3 à 4.5 dB à 60 GHz	Environ 65 GHz
Fibre optique	Actuellement en- viron 160 dB Prévision : 32 dB	Environ 1 GHz
Conduite optique	Environ 1 dB (à cause des lentilles)	1000 GHz

On utilise les câbles bifilaires pour la transmission à faible capacité en fréquences phoniques (moins de 24 voies) et pour le visiophone. On utilise aussi des câbles bifilaires de fabrication spéciale à faible diaphonie pour la transmission des signaux de télévision. Au Canada, on utilise des câbles bifilaires en transmission numérique jusqu'à 1.5 mégabit par seconde. Dans d'autres pays, on installe actuellement de nouveaux systèmes à câbles bifilaires fonctionnant à 6 Mbits/sec. et des systèmes à câbles de construction spéciale fonctionnant à 16 Mbits/sec. Il existe toute une gamme de câbles bifilaires pouvant fonctionner à toutes les vitesses comprises entre le

débit ordinaire des paires torsadées et celui des câbles coaxiaux.

Au Canada, on utilise des câbles coaxiaux pour la transmission des signaux de télévision. On dispose de systèmes à 12 voies dont les répéteurs sont espacés d'un demi-mille, et de systèmes à 20 voies dont les répéteurs sont espacés d'un tiers de mille. Les liaisons à lignes métalliques de capacité moyenne (240 voies) entre les installations radioélectriques et les centres urbains sont courantes au Canada. La transmission analogique à grande distance et à capacité élevée par câble coaxial est courante dans de nombreux pays. Les systèmes les plus importants ont 3600 voies, un répéteur tous les 2 milles et coûtent \$2 le mille par voie. On projette la réalisation de systèmes analogiques qui pourraient acheminer 9600 voies. On envisage également des systèmes numériques de 100 mégabits/seconde utilisant des tubes de 0.174" et d'autres systèmes de 300 et 600 mégabits/seconde utilisant des tubes de 0.375". Les prix de revient sont comparables à ceux des systèmes analogiques. Dans les systèmes analogiques à grande capacité, il faut réduire l'espacement entre répéteurs et avoir des amplificateurs à linéarité parfaite, tandis que dans les systèmes numériques à grande capacité il faut des amplificateurs à large bande et des correcteurs de cheminement des câbles. Quoiqu'il dépende en partie de facteurs économiques, le choix entre un système numérique ou analogique est aussi fondé sur le genre de trafic (un système numérique est adaptable à la plupart des genres de trafic).

Il est maintenant techniquement possible de réaliser des systèmes à guides d'ondes millimétriques fonctionnant en mode TE₀₁ à faible atténuation. Au cours de la deuxième moitié des années 1970, on installera certainement des systèmes de ce genre aux Etats-Unis et au Japon. Dans un système typique, les signaux subissent une modulation numérique de phase; ils sont transmis à 300 Mbits/sec.; l'écart entre voies adjacentes est de 1 GHz et les répéteurs sont espacés de 15 à 25 milles. Le guide lui-même est un tube de cuivre cylindrique de 2" de diamètre. Il est revêtu intérieurement d'un diélectrique ou d'une spirale de fil isolé ou encore des deux. Une meilleure connaissance des revêtements diélectriques peut amener une diminution notable de l'atténuation. On envisage des capacités de 250,000 voies, qui pourront être augmentées grâce à l'amélioration des techniques de modulation et à la réduction des pertes et de la séparation des voies. Afin de réduire au minimum les réflexions et la conversion de mode, le guide doit faire l'objet d'une fabrication et d'une installation très soignées.

Pour la transmission par fibres optiques, il faudra mettre au point des fibres à faible atténuation et une source lumineuse à semi-conducteurs pouvant fonctionner à la température ambiante. Grâce à sa souplesse et à ses dimensions réduites, la fibre

optique est intéressante pour les applications à courte distance. On dispose déjà de détecteurs adéquats. A cause des nombreux problèmes techniques encore sans solution, la mise en service à grande échelle de ce type de support paraît douteuse au cours des années 1970.

La conduite optique assure aux concepteurs des systèmes de communications une grande latitude d'action en matière de multiplexage, qu'il soit spatial, temporel ou en fréquence. Cela est rendu possible par des lasers à impulsions très courtes (de l'ordre de la picoseconde), à faisceau très étroit (jusqu'à 600 faisceaux par conduite avec une définition adéquate) et de couleurs diverses. On envisage des capacités supérieures à 2,000,000 de voies avec des répéteurs espacés de 50 milles. La conduite proprement dite doit rester immobile pour la transmission du faisceau. Il faut donc en assurer la stabilité malgré les mouvements du sol ou courber le faisceau. En dépit de leur intérêt, il ne sera pas possible de mettre ces systèmes en service au cours des années 1970 à cause des incertitudes relatives à leur réalisation, leur rentabilité et leur fiabilité. Pendant les années 1980, des systèmes économiques seront cependant disponibles si on a besoin de capacités aussi élevées.

La transmission guidée offre plusieurs choix aux ingénieurs en communications. Les améliorations des dispositifs électroniques et à semi-conducteurs accéléreront la mise en exploitation de ces techniques. Le guide d'ondes optiques ainsi que d'autres guides doivent être améliorés.

Transmission par radio et par satellite

Introduction.

Dans l'avenir prévisible, il est improbable qu'on assiste à une évolution spectaculaire de la technologie fondamentale de la transmission radioélectrique. Cependant, les progrès de la technologie des circuits assureront sans aucun doute la production de matériel terminal plus économique, plus sûr et moins encombrant. Les besoins de transmission par radio sont en augmentation constante. Par ailleurs, les progrès de la technologie ajoutent sans cesse aux possibilités d'utilisation du spectre des fréquences. Il y a cependant une limite à la gamme totale de fréquences utilisables. Pour l'attribution des fréquences il existe également une forte concurrence de la part des autres usagers (radar, commande à distance, appareils d'étude et radioastronomie). Il faut donc concevoir des techniques qui réduiront au minimum les brouillages mutuels. Parmi ces techniques, on peut citer la répartition dans les temps des différentes transmissions, l'utilisation maximale des voies disponibles et le partage planifié des fréquences.

Techniques de transmission

Les techniques de transmission radioélectrique qu'on envisage pour l'avenir sont essentiellement celles qui existent actuellement.

a) Faisceaux hertziens

Au Canada, cette technique est à la base des systèmes actuels de communications à grande distance et à capacité élevée. Elle est aussi utilisée dans d'autres systèmes de moindre capacité. La plupart des faisceaux hertziens fonctionnent dans les bandes de fréquences de 4 à 6 GHz. Par exemple, une voie d'acheminement entièrement équipée pourrait transmettre 12,000 circuits téléphoniques sur une bande de 500 MHz dans la bande de 4 GHz. La plupart des voies d'acheminement sont actuellement exploitées en dessous de cette capacité. Dans les cinq à dix années à venir, ces voies d'acheminement seront portées à leur capacité maximale par l'adjonction d'émetteurs et de récepteurs radio. On poursuivra l'installation de nouvelles voies d'acheminement, particulièrement dans les endroits isolés.

Au delà cette période, l'utilisation des faisceaux hertziens pour ce genre de services dépendra de l'attribution de nouvelles bandes de fréquences entre 10 et 30 GHz. Les techniques de codage numérique et l'utilisation de bandes larges donneront des capacités de 30,000 circuits téléphoniques. Les techniques de signalisation numérique permettront aussi de plus grandes densités de signaux, et par suite une augmentation de la capacité. La possibilité de réalisation de ce genre de système ainsi que ses aptitudes à surmonter les problèmes d'atténuation par la pluie ont été démontrées. D'ici cinq à quinze ans, ce système demeurera intéressant du point de vue économique par rapport aux systèmes de transmission par câbles, guides d'ondes et satellites.

b) Satellites-relais

Les satellites de communications actuels sont placés sur des orbites géostationnaires. Ils sont dotés d'antennes orientées vers la terre. On peut envisager des progrès continus en matière de mise en orbite de puissants satellites équipés d'antennes fixes ou orientables à faisceau étroit.

On utilise communément les satellites de communications pour l'acheminement intercontinental des signaux de télévision et de téléphone. On se propose de les utiliser aussi pour les communications au Canada. Entre 1970 et 1989, les satellites-relais pourront assurer des services spécialisés en plus des services de téléphone et de télévision qu'on peut envisager pour l'avenir immédiat. Ces services sont les suivants:

- (i) Communications directes entre les points d'une zone géographique, supprimant le détournement par des points nodaux terrestres.
- (ii) Attribution sur demande de circuits entre terminaux terrestres pour parer aux changements des besoins de voies et de destination du trafic.
- (iii) Transmission vers des points centraux de données fournies par divers détecteurs répartis sur une grande superficie, à des fins géologiques, météorologiques, etc.

Les services que peuvent fournir les satellites de communications sont limités par la largeur de bande qui leur est attribuée et par le nombre restreint de positions orbitales géostationnaires. Si, par exemple, un arc d'orbite de 10° est visible de tous les points terminaux d'une région donnée, et qu'on utilise des antennes de 40 pieds de diamètre fonctionnant à 4000 MHz, on peut placer sur cet arc six satellites espacés de 1.6° . Avec les systèmes de modulation actuels, il serait alors possible d'obtenir une capacité totale de 128,000 voies téléphoniques sur une bande de 500 MHz. Avec les techniques avancées de modulation, on pourrait multiplier cette capacité par quatre ou cinq. Toutefois, pour ce service, les attributions de fréquences sont restreintes. Il faudra donc recourir à des systèmes terrestres pour obtenir de plus grandes capacités.

c) Diffusion troposphérique

On utilise essentiellement cette technique pour les communications à faible capacité (120 voies téléphoniques) à destination des régions isolées. Elle ne peut pas assurer l'acheminement des signaux de télévision. Il est possible que l'on continue à l'utiliser dans des régions particulières. Cependant, à cause du prix de revient élevé des terminaux et des problèmes d'entretien, on remplacera la plupart des circuits existants par d'autres installations, probablement du type des satellites-relais.

d) Radio mobile

La radio mobile pour les communications urbaines (police, pompiers, taxis et services commerciaux) continuera à se développer en créant un besoin pressant de nouvelles attributions de fréquences. L'amélioration des circuits électroniques, les techniques numériques et le partage du temps sur le spectre assureront un meilleur service et une utilisation plus efficace du spectre. Il est cependant probable que la demande de service dépassera les possibilités techniques.

e) Radio haute fréquence

On utilise essentiellement cette technique pour les communications à très faible capacité (une voie téléphonique) à destination des régions isolées ou entre terminaux mobiles. Elle ne peut donner ni des vitesses élevées de transmission des données ni des taux d'erreurs très bas. Cependant, elle permet l'utilisation de postes terminaux portatifs et peu coûteux.

f) Radio individuelle

La radio individuelle comprend les dispositifs de téléappel et les appareils de communications bidirectionnelles. A la fin des années 1970, l'utilisation de cette technique se développera considérablement. Par la suite, on pourra peut-être mettre en service des émetteurs-récepteurs téléphoniques individuels reliés, dans une certaine mesure, au système central de commutation. Les problèmes d'encombrement du spectre des fréquences limiteront probablement l'usage de ces appareils aux zones ou aux institutions dans lesquelles une protection électromagnétique peut diminuer le brouillage interne. Les techniques actuelles de miniaturisation, d'appel sélectif et de modulation temporelle rendraient possible le développement de ce service d'ici 5 à 10 ans.

7. DISPOSITIFS D'ENTRÉE-SORTIE

Introduction

Les dispositifs d'entrée-sortie sont la partie d'un système de communications avec laquelle l'utilisateur est en contact direct. Par conséquent, le succès de l'implantation des dispositifs terminaux dépend dans une large mesure des facteurs sociologiques et économiques qui influencent les demandes de l'utilisateur. Ces prévisions étant principalement basées sur des considérations technologiques, on ne peut qu'énumérer les réalisations possibles qui permettraient de satisfaire ces demandes.

Orientations

Dispositifs d'affichage

A l'heure actuelle, les tubes à rayons cathodiques occupent une place dominante dans l'affichage visuel et alphanumérique à caractères multiples. Pour l'affichage des données à seulement quelques caractères, les tubes à gaz ionisé et luminescents, comme les tubes Nixie, sont les plus couramment utilisés. Les diodes à émission lumineuse et les tableaux à plasma gazeux sont toutefois des concurrents sérieux. Les dispositifs à cristal liquide, à panneau électroluminescent et magnéto-optiques sont encore à l'étude en laboratoire.

A l'encontre des dispositifs d'affichage à semi-conducteurs, les tubes à rayons cathodiques sont limités quant à la luminosité, la fiabilité et la robustesse. En outre, leur tension et leur puissance de fonctionnement sont incompatibles avec les dispositifs au silicium. Les limitations actuelles imposées par le prix de revient et l'encombrement des dispositifs d'affichage à semi-conducteurs, comme le dispositif à émission lumineuse, ne sont pas inhérentes à ces appareils et peuvent être surmontées par des progrès ultérieurs.

Bien que l'affichage cathodique soit appelé à se développer dans l'avenir immédiat, il sera remplacé dans une grande mesure par des dispositifs d'affichage des données à semi-conducteurs d'ici la fin de cette décennie. On ne pense pas mettre au point avant 10 ou 15 ans de dispositifs à semi-conducteurs pouvant donner des images demi-teinte, en couleur, à haute définition et de grandes dimensions.

Dispositifs de reproduction en clair

A mesure que se répandent la transmission, la mémorisation et le recouvrement des données, le texte imprimé perd de son importance en tant que moyen de transfert et d'emmagasinage de l'information. A court terme cependant, la génération la plus récente de dispositifs d'impression alphanumérique est caractérisée par un nombre moindre de pièces mécaniques, des vitesses plus grandes et un bruit moins élevé. Parmi les concurrents des dispositifs d'impression à percussion, il faut noter les techniques électrostatiques de migration du carbone et les appareils à jet d'encre. Ces deux méthodes peuvent assurer la reproduction graphique et alphanumérique.

Lecture des caractères

Les remarques faites ci-dessus sur les textes imprimés sont également valables ici. Il se peut qu'à l'avenir les lecteurs automatiques ne soient plus nécessaires.

Les dispositifs optiques actuels de lecture des caractères peuvent lire plusieurs milliers de caractères à la seconde avec un taux d'erreur de 0.01%. Ils sont conçus de manière à reconnaître soit un petit nombre de caractères de plusieurs types, soit tous les caractères d'un seul type (en général le type OCR-A). Leur prix de revient élevé ne justifie leur emploi que lorsqu'il faut lire des quantités très importantes de données.

Reconnaissance de la parole

Les recherches actuelles sont essentiellement orientées vers l'identification et la séparation des caractéristiques fondamentales de la parole qui peuvent être catégorisées. Il

existe plusieurs méthodes qui diffèrent par les types d'éléments dans lesquels la parole est fragmentée et par les appareils employés pour l'identification de ces éléments. En général, on peut améliorer la vitesse de lecture en appliquant à la fragmentation initiale des caractéristiques linguistiques telles que les associations probables de phonèmes. Dans toute réalisation pratique, il faudra que la machine répète chaque mot à des fins de vérification. La disponibilité de filtres actifs à circuits intégrés et d'ensembles de traitement économiques permettent d'accélérer les travaux de recherche.

Systèmes d'exploration des images

On procède actuellement à la mise au point de dispositifs d'exploration des images à autobalayage à semi-conducteurs. Par rapport aux systèmes actuels à lampes, ils offrent plusieurs avantages: encombrement réduit, fiabilité, faible tension de fonctionnement et diminution possible du prix de revient grâce aux circuits intégrés. Des dispositifs expérimentaux au silicium monolithique et à couches minces ont été construits; toutefois la conception de systèmes d'exploration à semi-conducteurs qui pourraient remplacer les tubes de caméras de télévision ne sera réalisée que d'ici cinq à dix ans.

Transducteurs acoustiques et piézoélectriques

L'émetteur au carbone (microphone) du combiné téléphonique commencera à être remplacé par le microphone à électret muni d'un amplificateur à semi-conducteurs au début des années 1970. L'électret est une pellicule isolante pouvant être polarisée électriquement de façon analogue à la magnétisation d'un aimant permanent. Cet appareil présente une distorsion moins importante des signaux sonores d'entrée. En outre, il fonctionne avec un courant de circuit bouclé plus faible que celui actuellement nécessaire.

Vers 1975, des dispositifs piézoélectriques à semi-conducteurs commenceront à remplacer dans certains cas les contacts mécaniques des claviers.

8. SOURCES D'ALIMENTATION

Introduction

Dans les prévisions concernant l'orientation des sources d'alimentation électrique au cours des vingt prochaines années, il faut prendre en considération trois catégories fondamentales: (a) les centrales électriques, b) les systèmes d'alimentation mobiles, c) les systèmes à piles (anaérobies). Le temps nécessaire à la découverte, à la mise au point et à la fabrication d'une nouvelle source d'alimentation dépasse normalement vingt ans. La mise en service de dispositifs à semi-

conducteurs ayant des besoins moindres d'énergie n'a fait que ralentir l'accroissement continu de la consommation d'énergie des communications, accroissement dû principalement à l'augmentation du trafic.

En général, les frais bruts d'énergie d'un système alimenté par une compagnie d'électricité ne constituent qu'une part infime des dépenses globales d'installation et d'exploitation. Le contraire est souvent vrai en ce qui concerne les stations terriennes isolées et les divers systèmes mobiles, en particulier ceux qui se trouvent dans l'espace ou dans les profondeurs sous-marines où l'oxygène atmosphérique est absent. Afin d'éviter les erreurs coûteuses, on conseille fortement aux concepteurs de systèmes de tenir compte dès le début des sources d'alimentation.

Centrales électriques

Au cours des vingt prochaines années, il est peu probable que les centrales électriques changent notablement. Elles continueront à faire usage de l'énergie hydraulique, du pétrole et des combustibles nucléaires. Elles desserviront des réseaux de distribution qui alimenteront les grandes installations fixes de communications. D'après les renseignements obtenus d'un réseau régional caractéristique, on estime que les besoins d'énergie fournie par les centrales électriques pour les communications seront au moins doublés d'ici 1990.

Les systèmes d'alimentation mobiles

Le petit matériel mobile est habituellement alimenté par des accumulateurs ou de petites génératrices mues par des moteurs à essence. Dernièrement, l'apparition de petits groupes électrogènes (délivrant jusqu'à 1 kW) a conduit un chercheur à envisager le concept de mise au rebut après usage. Il pourrait en effet s'avérer plus économique de remplacer l'appareil entier que d'emmagasiner des pièces de rechange et d'effectuer des révisions générales périodiques.

La lutte actuelle contre la pollution a accéléré les recherches sur la turbine à gaz, sur les moteurs rotatifs, les moteurs Stirling et Rankine et sur les méthodes de réduction de la quantité de matières nocives dans les gaz d'échappement des moteurs classiques (combustion interne, diésel, etc.). Par rapport aux moteurs à combustion interne et à injection et compression, les moteurs rotatifs, Rankine, Stirling et à turbine présentent l'avantage d'une plus grande puissance par rapport au poids. Au cours des années 1970, à mesure que les méthodes de fabrication s'amélioreront, on s'attend à une baisse très sensible du prix des petits moteurs à turbine. On connaît bien la compétence de l'industrie canadienne dans le domaine des petites turbines. D'ici 1990, les autres moteurs à combustibles multiples peuvent gagner une part importante du marché canadien

de l'équipement. Il faut encourager fortement le développement des compétences canadiennes dans ce domaine.

Comme source silencieuse d'alimentation continue, on dispose actuellement du générateur thermo-électrique, appareil à longue durée d'utilisation délivrant une puissance relativement faible et pouvant fonctionner en brûlant une multitude de combustibles de basse qualité. Sa fiabilité est excellente malgré son rendement global assez faible. Dans l'attente d'une meilleure solution, il continuera à répondre à certains besoins précis.

Systèmes à accumulateurs

Au cours des années 1960, alors que se poursuivait l'étude des piles à combustible dans le cadre des programmes spatiaux Gemini et Apollo, le prix de revient unitaire de ces dispositifs a progressivement baissé en même temps que leur fiabilité s'améliorait. A cause de son fonctionnement silencieux, la pile à combustible est très intéressante. Elle l'est encore plus si on l'associe à un système secondaire d'accumulateurs. Sa souplesse accrue lui permet alors de satisfaire les différents niveaux de puissance nécessaires à l'émission-réception, surtout dans les grands ensembles.

On peut s'attendre à des progrès réguliers, quoiqu'on n'envisage pas de réalisations spectaculaires comparables aux réussites techniques des années 1960. Il se peut que le système air-hydrocarbure soit choisi pour alimenter un dispositif mobile de communications projeté pour la fin des années 1970. Il devrait en apparaître d'autres avant 1990. Au Canada, des recherches sont en cours; il est possible qu'elles accélèrent la mise en service d'accumulateurs à combustible liquide dans le matériel canadien de communications. Il faudrait toutefois développer ces recherches et modifier leur orientation. La pile air-métal à rendement élevé est un dérivé de la pile à combustible. Cette pile, qui peut être rechargée mécaniquement, pourrait s'avérer très utile dans les petits ensembles portatifs. Une entreprise canadienne effectue actuellement des travaux de recherche et de mise au point sur les systèmes air-zinc.

Selon des indications récentes, les besoins d'énergie des satellites seront multipliés par vingt par rapport à ceux d'ISIS B d'ici 1980. Il est possible que cette tendance persiste au cours de la décennie suivante. Le soleil restera probablement la source principale d'énergie. Des panneaux de piles solaires assureront la conversion de cette énergie. Le régime d'emmagasinage de l'énergie dépend de la taille des panneaux et de l'efficacité des convertisseurs. Pour satisfaire les besoins d'énergie des satellites futurs au cours des éclipses solaires, il est essentiel que soient utilisés plus efficacement les accumulateurs des engins spatiaux. On peut obtenir un meilleur rendement du système au cadmium-nickel grâce à un dispositif

approprié de contrôle de charge. L'accumulateur rechargeable au H_2O_2 , qu'on attend pour 1975, permettra des densités plus élevées de puissance et d'énergie. En ce qui concerne l'utilisation spatiale du générateur thermo-électrique à isotopes radioactifs, les risques de pollution radioactive et le prix posent encore des problèmes irrésolus. Pour la prochaine génération de satellites au moins, on utilisera encore les accumulateurs au cadmium-nickel et les piles solaires en les équipant d'un système de contrôle de charge pour tirer le meilleur parti possible des accumulateurs.

Dans les applications terrestres, on estime que les dispositifs classiques à piles et à accumulateurs au plomb, Leclanché et au zinc-mercure continueront à satisfaire la plupart des besoins. Lorsque les avantages pourront compenser le prix plus élevé, il ne fait pas de doute que les piles alcalines au manganèse, de capacité plus importante, et les piles au magnésium, de durée utile d'emmagasinage plus grande, feront des progrès. L'amélioration de la structure des systèmes de réserve permet d'espérer la réduction des stocks nécessaires et un rendement meilleur, surtout dans les régions isolées où les transports sont coûteux et peu réguliers.

On espère obtenir des densités d'énergie de cinq à dix fois plus grandes grâce à l'utilisation de produits chimiques actifs dans des électrolytes non aqueux. On pense disposer de prototypes de ce genre avant 1980.

La découverte d'un nouveau sel de rubidium d'argent et d'iode, doté d'une structure moléculaire étalée et d'une excellente conduction ionique, permet d'envisager la possibilité de circuits intégrés auto-alimentés. On a mis au point des accumulateurs à semi-conducteurs utilisant cet électrolyte. Il sera donc possible d'incorporer ce genre d'accumulateur dans les circuits intégrés. Une entreprise canadienne devrait bientôt entreprendre des recherches en vue de la production en série de ces accumulateurs.

La Figure B2 indique les sources d'alimentation prévues en fonction du niveau de puissance et de la durée de service. Les flèches montrent la direction des recherches dans l'ordre chronologique.

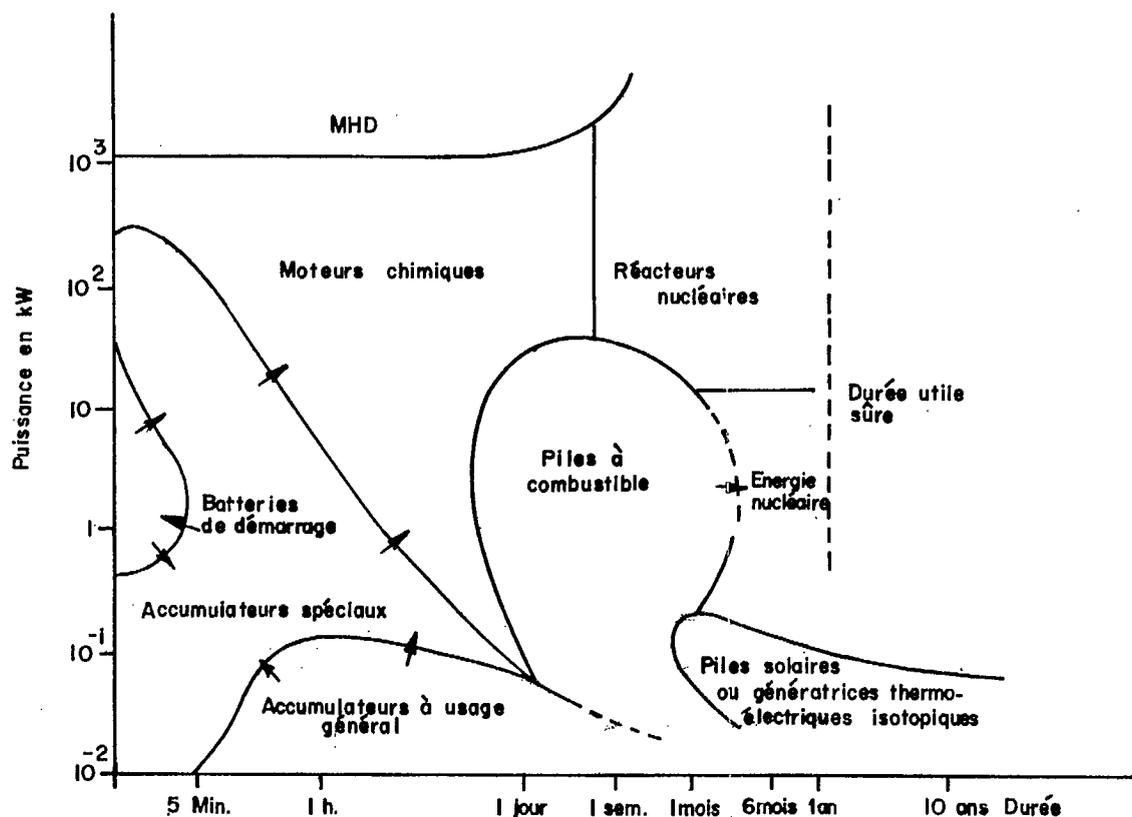


Fig. B2 Utilisation des sources d'énergie électrique

9. FILTRAGE ANALOGIQUE ET NUMÉRIQUE

Introduction

La plupart des fonctions de filtrage et de modelage des fréquences sont actuellement assurées par des circuits passifs RLC. La base mathématique de la synthèse des circuits LC était solidement établie et presque totalement automatisée dès le début des années 1960. Les techniques de synthèse donnent des solutions optimales en circuits LC. Il n'existe pas de solution générale pour les circuits à dissipation RLC, mais on fait un usage abondant des techniques de recherche de performances optimales par ordinateur.

On utilise les techniques des circuits passifs comme critères de comparaison des nouveaux procédés. On n'a cependant pas encore trouvé d'élément de remplacement généralisé des circuits RLC. Les techniques nouvelles s'avèrent supérieures dans les

applications particulières. Les filtres actifs, par exemple, offrent un rendement nettement supérieur aux basses fréquences.

La tendance à l'intégration à moyenne et grande échelle des circuits numériques favorisera le développement des filtres numériques.

La transmission des informations en modulation par impulsions codées nécessitera l'application du filtrage temporel.

Techniques de filtrage

a) Circuits passifs RLC

Les méthodes de conception des circuits LC sans pertes sont fondées sur des solutions analytiques exactes mises au point au cours des vingt dernières années. Grâce à ces techniques, le nombre de composants est réduit au minimum.

L'objectif habituel de ces méthodes est l'obtention approximative d'une certaine courbe amplitude-fréquence. La correction du retard se calcule couramment à l'aide des algorithmes numériques d'approximation.

Les méthodes de conception des circuits RLC couvrent par conséquent presque tous les problèmes pratiques envisagés. On peut fabriquer ces circuits à l'aide des selfs, condensateurs et résistances actuellement disponibles.

On utilise généralement des composants discrets pour la fabrication des circuits RLC. Cette technique sera encore utilisée pendant de nombreuses années parce qu'il faut bobiner séparément les selfs. Cet état de choses favorisera le remplacement des circuits RLC par des filtres actifs ou numériques lorsque cela sera rentable.

En dessous de 20 MHz, on fabrique les selfs en plaçant un fil bobiné sur un noyau de ferrite à haute perméabilité. Le prix d'une self varie entre deux et trois dollars. On stabilise thermiquement ce composant en pratiquant des fentes dans le noyau en ferrite. En gamme VHF, on bobine les selfs sur un gabarit en utilisant un noyau plongeur d'accord en ferrite pour permettre la variation de l'inductance.

Les ferrites feront l'objet d'améliorations au cours des vingt prochaines années. On ne s'attend cependant à aucune réalisation spectaculaire dans ce domaine.

On fait un usage abondant des condensateurs au polystyrène et au mica pour un filtrage très précis. On ne s'attend qu'à des améliorations mineures de l'encombrement et du rendement de ces

composants. Le condensateur ayant une tolérance de 1% coûte habituellement environ quarante cents.

Au cours des dernières années, des condensateurs stables en céramique sont apparus sur le marché. Pour un rendement analogue, leurs dimensions sont beaucoup moins importantes que celles des condensateurs au polystyrène et au mica. On prévoit que ce type de condensateur aura un prix de revient concurrentiel dans les cinq années à venir.

En résumé, les circuits passifs RLC continueront à occuper une place importante au cours des vingt prochaines années. Toutefois, leur part de la production globale des filtres diminuera considérablement au cours de cette période. Leurs limitations, et cela est plus important, ne détermineront plus la conception des systèmes au même point que par le passé.

b) Circuits actifs et répartis

La mise au point d'amplificateurs opérationnels peu coûteux (prix inférieur à 1 dollar) utilisés avec des résistances et des condensateurs à couches minces ou épaisses favorise le filtre actif dans la gamme des basses fréquences. Les facteurs économiques imposent généralement 20 KHz comme limite supérieure de cette gamme.

Les techniques de réalisation des filtres actifs sont solidement établies. On a attaché beaucoup d'importance aux méthodes de réduction à des niveaux acceptables de la sensibilité aux variations des composants. La plupart des résistances et des condensateurs utilisés dans les filtres actifs doivent avoir des tolérances inférieures à 1%. Dans des cas extrêmes, on peut avoir besoin de tolérances de 0.05%. Cette condition élimine les filtres actifs au silicium complètement intégrés. On atteint facilement ce niveau de précision grâce à la technologie des couches minces ou épaisses hybrides. On peut choisir les techniques de conception s'adaptant au procédé choisi.

On peut utiliser la technologie des couches minces pour la fabrication des circuits à résistance et capacité réparties. Cette technique n'a cependant eu jusqu'à présent que des applications limitées.

Orientations futures

Les applications des filtres actifs se développeront à mesure que des amplificateurs opérationnels économiques dotés d'un meilleur produit gain par bande passante seront mis au point. D'ici quelques années, les filtres actifs seront concurrentiels jusqu'à 100 kHz et exploitables jusqu'à quelques MHz. La fabrication

des filtres sera de plus en plus automatisée et on fera en outre un usage intensif des circuits à couches minces et épaisses. On accordera les filtres au moyen d'un dispositif automatique de réglage résistif.

Les limitations inhérentes aux filtres actifs, comme leur consommation d'énergie, leur linéarité et leur réponse dynamique restreinte, empêcheront la substitution intégrale des filtres actifs aux filtres passifs.

L'utilisation de blocs fonctionnels hybrides normalisés avec les amplificateurs opérationnels se généralisera et réduira les difficultés de mise au point.

On préférera l'utilisation des filtres actifs dans les applications particulières comme les communications spatiales, le filtrage d'alimentation et le traitement des signaux.

On pourra également réduire la consommation d'énergie des filtres actifs grâce à une meilleure conception des systèmes et à l'amélioration des amplificateurs opérationnels.

A l'avenir, on fera un plus grand usage des circuits à constantes réparties dans les amplificateurs opérationnels à large bande.

c) Filtres piézoélectriques

La plupart des réalisations actuelles à bande étroite utilisent un pont économique équipé de transformateurs et d'éléments discrets à cristaux. On utilise aussi des résonateurs à cristal pour obtenir des filtres en échelle à coupure nette. Dans la bande de 3 à 30 MHz, le filtre monolithique se généralise dans les systèmes à bande étroite. Le prix courant d'un filtre bipolaire est d'environ 25 dollars.

Orientations futures

Dans la gamme de 2 à 60 MHz, la technologie monolithique permettra pratiquement de répondre à tous les besoins de filtres à bande passante étroite. Dans les cinq prochaines années, les perfectionnements apportés à la production permettront la réalisation de filtres économiques stables à bande latérale unique pour les groupes de voies MPF.

La technologie des cristaux se perfectionnera surtout grâce à de meilleures méthodes de production et de contrôle.

Pendant de nombreuses années, on aura encore besoin de filtres piézoélectriques éliminateurs de bande et de filtres passe-bande en échelle. Toutefois, l'implantation des systèmes de transmission numérique réduira les besoins de filtres piézoélectriques d'arrêt et à sélection par tonalité.

d) Filtrés numériques.

On n'utilise actuellement que très peu de filtres numériques dans les systèmes de communications. On en trouve quelques applications dans le traitement des données et des signaux.

Orientations futures

L'intégration à grande échelle des dispositifs de traitement numérique, comme les mémoires, les registres à décalage, les additionneuses et les multiplicatrices, permettra l'utilisation économique des filtres numériques dans les systèmes de communications. On dispose déjà en circuits intégrés à grande échelle de mémoires inaltérables MOS ayant une capacité de 4,096 bits par micro-plaquette d'un prix d'environ 2 cents per bit. Les registres à décalage MOS reviennent actuellement à 5 cents le bit.

Les ensembles arithmétiques comprenant des additionneurs à 12 bits et des multiplicateurs à 7 bits constitueront les blocs fonctionnels typiques des filtres numériques. Il faudra aussi mettre au point des convertisseurs analogiques-numériques et numériques-analogiques intégrés ou hybrides. Grâce à la modulation Delta, on peut obtenir la conversion analogique-numérique et numérique-analogique voulue avec un minimum de composants analogiques.

D'ici cinq ans, on devrait pouvoir disposer de tous les éléments nécessaires à la réalisation de systèmes économiques de communications équipés de filtres numériques. A cause de la vitesse restreinte des dispositifs MOS peu coûteux, la gamme basse fréquence (moins de 100 kHz) du filtrage numérique est suffisante. Par conséquent, pour des raisons de rentabilité, on devra équiper

certaines systèmes en même temps de filtres LC et de filtres numériques.

e) Filtres spéciaux

(i) Filtres mécaniques et en céramique

On utilise ces types de filtres pour les applications à bande passante étroite, entre 40 et 600 kHz. Le filtrage est réalisé par résonance mécanique stable.

Orientations futures

Les paramètres équivalents d'inductance et de capacité étant plus difficilement contrôlables que la fréquence de résonance, ces filtres ont des applications limitées. On continuera probablement à les utiliser dans certains cas particuliers. Par exemple, on se servira encore de filtres en céramique peu coûteux pour le filtrage en fréquence intermédiaire dans les appareils radiophoniques ménagers.

(ii) Filtres micro-ondes

Les composants disponibles limitent le rendement des filtres micro-ondes actuels. On utilise des combinaisons de cavités résonantes et de résonateurs demi-onde ou quart d'onde. Dans la pratique, on emploie des guides d'ondes et des lignes passe-bande et micro-bande. Les coûteux guides d'ondes usinés sont nécessaires dans les systèmes à faible atténuation.

Orientations futures

La mise au point de bons transistors hyperfréquence permettra l'utilisation à grande échelle de filtres actifs micro-bande à gain. La taille des filtres diminuera grâce à des méthodes simples de fabrication. Ces nouveaux composants permettront d'obtenir des largeurs de bande plus importantes.

(iii) Filtres transversaux ou filtres à lignes à retard à prises

On peut égaliser les systèmes de transmission numériques grâce à des filtres correcteurs transversaux. On peut adapter ces systèmes aux voies à variation dans le temps.

L'adaptation des voies téléphoniques à la transmission à 9,600 bits à la seconde constitue une application commerciale courante de ce type de filtre.

Orientations futures

Le filtre acoustique à ondes de surface permettra la réalisation de compensateurs transversaux peu coûteux pouvant fonctionner jusqu'à environ 100 MHz. De nouveaux amplificateurs opérationnels économiques à large bande appuieront aussi cette tendance parce que les prises requièrent isolation et sommation.

Répercussions sur la conception des systèmes

La disponibilité de filtres numériques peu coûteux va changer la conception des systèmes. Les anciens systèmes de communications, et particulièrement l'équipement MPF, étaient conçus en fonction du rendement connu des filtres LC. De même, les systèmes futurs dépendront des filtres numériques.

On peut aussi utiliser les filtres monolithiques piézoélectriques dans la conception des groupe de voies MPF. Ici encore, il faudra modifier la conception des systèmes pour tirer parti des caractéristiques du filtrage monolithique.

La conception des systèmes dépendra également dans une certaine mesure des propriétés des filtres actifs.

Aux basses fréquences, le rendement des filtres actifs est largement supérieur à celui des filtres passifs. Dans la conception des systèmes, il faudra cependant tenir compte de la bande de fréquence limitée des dispositifs actifs. Dans un système à filtrage actif, amplificateurs et filtres tendront à se confondre.

Les systèmes optimaux futurs tireront parti des meilleures caractéristiques de tous les types de filtres. On peut donc prévoir l'utilisation de combinaisons diverses de filtres, même à l'intérieur d'une même catégorie de systèmes.

10. AUTRES RÉALISATIONS DÉCOULANT DES SCIENCES PHYSIQUES

Introduction

Nous étudions ici tous les sujets extérieurs aux parties précédentes 1 à 9. Nous avons éliminé certains sujets parce que nous avons pensé qu'ils n'apporteraient rien aux communications dans un avenir prévisible. A titre d'information, nous énumérons ces sujets: les matériaux à haute résistance, la technologie des fluides, les mémoires biochimiques et la perception extra-sensorielle. Trois sujets ont été examinés en détail; nos conclusions sont résumées ci-dessous.

Acoustique des hyperfréquences

Nous traitons ici de la propagation des ondes acoustiques à la surface des solides à des fréquences de 10^8 Hz. Dans ce domaine, on fait un grand usage des matériaux piézoélectriques parce qu'on peut facilement utiliser des électrodes évaporées sur leur surface comme générateurs ou récepteurs d'ondes de surface. Ces ondes de surface (ondes de Rayleigh) ne se dispersent pas. Elles ont une longueur d'onde caractéristique de 3 microns (3×10^{-4} cm) à la fréquence de 1 GHz. Les pertes par propagation sont de l'ordre de 0.5 à 1 dB à la microseconde à 1 GHz. Elles augmentent en fonction du carré de la fréquence.

A cause de la petite longueur d'onde, on peut utiliser en acoustique des hyperfréquences une technologie analogue à celle des circuits intégrés et des micro-bandes. Les transducteurs d'émission et de réception sont généralement des électrodes interdigitées évaporées sur la surface du solide à des intervalles d'une demi-longueur d'onde. On peut utiliser la charge massique pour canaliser les ondes de surface. En utilisant des semi-conducteurs, en masse ou en contact avec un matériau piézoélectrique, on peut obtenir une amplification par l'interaction des ondes de surface et des ondes porteuses.

Les applications possibles de ces dispositifs acoustiques comprennent les lignes à retard, les systèmes de couplage, les filtres passe-bande ainsi que des dispositifs de concentration semblables aux lentilles optiques. Ce domaine devrait progresser rapidement dans les cinq prochaines années, grâce au développement des techniques d'évaporation et de photolithographie qui permettront d'obtenir la précision et la définition de la structure de surface des couches métalliques permettant de contrôler les ondes.

Matériaux amorphes

Comparés aux matériaux cristallins actuellement utilisés dans les dispositifs à semi-conducteurs, les matériaux amorphes présentent plusieurs avantages. La fabrication de ces matériaux est peu coûteuse. Ils sont dotés d'une grande robustesse mécanique. On peut les couler, les refouler, les évaporer, les peindre, etc. pour leur donner une grande variété de formes. Les dispositifs constitués de ces matériaux peuvent aussi vraisemblablement résister au rayonnement.

Dans les systèmes téléphoniques, les matériaux amorphes pourraient entrer dans la fabrication d'une catégorie importante de dispositifs de protection des semi-conducteurs contre les pointes de surtension causées par exemple par la foudre. Dans les systèmes téléphoniques, les composants à semi-conducteurs qui remplacent actuellement les relais doivent être mieux protégés contre de telles surtensions. Les dispositifs à matériaux

amorphes, qui peuvent être électriquement symétriques et avoir une faible capacité, joueront probablement un rôle important dans cette application.

Les matériaux amorphes s'avèrent également prometteurs dans le domaine des mémoires; ils ne perdraient pas d'information en cas de panne de courant. Les limitations de taille de ces mémoires seraient probablement dues à l'espace nécessaire pour le câblage d'accès plutôt qu'au matériau lui-même.

Pour le moment, les spectres énergétiques électroniques et les mécanismes de déplacement des électrons de ces solides de structure désordonnée ne sont connus qu'en partie. A cause de cela et du grand nombre de composés nouveaux qu'il serait possible de fabriquer, on peut raisonnablement espérer découvrir dans les prochaines années des effets nouveaux, des dispositifs à vitesse plus élevée et des matériaux à plus grande mobilité. Il ne faut cependant pas oublier que le prix de production de ces matériaux devra être très bas s'ils doivent concurrencer la technologie actuellement très efficace des dispositifs au silicium.

Nouveaux supraconducteurs

La résistance électrique d'un supraconducteur est nulle quand on le refroidit au-dessous de sa température de transition. A l'heure actuelle, tous les supraconducteurs ont des températures de transition inférieures au point d'ébullition de l'azote liquide (-196° Celsius ou 77° Kelvin). Si on parvient à découvrir un supraconducteur nouveau ayant une température de transition supérieure à 77° Kelvin, les frais de réfrigération du matériau seront alors fortement diminués. On pourra ensuite passer aux applications à grande échelle des supraconducteurs. Un supraconducteur de ce type s'avérerait très utile pour la réduction des pertes dans les applications électriques où un refroidissement convenable peut être économiquement assuré. Les théories actuelles de la supraconduction ne permettant pas de déterminer les températures de transition des supraconducteurs connus, la découverte de nouveaux matériaux ayant des températures critiques considérablement plus élevées appartient au hasard. Bien que les alliages métalliques constituent la base de la technologie actuelle de la supraconduction, il existe une possibilité théorique de découvrir de nouveaux matériaux parmi les oxydes métalliques de transition. Si cette possibilité existe, elle devrait se matérialiser dans les cinq prochaines années. L'application éventuelle des supraconducteurs à la transmission nécessitera des progrès considérables et une comparaison précise du coût de la réfrigération nécessaire par rapport aux avantages engendrés par la suppression des amplificateurs.

LES COMMUNICATIONS DANS LES MÉNAGES*Radiodiffusion: Production des émissions, distribution
et diffusion des émissions éducatives et récréativesTABLE DES MATIÈRES

Introduction

Radiodiffusion

Systèmes de câblodiffusion

Terminaux domestiques

Le réseau de distribution des sociétés exploitantes

Le radiodiffuseur: production des émissions

*Auteurs: M.J. Midezinski, Conseil de la radio-télévision
canadienne
M.S.F. Quinn, Société Radio-Canada

1. INTRODUCTION

1.1 Définitions

La radiodiffusion est une méthode de communications utilisant le support des ondes hertziennes en propagation libre (c'est-à-dire non guidée).¹ En général, le mot radiodiffusion est employé au sens restreint de communications de masse. Cela exclut les systèmes de télécommunications ayant un nombre limité d'usagers et les systèmes bidirectionnels (téléappel, taxis, communications aériennes et maritimes), quoique les principes de physique qu'ils utilisent soient les mêmes que pour la radiodiffusion classique.

La diffusion consiste à émettre des signaux qui sont captés directement par les usagers individuels. La diffusion peut simplement être constituée par la liaison radio entre l'émetteur et le récepteur ménager. On peut aussi étendre cette définition aux systèmes de câblodiffusion (télévision à antenne collective) reliant l'émetteur au récepteur ménager.

La distribution consiste à envoyer l'information aux centres de diffusion.

1.2 Expansion des systèmes de câblodiffusion

Au cours des dernières années, les systèmes de câblodiffusion utilisés pour la transmission des signaux de télévision se sont rapidement développés dans les régions urbaines. Ils permettent la réception de meilleure qualité d'un nombre accru de canaux de télévision (entre autres, de stations extérieures à la région urbaine). Environ 23% des ménages urbains canadiens sont abonnés à quelque 317 systèmes de câblodiffusion.² Les systèmes sont matériellement indépendants, et le plus long n'a que 35 milles entre l'antenne réceptrice et les téléviseurs des abonnés. On s'attend à ce que l'expansion de ces systèmes continue, partiellement grâce aux nouveaux développements techniques.

Un des avantages de la câblodiffusion est qu'elle peut offrir à l'abonné beaucoup plus de services³ que la propagation libre par ondes hertziennes. On remarque avec intérêt que 35 systèmes canadiens offrent des émissions qui n'ont pas été reçues par voie hertzienne. Ces émissions comprennent des films, des émissions de télévision éducative fournies par les autorités locales, des réunions de conseils municipaux et des causeries du maire ou du curé de la paroisse.²

1.3 Le "centre électronique familial"

Pour l'utilisateur, l'élément central des nouveaux développements de la technologie des communications est constitué par un choix multiple et varié d'émissions.⁴ L'expression "centre électronique familial" a été utilisée pour désigner l'ensemble des services

que la technologie peut offrir aux ménages urbains de l'avenir. Prochainement, de nouvelles réalisations techniques permettront l'acquisition d'un appareil adaptable au téléviseur ordinaire pour la reproduction d'émissions audio-visuelles sur cassettes qui seront vendues ou louées comme les livres ou les disques. Cependant, l'importance des capitaux à engager s'oppose à l'implantation rapide des nouvelles techniques. Dans une analyse rétrospective, la télévision en couleur est le premier exemple qui se présente à l'esprit. L'exploitation commerciale de la télévision en couleur a commencé en 1954 aux Etats-Unis et en 1966 au Canada. Environ 10% des ménages canadiens possèdent des téléviseurs en couleur tandis que 65% des émissions de Radio-Canada sont en couleur.

On trouvera ci-dessous un bref aperçu des caractéristiques fondamentales des systèmes de câblodiffusion et de radiodiffusion ainsi que des prévisions de mise en service des réalisations technologiques. Il est probable que la radiodiffusion telle que nous la connaissons aujourd'hui viendra prendre une nouvelle place parmi la gamme des technologies des communications, au même titre que les innovations ultérieures.

2.0 LA RADIODIFFUSION

2.1 Avantages fondamentaux

Parmi les nombreux avantages de la radiodiffusion, il faut faire une distinction nette entre les avantages fondamentaux et les avantages secondaires. Il n'y a que trois avantages fondamentaux:

1. Communications pratiquement instantanées.
2. Souplesse due à l'absence de liaison matérielle entre l'émetteur et le récepteur.
3. Transmission omnidirectionnelle.

Des deux derniers avantages découlent les caractéristiques suivantes:

- (i) Possibilité de réception dans les airs, en mer et au delà d'obstacles terrestres infranchissables. Les récepteurs portatifs de radio et de télévision sont un exemple important de cette caractéristique. On peut aussi citer les émissions sur ondes courtes du Service international.
- (ii) Communications en direction de récepteurs incapables de répondre et dont les positions ne sont pas connues.

- (iii) Communications simultanées vers un nombre pratiquement illimité de récepteurs sans modifications du système d'émission ou de frais supplémentaires.

Le premier des avantages cités ci-dessus est commun à plusieurs systèmes de télécommunications. Le deuxième et le troisième sont propres à la radiodiffusion. Bien entendu, il s'agit là d'une chose bien connue. Il est cependant bon de le répéter parce que la révolution technologique en cours donne souvent l'impression qu'il n'y a plus rien de stable. Il est vrai que de nouvelles technologies peuvent remplacer la radiodiffusion dans plusieurs applications, surtout quand l'utilisation en est fondée sur un avantage économique. Cependant, chaque fois qu'une de ces trois caractéristiques est nécessaire, rien ne pourra remplacer la radiodiffusion dans un avenir prévisible.

2.2 Inconvénients fondamentaux

Les inconvénients fondamentaux de la radiodiffusion sont aussi peu nombreux que ses avantages. On peut citer:

1. Perte de l'énergie transmise proportionnelle au carré de la distance à partir de l'émetteur.
2. Absorption et dispersion importantes dans l'atmosphère aux hautes fréquences.
3. Brouillage entre les signaux qui proviennent de sources différentes et partagent le même espace, le même temps et la même fréquence (cela vaut aussi pour des fréquences différentes lorsque certains signaux sont sensiblement plus forts que d'autres).

Ces inconvénients sont inhérents à la transmission omnidirectionnelle sur support naturel. Le dernier de ces inconvénients est le plus important. Il constitue la principale raison d'être de la réglementation de la radiodiffusion par les organismes nationaux et internationaux.

2.3 Utilisation du spectre radioélectrique

Plus de la moitié du spectre utilisable en dessous de 1 GHz est déjà attribuée à la radiodiffusion. Certaines parties du spectre attribuées à la radiodiffusion, comme la télévision en VHF, sont très encombrées. Toutefois, la bande UHF (canaux de télévision 14 à 83) est pratiquement inutilisée. A l'heure actuelle, on ne fait pas usage au Canada de la bande UHF, à l'exception de quelques émetteurs de 5 watts dans de petites localités. Le premier émetteur UHF à grande puissance (canal 19) a été mis en service à Toronto en 1970. Le plan canadien

d'attribution des fréquences de télévision en bande UHF prévoit un maximum de 7 canaux supplémentaires par ville. Windsor, la ville canadienne la plus mal nantie dans ce domaine, ne s'est vue attribuer que deux canaux UHF. Dans les années à venir, on envisage donc l'installation de nombreux émetteurs UHF de télévision. Ces installations ne seront limitées que par les capitaux disponibles et la politique gouvernementale. Il est probable que les principaux usagers de la bande VHF seront les organismes d'enseignement et les canaux récréatifs en langue seconde.

L'Union internationale des télécommunications a attribué la bande de 11.7 à 12.7 GHz à la radiodiffusion fixe et mobile (aéronautique non comprise). En Europe et en Amérique du Nord, des travaux préliminaires ont été entrepris pour déterminer le meilleur usage possible de cette bande. On a proposé, à titre d'essai, d'attribuer une partie de cette bande aux satellites spatiaux pour la radiodiffusion en direct vers des réseaux de câblodiffusion et peut-être vers les récepteurs ménagers dotés de dispositifs spéciaux de réception. A cause de fortes zones de silence et de l'atténuation due à la pluie ou à la neige, un réseau d'émetteurs terrestres n'aurait qu'une portée limitée s'il fonctionnait sur cette bande de fréquence. Les évaluations de la capacité de cette bande vont de 10 à 40 canaux distincts. Elles varient en fonction des diagrammes de protection, des densités de population et d'autres facteurs. On estime que cette partie du spectre commencera à être exploitée en radiodiffusion avant 1980.

Au cours des deux prochaines décennies, il est probable que d'autres usagers, comme la défense nationale, la sécurité et les transports, réclament une plus grande partie du spectre utilisable. Il est intéressant de remarquer que le Japon a déclaré son intention probable d'abandonner la bande VHF et de n'utiliser que la bande UHF en télévision.⁵ M. Pierce, des laboratoires Bell, déclare: "Nous devons envisager le moment où toutes les fréquences utilisables seront encombrées. Lorsque cela se produira, il vaudra probablement mieux garder la transmission radio pour les usages auxquels elle est plus spécialement adaptée, comme les communications avec les navires, les avions, les automobiles, et d'une manière générale avec les personnes en déplacement". En citant les personnes en déplacement, il se peut que M. Pierce n'ait pas pensé à la radiodiffusion. Il n'en reste par moins vrai qu'on écoute essentiellement la radio AM à partir de récepteurs portatifs comme ceux des automobiles. Pour l'avenir, on envisage l'accroissement de l'utilisation des récepteurs portatifs de télévision à mesure que leur poids, leur encombrement et leur consommation d'énergie diminuent et que leur fiabilité s'améliore.

On pense qu'une meilleure gestion et des améliorations technologiques permettront une utilisation plus efficace du

spectre disponible. On peut parvenir à cette fin en réduisant, par exemple, la bande de fréquence utilisée par le service radiotéléphonique commercial tout en augmentant la sélectivité des récepteurs, en diminuant le niveau ambiant de brouillage, en assurant une meilleure évaluation des zones de service des émetteurs de radiodiffusion grâce à des études menées à l'aide d'ordinateurs ou en faisant partager les mêmes voies à plusieurs détenteurs de licences.

2.4 Inconvénients temporaires

2.4.1 Unidirectionnalité

On considère généralement l'unidirectionnalité de la radiodiffusion comme l'une de ses caractéristiques fondamentales. Il peut en être ainsi dans les limites de certaines définitions; elle n'a cependant rien de fondamental, ainsi que peut en témoigner tout chauffeur de taxi. Si le taux de retour des communications était 100,000 fois inférieur à celui de la transmission aller (évaluation prudente), 100,000 personnes pourraient émettre des signaux qui ne se brouilleraient pas mutuellement sur une voie de retour de largeur tout au plus égale à la voie de radiodiffusion. On pourrait maintenir la puissance d'émission de retour à un niveau suffisamment bas grâce à un espacement approprié des antennes de réception. Le réseau téléphonique mobile utilise déjà une méthode analogue. Les bureaux d'études travaillent déjà sur des techniques plus complexes. Entre autres, la société Sylvania a présenté un système, baptisé Educast, qui permet à l'auditeur de répondre à des questions. Le développement des installations de réponse en radiodiffusion dépendra de la mesure dans laquelle les réseaux de câblodiffusion peuvent satisfaire ce besoin.

2.4.2 Présentation transitoire et en série

On relève souvent le contraste de forme entre la radiodiffusion et les journaux. Dans ces derniers, l'information est présentée en parallèle (simultanéité) et sur un support durable, tandis qu'en radiodiffusion elle est transitoire et présentée en série (succession). Bien que cela soit actuellement vrai, il n'est pas nécessaire que cet état de choses persiste. Nous pouvons citer deux moyens d'obtenir de l'information qui soit parallèle et durable. Dans le premier on adjoindrait au récepteur ménager un genre d'appareil fac-simile qui donnerait des documents en clair. L'émetteur serait modifié en conséquence. De cette façon, on pourrait obtenir avec le récepteur un ensemble de pages en clair dans des délais beaucoup plus courts que ne le permet la livraison des journaux par la poste. On peut en outre n'obtenir l'impression que de certaines sections d'une publication. Cette méthode peut utiliser soit une voie téléphonique, soit un canal de télévision. Dans ce dernier cas, la réception de l'informations sur documents en clair se

fait indépendamment de l'information optique reçue sur l'écran (système Homefax de RCA). Dans la seconde méthode, on transmettrait une série d'images différentes à un téléviseur équipé d'une mémoire électronique et d'un sélecteur permettant de capter les seules images marquées d'un certain numéro de code. Si on transmettait une suite de 1,000 images différentes au taux maximum de définition de 30 images entrelacées par seconde, on pourrait obtenir n'importe quelle image toutes les 33 secondes. Dans le cas de la sélection aléatoire, il y aurait un temps d'attente moyen de 16 secondes. On peut réduire considérablement ce délai grâce à la sélection séquentielle. Les premières images pourraient contenir la table des matières de la séquence qui suit. Moyennant des frais supplémentaires, on pourrait aussi obtenir une copie en clair de n'importe quelle image.

Ces deux méthodes, à l'instar des journaux, sacrifient le mouvement. On peut adopter un compromis lorsque la présentation animée est nécessaire et qu'un niveau de définition dans l'espace peu élevé est suffisant (dessins animés, illustrations dynamiques de fonctions mathématiques ou du fonctionnement de mécanismes simples, etc.). Dans pareil cas, on pourrait transmettre une mosaïque de 16 images (4 x 4) par exemple. Un commutateur de sélection monté sur le récepteur permettrait le centrage et l'agrandissement de toute image aux dimensions l'écran. Cela donnerait une sélection de 16 présentations mobiles simultanées sur un canal ordinaire.

2.5 La radiodiffusion

On distingue deux services principaux:

- (i) La radio AM. Dans cette portion du spectre (ondes moyennes), on fait face à un encombrement considérable et à une "guerre de puissance d'émission" qui permet l'utilisation de petits récepteurs économiques à faible sensibilité. Le public utilise essentiellement des récepteurs portatifs. On n'envisage aucune évolution technologique importante dans ce domaine.
- (ii) La radio FM. L'attribution de canaux n'engendre aucun problème particulier. Il faut ici remarquer les réticences du public devant l'achat de récepteurs FM. Cela vaut plus spécialement pour les régions reculées dans lesquelles Radio-Canada a installé des émetteurs FM de faible puissance. La plupart des grandes villes disposent d'émissions stéréophoniques en FM qui n'atteignent encore qu'une proportion assez petite du public.

Aux Etats-Unis, on a procédé à la mise en place expérimentale d'un nouveau système radiophonique à quatre canaux sonores: le "FM Quadrophonics". Ce système crée une nouvelle ambiance

d'écoute qui présente beaucoup d'attrait pour les passionnés de musique. Les promoteurs du système prétendent que le son "quadrophonique" est relativement indépendant de l'acoustique des locaux et de la position des hauts-parleurs et de l'auditeur. On ne pense malheureusement pas que ce système ait un avenir commercial prometteur parce qu'il doit utiliser l'équivalent de deux voies FM stéréophoniques.

3. LES SYSTÈMES DE CÂBLODIFFUSION

3.1 Avantages fondamentaux

Les systèmes de câblodiffusion actuels offrent les avantages suivants aux usagers:

- (i) Choix plus important de canaux hertziens (télévision, musique, services d'information)*.
- (ii) En général, meilleure qualité de l'image; absence d'images fantômes; moins de brouillage entre signaux et meilleur rapport signal/bruit.

Un des grands avantages de la câblodiffusion est qu'elle peut se développer sans avoir à utiliser le précieux spectre radioélectrique.

N'utilisant pas la propagation hertziennne dans l'espace, plusieurs systèmes de câblodiffusion peuvent être installés dans un même lieu sans se causer mutuellement de brouillage.

*En plus des émissions radiophoniques et de télévision captées sur les ondes, les systèmes de câblodiffusion produisent leurs propres émissions. Une entreprise de télédiffusion par câble de Montréal qui émet ses propres émissions 35 heures par semaine constitue un exemple caractéristique de ce genre de système. On pense que ce genre de service se développera considérablement dans les années à venir.

3.2 Inconvénients fondamentaux

- (i) Liaisons matérielles entre la source et tous les récepteurs.

- (ii) Le système de câblodiffusion doit subir des modifications pour permettre le raccordement de nouveaux récepteurs, ce qui entraîne des frais supplémentaires.

A cause de ces deux inconvénients, on comprend aisément qu'il est peu probable que les systèmes de câblodiffusion atteignent la totalité de la population canadienne. La combinaison câbles-satellites est pleine de promesses en ce qui concerne le raccordement des agglomérations éloignées aux réseaux nationaux.

La câblodiffusion ne peut pas non plus répondre aux besoins des personnes en déplacement ni à ceux des gens qui préfèrent la télévision "gratuite". Quoique son rôle puisse évoluer, on imagine difficilement la disparition de la radiodiffusion.

3.3 Inconvénients temporaires

Au Canada, les systèmes de câblodiffusion sont indépendants les uns des autres. Ils desservent des régions urbaines avec des longueurs maximales de câble de 35 milles entre la source et les récepteurs. Le matériel actuel permet de porter cette distance à 100 milles. Il n'existe pas d'interconnexion entre les systèmes de câblodiffusion. La bande utilisée par la câblodiffusion va de 54 à 216 MHz, soit 160 MHz de largeur de bande. A l'heure actuelle, on ne dispose pas de matériel permettant de réunir les systèmes de câblodiffusion en un réseau national transcontinental. Toutefois, si cela est nécessaire, on pense que les sociétés exploitantes de télécommunications pourraient fournir avant 1980 des installations dotées d'une largeur de bande appropriée qui formeront une "grille" nationale de câblodiffusion. On croit que les satellites auront une place importante dans toute future "grille" nationale de câblodiffusion.

Les systèmes de diffusion par câble assurent l'accès aux émissions de télévision et aux émissions stéréophoniques et radiophoniques FM. Le bloc d'accord VHF limite le nombre de voies de télévision aux canaux 2 à 13. Parmi ceux-ci, le système de câblodiffusion ne peut utiliser certains canaux locaux de façon satisfaisante à cause de la sensibilité des récepteurs ménagers aux signaux ambiants. On doit par conséquent transposer les signaux locaux sur d'autres canaux. On récupère les canaux locaux en les utilisant pour la radiophonie FM. Les entreprises de câblodiffusion voudraient utiliser la totalité de la bande entre 54 et 216 MHz (et même 300 MHz) pour la distribution d'émissions de radio et de télévision. La sélection des canaux sur cette bande nécessiterait l'emploi d'un récepteur de télévision de type particulier. Il serait souhaitable que ce récepteur soit doté d'un meilleur isolement contre les signaux ambiants de fréquence radio que ne le sont les récepteurs ordinaires. Un système de câblodiffusion peut fournir 20 canaux

ou plus dans la bande de 54 à 216 MHz. Quoiqu'il n'y ait aucune difficulté technique, il n'existe pas de projet de réalisation d'un tel récepteur.

Pour tirer parti des signaux radiophoniques FM pouvant être transmis par câble, il est nécessaire d'utiliser un récepteur stéréophonique FM spécial pour choisir la station voulue (il y a 23 canaux stéréophoniques FM à Victoria, par exemple⁶). La largeur de bande du système de câblodiffusion (54 à 216 MHz) comprend les services radiophoniques FM. Ceux-ci ne sont toutefois ni captés ni introduits dans le système par l'entreprise de câblodiffusion, à moins que cela ne soit spécifié.

En général, la qualité des signaux reçus par l'abonné est inférieure à la meilleure qualité possible de la radiodiffusion. Elle est toutefois supérieure à la réception habituelle de radiodiffusion. Le Conseil de la radio-télévision canadienne délivre maintenant des licences aux entreprises de câblodiffusion; aussi pense-t-on que les normes de fonctionnement établies par le ministère des Communications contribueront à l'amélioration de la qualité technique.

En général, il n'y a aucune liaison matérielle entre la station de radiodiffusion et le système de câblodiffusion. La Société Radio-Canada a refusé le raccordement direct de ses émetteurs, bien que certaines stations privées l'aient accepté. Il est évident qu'une liaison matérielle directe offrirait des avantages. Son établissement ne présente aucune difficulté technique.

3.4 Le réseau de communications à large bande

L'expression "réseau de communications à large bande" (Broadband Communications Network) a été créée aux Etats-Unis par l'Electronic Industries Association dans un mémoire adressé à la Federal Communications Commission.⁷ Les caractéristiques essentielles d'un tel réseau sont les suivantes:

- (i) envergure nationale;
- (ii) largeur de bande minimale de 300 MHz pour assurer divers services d'information pour les ménages, les entreprises et le gouvernement (télévision, courrier de première classe, émissions éducatives);
- (iii) largeur de bande de retour restreinte pour la réception et la classification des demandes particulières et des réponses provenant des usagers.

En supposant que l'on procède au raccordement de 50% des ménages (aux Etats-Unis), l'immobilisation de capital par domicile s'élèverait à \$240. On ne fournit aucune évaluation des frais mensuels d'abonnement. Dans les régions de faible densité de population où les réseaux de communications à large bande ne peuvent pas être rentables, on propose d'assurer les nouveaux services à l'aide de satellites.

L'Electronic Industries Association pense que ce type de réseau aura des répercussions importantes sur "notre mode de vie américain" au cours des années 1980.

Il est significatif que l'Electronic Industries Association recommande que les services publics actuels de communications demeurent autant que possible intouchés. Cette recommandation implique que la radiodiffusion coexistera avec les technologies nouvelles au cours des années 1980.

4. POSTES TERMINAUX DOMESTIQUES

4.1 Enregistrement à domicile des émissions audio-visuelles

Au cours des cinq prochaines années, de 1970 à 1975, on pourra revoir des émissions de télévision sur le récepteur ordinaire grâce à un dispositif local de reproduction branché sur le téléviseur.

Le système EVR de la CBS offre des cassettes de films photographiques préenregistrées à un prix à peine supérieur à celui d'un livre ou d'un disque. La mise au point de ce système est déjà très avancée. On pense qu'il pourra être mis à la disposition des organismes industriels et pédagogiques à partir de 1970. Le prix du dispositif de reproduction sera au départ de \$1,000 pour le noir en blanc et de \$1,600 pour la couleur. La version couleur ne sera pas disponible avant 1971.

Le système VPS (Selectavision) de la RCA utilise l'enregistrement holographique sur ruban en vinyle. Ce système n'est encore qu'au premier stade de mise au point. Il est peu probable qu'il entre en service avant 1972. On estime qu'il sera particulièrement intéressant pour l'utilisation à domicile parce que le support d'enregistrement est très robuste. En outre, les enregistrements coûteront le même prix que les disques ordinaires. On avance le prix de \$600 pour le dispositif de reproduction et de \$2 à \$3 pour cassette couleur d'une demi-heure.

Les systèmes de la CBS et de la RCA se fondent essentiellement sur des méthodes d'impression en grandes quantités d'émissions audio-visuelles sous une forme qui permet une reproduction appropriée à l'aide de dispositifs à bon marché.

Plusieurs entreprises offrent des magnétoscopes utilisant un ruban magnétique comme support d'enregistrement. Il n'existe cependant aucune norme commune aux différents modèles. On ne dispose pas non plus pour le moment de bornes d'entrée ou de sortie permettant de les adapter au récepteur ordinaire. On remédiera probablement à cette lacune d'ici 1972, et on pense que le prix d'un magnétoscope pour la couleur et de son dispositif d'adaptation au récepteur ordinaire sera d'environ \$1,000. Un matériel analogue pour le noir et blanc ne devrait pas coûter plus de \$500. On estime que l'usage des cassettes à ruban magnétique sera alors généralisé. On disposera probablement aussi de cassettes préenregistrées dont on ne connaît pas encore le prix. L'incompatibilité des normes d'une marque à l'autre constitue une des difficultés techniques des magnétoscopes à bon marché. En outre, ils ne reproduisent pas toujours de façon satisfaisante les enregistrements d'un autre appareil du même type. On peut utiliser le magnétoscope ménager pour l'enregistrement d'émissions captées sur les ondes pour reproduction ultérieure. A l'aide d'une caméra vidicon peu coûteuse, le magnétoscope ménager pourra enregistrer des émissions vidéo réalisées chez soi. Dans un avenir prévisible, le prix d'un tel ensemble pour la couleur (magnétoscope, dispositif d'adaptation au récepteur et caméra) demeurera très supérieur à celui d'un ensemble de cinéma de 8 mm. pour amateur. Il faut aussi considérer que la qualité des images obtenues ne sera probablement pas aussi bonne.

4.2 Autres appareils terminaux domestiques

Des appareils de fac-similé (Homefax de la RCA) peuvent reproduire en clair des données ou d'autres informations. Le système de la RCA donne une impression électrostatique de l'information envoyée dans l'intervalle de retour de balayage vertical de la télévision. Ici, la technologie est au point et n'attend qu'une demande suffisante de la part des usagers.

La télévision bilingue est au stade de l'exploitation expérimentale dans plusieurs pays. Ce procédé accorde au téléspectateur un choix de deux langues. Il présente des avantages politiques et sociaux en ce qui concerne les événements d'envergure nationale comme les compétitions sportives. Le prix du dispositif d'adaptation au récepteur d'un des systèmes actuellement à l'essai au Japon est inférieur à \$100. A l'heure actuelle, l'utilisation de cet appareil ne semble soulever aucune difficulté technique.

4.3 Composants des postes terminaux domestiques

4.3.1 Dispositifs d'affichage

En ce qui concerne la luminosité, la sensibilité chromatique, la stabilité et la qualité générale de l'image, on pense que les

dispositifs actuels d'affichage (tubes à rayons cathodiques) continueront à être améliorés, il ne subiront toutefois pas de modifications importantes. On espère disposer bientôt de tubes d'affichage en couleur à plus grand angle de balayage qui amèneront une réduction de la largeur du coffret de l'appareil.

Le perfectionnement de différentes formes d'écrans plats de télévision a fait et fait encore l'objet de nombreux travaux. Il est cependant peu probable qu'au cours des 5 prochaines années un dispositif d'affichage radicalement différent du tube cathodique soit commercialement rentable. Le dispositif d'affichage plat qui a les meilleures chances de réussite est la matrice à émission lumineuse à semi-conducteurs. On ne pense cependant pas en disposer avant 1980.

On a réalisé en laboratoire à l'aide de lasers des dispositifs d'affichage en couleur à deux dimension de grande luminosité. On a aussi envisagé l'utilisation du laser pour la télévision tridimensionnelle en couleur. On ne peut dire exactement quand ces appareils pourront être produits à l'échelle industrielle. Il est toutefois improbable que cela se fasse avant 1990.

4.3.2 Technologie des semi-conducteurs

Les téléviseurs actuels utilisent encore beaucoup de lampes. L'introduction récente des dispositifs à semi-conducteurs et des circuits intégrés dans les appareils de télévision est appelée à prendre de l'ampleur. Ils doivent remplacer totalement les lampes d'ici 1975. On s'attend à des améliorations importantes dans les domaines de la fiabilité, de la stabilité, de l'encombrement et de la dissipation de la chaleur; les prix devraient éventuellement baisser aussi. Les composants à semi-conducteurs ont déjà été substitués aux lampes dans d'autres appareils ménagers comme les électrophones, les récepteurs AM, le nouvel appareil de reproduction EVR de la CBS et les nouveaux magnétoscopes.

5. LE RÉSEAU DE DISTRIBUTION DES SOCIÉTÉS EXPLOITANTES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS

Deux réalisations technologiques domineront probablement l'évolution des réseaux de distribution: les satellites et les techniques numériques.

5.1 Les satellites

Le premier satellite canadien de télécommunications sera mis en orbite en 1972. Il sera intégré au réseau de distribution de Radio-Canada. Il a pour principal avantage de couvrir complètement et également le pays pour chacune des deux langues officielles, Yukon et Territoires du Nord-Ouest compris. On

construira au départ 30 stations terriennes. D'autres viendront s'y ajouter en fonction de la disponibilité des fonds. On pense que toutes les agglomérations en expansion pourront recevoir les émissions transmises par satellite d'ici 1980. Le premier satellite utilisera la bande de 4 à 6 GHz. Ultérieurement au cours de cette décennie, on estime que les satellites pourront fonctionner dans la bande de 12 GHz pour transmettre les émissions aux réseaux de câblodiffusion, et peut-être aux récepteurs familiaux. (Voir 2.3 ci-dessus).

On a proposé l'utilisation de la partie supérieure de la bande UHF pour les liaisons directes satellites-câblodiffusion. L'adoption de ce projet est cependant douteuse, car aux Etats-Unis on utilise déjà beaucoup cette bande pour la radiodiffusion terrestre.

5.1.1 Distribution intercontinentale

Des satellites internationaux en orbite géostationnaire au-dessus de l'Atlantique et du Pacifique sont déjà utilisés pour relier le Canada aux réseaux de radiodiffusion d'autres continents. Le nombre d'heures par an de ce genre d'émissions augmente rapidement. La qualité technique de l'image en couleur a bénéficié de la récente mise au point d'un dispositif entièrement électronique de conversion. Ce dispositif permet l'adaptation des systèmes PAL ou SECAM au système canadien NTSC. Les anciens convertisseurs optiques étaient de mauvaise qualité. La nécessité de conversion entre les différents réseaux de télévision soulève une question: quand adoptera-t-on un système international unique? Cela paraît improbable au cours des vingt prochaines années. Les motifs sont à la fois politiques et économiques, en raison des capitaux importants investis dans les installations existantes et des récepteurs domestiques déjà en place.

5.2 Techniques numériques

La voie de distribution la plus importante pour les circuits terrestres de télévision à longue distance est actuellement le système TD2, dont la vitesse n'est pas suffisante pour l'acheminement des signaux de télévision (100 Mbits/s). De nouveaux systèmes terrestres de distribution qui pourront acheminer les signaux numériques de télévision sont en voie de réalisation (système coaxial T5). Ils seront mis en service à la fin des années 1970. On estime que le coût de transmission par mille des signaux numériques sera inférieur à celui des signaux analogiques actuels utilisant le système TD2. Dans un avenir plus éloigné, les guides d'ondes millimétriques réduiront encore le coût par mille. En tirant parti de la redondance du signal de télévision, les laboratoires de recherches Bell envisagent dans leurs calculs une réduction de moitié de la vitesse (jusqu'à 50 Mbits/s).

Comparés aux signaux analogiques, les signaux numériques assurent une utilisation plus efficace d'une voie de communications en ce qui concerne la largeur de bande et le bruit. Les techniques numériques permettent aussi d'utiliser des circuits meilleur marché très faciles d'entretien. Elles fournissent un meilleur rendement du point de vue de la distorsion linéaire des signaux vidéo et sonores. Elles se prêtent au multiplexage par partage du temps. Au cours de la même période, on appliquera les avantages des techniques numériques aux satellites ainsi qu'aux systèmes terrestres de communications.

En Grande-Bretagne, on utilise depuis un certain temps déjà une méthode permettant de combiner les signaux sonores et vidéo dans les systèmes de distribution. Le son est mis sous forme numérique binaire MIC et inséré pendant la durée du signal de synchronisation de lignes de l'onde vidéo. On estime que les résultats sont satisfaisants. Des techniques analogues pourraient être utilisées pour les canaux de télévision transmis par les satellites canadiens. Elles réduisent les besoins de voies de distribution, et par conséquent le coût. Elles suppriment également les décalages entre les signaux sonores et vidéo. On pense que ces techniques seront exploitées dans les systèmes de distribution de télévision avant 1975.

6 LE RADIODIFFUSEUR: PRODUCTION DES ÉMISSIONS

En radiodiffusion, une très grande proportion des émissions est du type préenregistré. Environ 55% des émissions du réseau anglais de télévision de Radio-Canada sont pris de films de 16mm., et 35% de bandes magnétoscopiques. Pour le réseau français, ces proportions sont respectivement de 60 et 30%. Dans chacun des cas, les 10% restants se composent d'émissions sportives, de reportages, etc. transmis en direct. On peut donc considérer les centres de radiodiffusion comme des fabriques d'émissions ayant les fonctions suivantes:

- (i) Production d'émissions préenregistrées
- (ii) Production d'émissions en direct
- (iii) Contrôle de la transmission des émissicns entre les studios et les émetteurs

Les deux premières fonctions touchent le côté artistique de la radiodiffusion. Dans ce domaine, les progrès de la technologie tendront vers le perfectionnement et la réduction de l'encombrement des dispositifs électroniques de captage, et vers la production d'un matériel de fonctionnement plus sûr et plus souple. Au cours de la prochaine décennie, on réalisera probablement d'importants progrès dans le domaine des caméras couleur. Dans les cinq prochaines années, grâce à l'amélioration

des tubes capteurs et des composants de circuits, les caméras de télévision couleurs auront une meilleure sensibilité et un encombrement moindre. Il est probable qu'avant 1980 on disposera d'une caméra portative de télévision couleur de dimensions analogues à celles d'une caméra de cinéma de 16mm. Pendant les années 1980, on produira des dispositifs sensibles de captage à semi-conducteurs qui seront robustes et d'une grande fiabilité.

La diminution de l'encombrement des caméras électroniques de prise de vues et la disponibilité de petits magnétoscopes portatifs pour professionnels donneront un nouvel élan à la production et permettront aux équipes de prise de vues d'échanger les studios pour des décors naturels. A cet égard, l'exemple de l'industrie du cinéma donne des indications sur l'avenir.

Afin de diminuer les frais de main-d'oeuvre, l'automatisation gagnera probablement de plus en plus le contrôle de la transmission des émissions. Cela sera aussi dû au fait que les administrateurs de la radiodiffusion prendront conscience de la nature routinière de cette fonction. Un matériel peu sûr rendait nécessaire les anciennes méthodes de contrôle manuel. La fiabilité maintenant suffisante du matériel moderne permet un degré élevé d'automatisation. Grâce aux circuits intégrés et aux circuits intégrés à grande échelle, le matériel futur sera encore plus sûr. L'automatisation croissante imposera la mise au point de cassettes pour émissions préenregistrées. L'utilisation de cassettes pour bandes sonores est déjà très répandue. On a dernièrement mis au point une cassette magnétoscopique. En radiodiffusion, on n'a pas encore utilisé de films en cassettes.

L'application des techniques numériques aux circuits sonores et vidéo permettra l'automatisation totale du contrôle de la transmission des émissions. Il est probable que les réseaux de distribution des sociétés exploitantes utiliseront des circuits numériques au début des années 1980. On n'utilisera que plus tard les signaux numériques dans le matériel de production des émissions. Pour l'acheminement des signaux numériques, on aura besoin d'un matériel sonore et vidéo à bande passante plus large et d'enregistreurs ayant des densités d'emmagasinage plus importantes.

Les magnétoscopes actuels ne peuvent pas emmagasiner la quantité importante d'information d'un signal numérique de télévision (100 Mbits/s). Dans plusieurs laboratoires à travers le monde, des recherches importantes visant à augmenter la densité d'emmagasinage de l'information numérique sont en cours. La société Ampex, entre autres, atteint 10 Mbits/po.ca. par enregistrement au laser dans un système magnétique-optique. Avec cette méthode, il faut faire défiler le ruban à 10 pouces carrés par seconde pour obtenir une vitesse de 100 Mbits/sec. Les magnétoscopes actuels utilisent 22.5 pouces carrés de ruban à la seconde. Plusieurs laboratoires ont présenté des techniques qui

permettent des densités d'emmagasinage encore plus élevées. L'industrie de l'informatique a des besoins analogues en ce qui concerne la mise en mémoire de grandes quantités d'information numérique. Ce facteur accélérera la mise au point d'un support approprié d'emmagasinage.

On estime qu'au début des années 1980 on disposera d'un matériel qui permettra l'enregistrement sous forme numérique de signaux de télévision à un prix inférieur à celui du magnétoscope actuel. Au cours de cette période, on tirera probablement parti de la redondance du signal de télévision pour réduire au moins de moitié la teneur en information du signal de télévision, qui est actuellement de 100 Mbits/s (voir 5.2 ci-dessus).

RENOIS

1. Loi sur la radio, p. 3.
2. Broadcaster, décembre 1969.
3. Voir section 3.4 ci-dessous pour la description des services possibles.
4. Le sujet est étudié au chapitre sept du rapport final du "President's Task Force on Communications Policy" des Etats-Unis.
5. ABU Technical Review, No. 3, juillet 1969.
6. Communication privée, National Cablevision, Montréal.
7. Dossier 18397 de la FCC, mémoire de l'EIA, partie V.

PROGRÈS TECHNOLOGIQUES FUTURS
ET NOUVEAUX CONCEPTS DE SYSTÈMES*

TABLES DES MATIÈRES

Applications de la nouvelle technologie aux communications
mobiles

Circuits intégrés
 Ordinateurs
 Signalisation et logique numériques
 Synthétiseurs
 Téléimprimeurs mobiles
 Antennes intégrées
 Télévision à balayage lent
 Répéteurs
 Satellites

Nouveaux besoins en communications mobiles

Communications individuelles
 Identification des véhicules
 Contrôle de l'état des véhicules
 Localisation des véhicules
 Communications de documents
 Systèmes visuels mobiles
 Sécurité sur les routes et les voies navigables
 Sécurité et secret des communications
 Dispositifs portatifs et mobiles de signalisation et d'alarme
 Surveillance médicale d'urgence
 Systèmes de guidage de la circulation routière
 Lutte contre la pollution

Moyens de lutte contre l'encombrement

Division des voies
 Concentration
 Systèmes collectifs
 Multiplexage
 Techniques de modulation
 Dispositifs sélectifs
 Ordinateurs de répartition géographique
 Captage par récepteurs multiples
 Synchronisation des émetteurs

Bibliographie

* Ce rapport est l'oeuvre du sous-comité du matériel mobile terrestre et maritime des Industries électroniques du Canada

PLAN

Applications de la technologie nouvelle aux communications mobiles

La première partie de ce rapport passe en revue un certain nombre de tendances et de développements technologiques qui influenceront les dispositifs portatifs et mobiles de radiocommunications bidirectionnelles pendant la prochaine décennie et après. Nous examinons les répercussions des circuits intégrés sur les communications mobiles terrestres en ce qui concerne le matériel numérique et portatif. Nous passons ensuite à l'influence des ordinateurs sur l'amélioration des conditions d'exploitation et la lutte contre l'encombrement du spectre, puis aux fonctions numériques de signalisation et de logique et leurs répercussions sur les largeurs de bande. Nous étudions en outre les nouvelles réalisations comme le téléimprimeur mobile, les antennes intégrées, la télévision à balayage lent, les répéteurs hétérodynes et mobiles et nous en évaluons les effets. Nous terminons cette partie par un examen des communications par satellite.

Nouveaux besoins en communications mobiles

Les perfectionnements technologiques traités dans la première partie ont mené à la conception de produits et de systèmes intéressants pour l'utilisateur. Nous passons donc en revue quelques-unes des réalisations les plus importantes comme les communications de documents, la localisation des véhicules, le contrôle de l'état des véhicules, l'accès aux ordinateurs à partir d'unités mobiles, les dispositifs de signalisation et d'alarme portatifs et mobiles et les systèmes visuels mobiles. Nous arrivons à la conclusion que ces produits et systèmes vont augmenter à l'avenir les besoins de fréquences radioélectriques.

Moyens de lutte contre l'encombrement du spectre

Nous examinons dans cette troisième partie un certain nombre de propositions qui visent à améliorer l'utilisation du spectre. Parmi ces concepts, citons la division des voies, les communications cellulaires, le groupement des lignes, les systèmes collectifs, le multiplexage, les techniques de modulation, les dispositifs sélectifs, les ordinateurs de répartition géographique, le captage par récepteurs multiples et la synchronisation des émetteurs. Nous arrivons à la conclusion générale que les progrès déjà réalisés dans les communications mobiles terrestres et dans l'amélioration de l'utilisation du spectre ont une limite. Il faudra attribuer davantage de spectre aux communications mobiles pendant la prochaine décennie car il ne sera pas possible de multiplier à l'infini le nombre des voies disponibles dans la bande actuelle.

RÉSUMÉ

1. Répercussions de la technologie

La technologie va façonner l'avenir. En aucun cas cela n'est plus vrai que dans le domaine de l'électronique et des communications, car nous sommes maintenant à la veille d'une révolution dans les modes de communications de personne à personne, de personne à machine et de machine à machine. La machine s'incorpore maintenant à l'automobile et se tient prête à recevoir (et émettre) des mots, des chiffres et des images pour améliorer la vitesse, la précision et l'efficacité de la commande et du contrôle modernes.

Le germe de cette révolution est le circuit intégré, précurseur de l'intégration à grande échelle. Cette dernière rendra possible la fabrication de matériel périphérique, engendrera de nouvelles inventions, réduira les prix et améliorera le fonctionnement et la fiabilité du matériel actuel.

Les circuits intégrés ont déjà laissé leur marque sur les communications mobiles. Tous les jours, de nouveaux appareils à circuits intégrés viennent s'ajouter à la gamme des dispositifs mobiles. Ces circuits sont particulièrement adaptables aux dispositifs numériques et au matériel utilisant la signalisation numérique (téléimprimeurs, systèmes de localisation et d'identification des véhicules, etc.). Il se pourrait très bien, en fait, que la combinaison des circuits intégrés à grande échelle aux techniques futures de traitement de la parole fasse de la transmission numérique la forme généralisée des communications mobiles dans vingt ans, ou peut-être même avant.

2. Applications de la technologie

Notre monde est partout menacé par l'augmentation effarante de la criminalité et par le mépris apparent de l'ordre établi de la part d'une partie de plus en plus importante de notre société. Dans ses desseins scélérats, le criminel utilise les produits de la technologie électronique moderne. Les organismes qui assurent le respect de la loi doivent être en avance sur eux afin de mener avec succès leur guerre contre le crime et la rébellion. La solution réside dans la rapidité et la sécurité accrues des dispositifs de communications portatifs et mobiles. La rapidité, la sécurité et la précision seront renforcées par la transmission des données en service mobile. La technologie nous fournira des machines, comme les ordinateurs, les téléimprimeurs, les dispositifs de localisation et d'identification, etc. pour atteindre ces objectifs. Grâce à des ensembles d'encombrement réduit et de faible consommation d'énergie, il sera possible d'étendre les communications de la voiture de police à l'agent qui fait sa ronde. De nouvelles stations de réception dotées de

répéteurs mobiles et de dispositifs sélectifs automatiques assureront les communications en quelque lieu que ce soit.

La valeur de la vie humaine prend régulièrement plus d'importance. Le public réclame des méthodes perfectionnées d'appel au secours ou de traitement médical en cas d'urgence. De même on utilise des systèmes d'alarme automatique fonctionnant par radio afin d'assurer la protection de la propriété publique avec un maximum de sécurité.

Ces techniques si nécessaires à la protection et à la sécurité humaines sont aussi applicables à la répartition plus efficace des biens et des services. Qu'il s'agisse d'améliorer les services de transport ou de taxi ou d'assurer une livraison plus rapide de combustible ou de béton pré-mélangé, le public en récoltera les bénéfices.

Le téléappel radio représente un autre exemple du besoin de communications portatives appropriées pour les personnes en déplacement. On dispose maintenant de systèmes qui permettent soit seulement d'appeler une personne en déplacement par des tonalités, soit de l'appeler et de lui communiquer un message parlé. Dès qu'on pourra assurer l'accusé de réception du message, il deviendra possible de réaliser un système portatif entièrement bidirectionnel.

La pollution de l'air que nous respirons et de nos ressources hydrauliques devient de plus en plus inquiétante. Grâce aux communications radio, notre industrie mettra au point de nouvelles méthodes qui permettront la détection, l'évaluation, le contrôle et la réglementation de la pollution.

L'industrie électronique répondra à ces demandes par de nouveaux produits d'encombrement réduit, de faible consommation d'énergie, de meilleur rendement et de prix peu élevé.

3. La technologie et le spectre

Si la technologie fait augmenter la demande de spectre, elle doit également alors en améliorer l'utilisation, l'attribution et la gestion. Il y a quelque temps, on répondait aux besoins de fréquences par la fractionnement des voies afin qu'un plus grand nombre d'utilisateurs puissent utiliser la bande du service mobile. Dans chaque cas, on disposait de la technologie qui permettait d'améliorer les normes de rendement du matériel et de réduire les possibilités de brouillage dues au rapprochement des voies. Aux Etats-Unis, à l'heure actuelle, le besoin de nouvelles voies se fait sentir. La technologie a des limites, et on ne peut continuer à l'infini à fractionner les voies. Il existe cependant encore des progrès technologiques à réaliser pour améliorer le sort de l'utilisateur urbain gêné par le brouillage dû à l'espacement réduit des voies.

Le but de l'utilisation efficace du spectre est de permettre au plus grand nombre possible de personnes d'utiliser chaque voie attribuée. La grande diversité des utilisations rend obligatoire l'emploi de techniques différentes pour assurer une efficacité maximale dans chaque catégorie de services. Par exemple, la diminution de la portée de chaque émetteur permettra d'en installer davantage dans une région donnée et, par conséquent, rendra possible un plus grand nombre de conversations simultanées dans ladite région. Avec les systèmes de répartition, cette façon de procéder n'est réalisable que jusqu'à un certain point. Cela présente toutefois des possibilités d'économies réelles pour un système radiotéléphonique mobile appuyé par une grande installation de circuits métalliques. De même, quoiqu'elles soient nécessaires en téléphonie mobile, les techniques de groupement manquent trop de souplesse pour les grands systèmes de commande et de contrôle. En ce qui concerne les usagers moins importants, le concept d'installations collectives représente une proposition intéressante qui permettrait l'utilisation optimale des voies.

Le besoin accru de transmission d'information augmentera l'utilisation des voies. A l'avenir, la technologie sera dirigée vers l'augmentation de l'efficacité par la modification des techniques de transmission et l'élimination de la redondance dans les renseignements transmis.

La technologie nouvelle sera également orientée vers des concepts de systèmes qui assureront la conservation du spectre. Les ordinateurs contribueront à la conception d'un système, en deviendront partie intégrante et aideront à choisir la fréquence la plus favorable.

4. La technologie et l'utilisateur

L'utilisateur de la radio mobile a récolté les fruits de la technologie, qui a assuré un meilleur fonctionnement, un encombrement et un poids réduits et une fiabilité plus grande au matériel portatif et mobile. En revanche, il a dû payer chèrement les changements de matériel amenés par le fractionnement des voies et la sévérité accrue des normes qui ont été imposées par la nécessité d'attribuer des fréquences à un grand nombre d'utilisateurs dans la bande réduite du service mobile. D'autre part, il existait en même temps de grandes portions de spectre qui restaient inutilisées faute de progrès assez rapides.

Doit-on continuer à laisser inutilisées ces importantes portions de spectre? Les usagers de matériel mobile terrestre devront-ils continuer à payer pour de nouveaux filtres et de nouveaux circulateurs, et être obligés de respecter des normes de plus en plus strictes pour utiliser leur portion de spectre déjà bien chargée? Le développement de l'utilisation du spectre

avantagerait tout le monde et la diminution des prix encouragerait à son tour l'expansion de l'exploitation.

La technologie qui permet de faire un usage optimal doit aller de pair avec la politique de gestion qui, dans des délais raisonnables, doit permettre et même stimuler l'utilisation maximale de cette précieuse ressource naturelle.

1. LES APPLICATIONS DE LA NOUVELLE TECHNOLOGIE AUX COMMUNICATIONS MOBILES

Introduction

La technologie influence l'expansion des communications mobiles par:

1. La réalisation d'appareils et de systèmes qui répondent aux besoins de l'utilisateur.
2. La réduction des prix qui met les produits à la portée d'un plus grand nombre d'utilisateurs.
3. L'intensification de l'utilisation du spectre pour en permettre l'accès à un plus grand nombre d'utilisateurs.

C'est grâce à la vitalité de l'industrie électronique, à sa participation au système de libre entreprise, au jeu d'une concurrence stimulante, à un esprit novateur et au dévouement de ses membres que les avantages des communications mobiles sont mis à la portée d'un nombre croissant de Canadiens.

D'une manière générale, il s'écoule environ dix ans entre l'invention d'un nouveau dispositif et sa production en série.

Prédire l'orientation de la technologie future est une entreprise hasardeuse. On peut néanmoins, en examinant le passé récent et des technologies encore au stade expérimental, se faire une idée de ce que les dix ou vingt prochaines années nous réservent.

Certains éléments de la technologie actuelle peuvent déjà accroître dans une proportion importante l'efficacité des communications mobiles. Quelques uns de ces éléments sont étudiés dans cette partie. Les efforts de la technologie future seront dirigés vers la réalisation, à partir des progrès acquis, de produits économiques pour la radio mobile.

La technologie future améliorera les performances des appareils de radiocommunications portatifs et mobiles et engendrera un besoin accru de voies.

1.1 LES CIRCUITS INTÉGRÉS

D'après la définition de l'IEEE (Institut américain des ingénieurs électriciens et électroniciens), un circuit intégré est une combinaison d'éléments de circuits interconnectés, indissolublement réunis sur ou dans un substrat continu. Bien qu'en général le terme s'applique à des ensembles d'éléments de circuits interconnectés réalisés grâce aux techniques des couches minces, des couches épaisses ou des pastilles multiples, l'usage actuel le rapporte au circuit intégré monolithique.

Le circuit intégré est une combinaison de plusieurs éléments électriques (transistors, diodes, résistances, condensateurs, etc.) et de leurs raccords, déposés sur une petite pastille de silicium grâce à la technique des masques. Comme son frère le transistor au silicium, le circuit intégré est caractérisé par un encombrement réduit et une faible consommation d'énergie. Les circuits intégrés monolithiques ont atteint un stade de développement qui assure une grande sûreté de fonctionnement. De plus, les techniques de traitement par lots rendent ces dispositifs économiquement adaptables à une utilisation massive.

Les circuits numériques que l'on rencontre dans les ordinateurs, les systèmes de contrôle et dans l'électronique militaire et spatiale constituent un domaine dans lequel les circuits intégrés monolithiques ont trouvé de nombreuses applications. Leur utilisation dans les circuits analogiques ou linéaires, comme ceux du matériel de communications mobiles, a été plus lente à cause de la diversité fonctionnelle rencontrée dans ce domaine et de la difficulté de parvenir à des prix concurrentiels pour un degré de précision acceptable. L'absence d'un produit de remplacement convenable pour les inducteurs impose également des restrictions. Les circuits intégrés ont trouvé une application limitée dans les amplificateurs de fréquence intermédiaire et de fréquence vocale, en particulier dans les récepteurs individuels pour lesquels le facteur d'encombrement est important. Les cinq prochaines années verront une utilisation courante des circuits intégrés dans le matériel de communications mobiles. On parviendra à ce résultat parce qu'au cours de cette période les circuits intégrés atteindront leur plateau optimal, alors qu'ils auront une plus grande fiabilité et un prix moins élevé que celui des composants discrets. Dans les cinq années à venir, on assistera aussi à l'utilisation croissante des circuits numériques dans les communications mobiles. L'emploi des circuits intégrés est d'ailleurs déjà généralisé dans les dispositifs numériques.

La possibilité d'adjoindre un nombre croissant d'éléments actifs pour obtenir des circuits complexes et à fonctions multiples sans augmentation importante du prix constitue un avantage de la fabrication par lots des circuits intégrés. Nous disposons ainsi de l'intégration à moyenne échelle, qui permet la

réalisation d'environ 25 circuits intégrés sur une seule pastille de silicium, ou de l'intégration à grande échelle, qui permet d'avoir plus de 100 éléments fonctionnels et peut-être quelques 2000 raccords sur une seule pastille.

Comme les circuits intégrés, l'intégration à grande échelle aura d'abord des applications dans l'industrie des ordinateurs où elle assurera la production à bas prix de circuits logiques et de registres à décalage de mémoire d'encombrement réduit. Dans ce marché, ces dispositifs continueront probablement à évoluer au cours des dix prochaines années. C'est ensuite qu'on s'occupera des applications de l'intégration à grande échelle dans le domaine des communications mobiles.

Le récepteur ou l'émetteur-récepteur individuel de communications constitue un candidat évident à l'intégration à grande échelle. Au stade final, l'élément de circuit actif de ces appareils ne comprendra plus qu'une seule pastille. Il y aura dans l'intervalle une période de transition au cours de laquelle on utilisera des composants discrets, puis des circuits intégrés à fonction simple et des sous-ensembles hybrides sur câblage imprimé, et enfin, les techniques des couches minces et épaisses.

1.2 LES ORDINATEURS

Au cours des années 60, les dimensions et les possibilités des ordinateurs de la troisième génération utilisant la technologie des circuits intégrés se sont accrues. Les réductions du prix des dispositifs fondamentaux utilisés dans les circuits logiques et les mémoires ont donné naissance au petit ordinateur. On utilise maintenant ces circuits dans un grand nombre de dispositifs fonctionnant en direct. La production en série au cours des cinq prochaines années, ainsi que l'intégration à grande échelle vers la fin de la décennie, amèneront une diminution continue des prix et, partant, une utilisation plus généralisée.

L'application la plus importante de l'ordinateur aux communications mobiles réside peut-être dans les services de sécurité publique dans lesquels la fonction de commande et de contrôle serait ainsi mieux assurée.

Allié à un système de localisation des véhicules, l'ordinateur assurera plus efficacement une partie importante du travail du répartiteur. En premier lieu, on peut tenir un état constamment à jour du matériel et du personnel disponibles et l'afficher sous des formes diverses. En deuxième lieu, le répartiteur peut agir de concert avec l'ordinateur au moyen de programmes préalablement établis pour choisir la solution appropriée au cas à traiter. Enfin, il apportera son soutien dans l'accomplissement de la tâche en choisissant les unités

appropriées et en leur communiquant les renseignements nécessaires.

En ce qui concerne la répartition, le service de radiocommunications commerciales bénéficiera des mêmes avantages. On pourra en fait éliminer totalement certaines opérations simples de répartition. L'ordinateur pourrait recevoir par carte perforée un ordre de livraison d'un produit à une certaine adresse. Il localiserait alors le véhicule le plus proche de l'adresse, vérifierait s'il a le produit et donnerait des instructions au chauffeur par téléimprimeur. Le contrôle des stocks et la facturation constitueraient logiquement des opérations annexes de cette procédure.

Accès aux ordinateurs à partir de véhicules

Il est maintenant techniquement possible d'utiliser une voie radio entre un véhicule et sa station de base pour avoir accès directement aux données d'un ordinateur central à partir du véhicule. Une demande de renseignements, établie dans le véhicule par l'intermédiaire d'un clavier, est traduite par un codeur approprié en signaux pouvant être transmis par radio. Au centre de répartition, les signaux reçus sont dirigés automatiquement vers l'ordinateur qui traite le message d'arrivée et explore les mémoires pour obtenir l'information désirée. Cette information, ou toute autre réponse correctement composée, est automatiquement mise sous forme codée et envoyée à la station de base pour être transmise au véhicule lorsque la voie sera libre. Dans le véhicule, le récepteur dirige le signal vers un décodeur qui assure sa traduction en une forme permettant de commander un téléimprimeur mobile ou tout autre dispositif d'affichage (par exemple, un tube à rayons cathodiques).

Cette technique est au stade expérimental. Il est possible que le matériel nécessaire soit bientôt disponible dans le commerce, pourvu que le ministère des Communications autorise ce genre d'utilisation des voies radioélectriques et qu'on puisse augmenter suffisamment le rapport demande/prix. Le point critique dans ce système est de pouvoir utiliser la voie radioélectrique pour la transmission des données sans risque d'interruption par la station de base ou d'autres stations mobiles. Il est probable que ce problème sera résolu par l'attribution d'une voie réservée à la transmission des données, puisqu'on prévoit une très forte demande dans ce domaine.

Grâce à la réduction des prix, on disposera d'ordinateurs dotés de grandes mémoires mais de petites unités de traitement qui permettront de dresser un fichier central qui contiendra divers renseignements (immatriculations, cartes routières, renseignements sur l'état des véhicules) directement accessibles aux véhicules en déplacement. Les appareils de transmission des données installés dans le véhicule seront remplacés par de petits

ordinateurs de type mobile qui décentraliseront ainsi certaines fonctions et assureront des communications plus efficaces avec l'ordinateur central. L'emploi de ce matériel sera généralisé vers 1990.

D'après certains chercheurs, l'accès à un ordinateur central ou à des données en mémoire à partir d'un véhicule en mouvement pourra se faire sans clavier. On préférera l'interrogation parlée directe par radio. C'est ainsi qu'un dispositif de reconnaissance de la parole permettra par exemple à un agent de police de demander, en gardant l'attention sur la route et les mains sur le volant, la vérification de l'immatriculation d'une voiture pendant une poursuite dangereuse à grande vitesse. L'appareil de reconnaissance de la parole convertira la demande de renseignements parlée en langage machine. La réponse de l'ordinateur par radio pourrait être présentée sous forme numérique au téléimprimeur mobile du véhicule, ou sous forme parlée (voix synthétique) au haut-parleur de la radio de bord.

La plus grande partie du travail de recherche concernant la reconnaissance de la parole s'effectue dans les laboratoires des grandes compagnies de téléphone et des fabricants d'ordinateurs et dans certaines universités. Une partie de ces recherches est subventionnée par le gouvernement, surtout à des fins militaires. On a fait quelques progrès dans ce domaine: une machine a pu reconnaître quelques mots. Il reste cependant beaucoup à faire. En dehors du besoin fondamental d'un vocabulaire assez important, la machine doit pouvoir comprendre les différentes inflexions, les différences individuelles de timbres et de tons, les différences régionales, les accents étrangers, etc. Ces questions semblent difficiles à résoudre comme le prouvent la lenteur des progrès réalisés en dix-sept ans. Le matériel d'exploitation ne sera probablement pas mis au point au cours des cinq années à venir. Avec l'utilisation d'un vocabulaire simple et réduit, on peut envisager la possibilité de l'accès parlé aux ordinateurs dans les dix ans à venir.

1.3 SIGNALISATION ET LOGIQUE NUMÉRIQUES

Les signaux de données composés d'impulsions électriques séparées dans le temps sont intrinsèquement numériques. Ils n'exigent par conséquent aucune conversion pour leur transmission au moyen d'un système numérique. La transmission numérique présente l'avantage d'être moins sensible au bruit pendant la transmission grâce au codage et à la régénération d'impulsions pures avant le décodage. Dans le domaine mobile terrestre, la transmission numérique a été jusqu'ici limitée aux systèmes d'appels sélectifs. Cependant, la transmission bidirectionnelle de données pour les ensembles mobiles se généralise, en particulier dans les systèmes de téléimprimeur et de localisation des véhicules. Ces systèmes sont devenus rentables grâce à la diminution du prix et à l'amélioration de la fiabilité du

transistor au silicium pendant les cinq dernières années, et aussi en raison du développement des circuits intégrés monolithiques.

De nouveaux progrès dans le domaine des semi-conducteurs, en particulier dans l'intégration à grande échelle, amèneront de nouvelles diminutions du prix du matériel numérique, à tel point qu'on peut envisager son utilisation courante pendant les années 70.

La technologie analogique et la technologie numérique progresseront parallèlement au cours des années 1970, car la conversion d'un signal analogique de fréquence sonore en signal numérique pour la transmission par radio est encore irréalisable à cause des besoins de largeur de bande (un signal sonore numérique occuperait jusqu'à 16 fois la largeur de bande requise pour le même signal sous forme analogique). Le développement de nouvelles techniques qui permettront une conversion efficace analogique-numérique par élimination des redondances sera probablement réalisé dans les années 80. On pourra alors appliquer les avantages de la transmission numérique à tous les signaux.

Au départ, les facteurs économiques pourront imposer l'utilisation de voies communes pour la transmission de l'information analogique et numérique. Il faudra plus tard attribuer une voie particulière au service de transmission numérique des données.

La transmission numérique d'un signal analogique (par exemple la voix) se fait généralement au moyen de la modulation par impulsions codées (MIC). Le signal MIC est produit par échantillonnage de l'amplitude du signal initial à un rythme assez élevé pour que les propriétés du signal puissent être reproduites avec fidélité. Pour cela, il faut que la fréquence d'échantillonnage soit le double de la fréquence la plus élevée du signal analogique. La valeur numérique de l'échantillon est alors convertie en un nombre binaire qui est représenté par une suite d'impulsions (bits) 1 ou 0. Pour une reproduction assez fidèle de la parole, il faut de 6 à 8 bits par échantillon. La largeur de bande nécessaire pour la transmission serait donc de 12 à 16 fois supérieure à la fréquence la plus élevée du signal analogique.

Heureusement, les signaux MIC se prêtent à la suppression des redondances ou aux techniques de réduction de largeur de bande.

La suppression des redondances repose sur l'hypothèse que l'amplitude d'un signal suit une courbe qui dépend de l'amplitude des quelques signaux précédents. La suppression des redondances alors que le signal est sous forme analogique est difficile. On

peut cependant faire passer le signal MIC dans des circuits logiques simples pour éliminer l'information superflue.

La technologie actuelle permet de réduire d'un facteur de cinq environ la largeur de bande nécessaire à la transmission numérique de la parole. Cela est encore trois fois supérieur à la largeur de bande en transmission analogique non traitée. Même avec une telle largeur de bande, le caractère naturel de la voix est quelque peu altéré. Il faut par conséquent accepter des compromis importants en ce qui concerne la qualité de reproduction de la voix et la simplicité des circuits et du matériel si on veut encore diminuer la largeur de bande.

Il existe plusieurs façons de réduire la largeur de bande, en voici quelques exemples: la méthode d'approximation des formes d'onde, la modulation Delta, l'échantillonnage des extrêmes, les vocoders et la reconnaissance électronique de la parole. Bien que cette dernière méthode élimine le caractère naturel de la voix, elle présente les meilleures possibilités de réduire la largeur de bande. Il est possible qu'on puisse l'appliquer aux systèmes de contrôle et de vérification de la police, étant donné qu'elle garantit de par sa nature même le secret des transmissions.

Au cours des cinq prochaines années, on trouvera de nombreuses applications des circuits numériques aux communications mobiles. Cela stimulera la mise au point de dispositifs de conversion analogique-numérique qui permettront des communications directes personne-machine vers 1990.

1.4 LES SYNTHÉTISEURS

Des appareils de synthèse des fréquences de faible encombrement, qui peuvent engendrer les nombreuses fréquences nécessaires au matériel militaire tactique, et dernièrement aux communications air-sol, ont déjà été mis au point. Jusqu'à présent, la technologie n'a pas progressé au point de permettre une application rentable au service mobile terrestre, en dépit du fait que les oscillateurs d'un émetteur-récepteur mobile multivoie peuvent représenter un pourcentage important (30% dans certains cas) du prix total de l'appareil.

L'utilisation efficace des installations mobiles exige que chaque ensemble mobile soit exploité sur un grand nombre de fréquences. Des systèmes de sécurité publique, comme les réseaux de la police et des pompiers, nécessitent actuellement jusqu'à 12 voies pour la surveillance et le contrôle efficaces d'une grande région métropolitaine. A cause du nombre important de véhicules, les systèmes de transport urbain auront également besoin d'une capacité multivoie dans chaque unité mobile. Auparavant, seuls les systèmes téléphoniques mobiles nécessitaient un tel nombre de voies. Le développement de ce service et l'introduction du

concept cellulaire au cours des dix ou vingt prochaines années va causer une telle demande de services mobiles que les techniques actuelles ne pourront suffire à y répondre.

La synthèse de fréquence représente la solution évidente. Dans les dix prochaines années, les perfectionnements technologiques permettront la mise au point d'appareils radio utilisant cette méthode. On prévoit leur généralisation d'ici vingt ans.

1.5 TÉLÉIMPRIMEURS MOBILES

La réunion des technologies fondamentales modernes a permis la production de téléimprimeurs de faible encombrement pour l'usage mobile. Le faible encombrement, la haute fiabilité, la résistance aux chocs et aux vibrations et une faible consommation d'énergie étant essentielles au service mobile, ce sont uniquement les circuits intégrés qui ont permis la réalisation de ces téléimprimeurs. Des progrès récents assurent la reproduction de 100 mots par minute dans un véhicule tout en simplifiant les pièces mécaniques. Il existe un dispositif utilisant des cristaux piézoélectriques à la place des marteaux d'impression bruyants à solénoïde qui font une grande consommation d'énergie. La partie mécanique du nouveau dispositif se limite au mécanisme d'avancement du papier et au rouleau porte-papier.

Un papier sensible à la pression monte en passant par l'avant du rouleau porte-papier qui comporte un support spirale saillant tournant à vitesse constante. Il n'y a ni mise en marche, ni arrêt du papier, ni retour du chariot. Cela élimine tout détail mécanique supplémentaire. Six marteaux sont indépendamment et temporairement entraînés vers l'avant. Leur barre d'impression biseautée marque le papier d'un point là où elle coïncide avec l'arête hélicoïdale. Chaque ligne compte trente-six caractères; chacun d'entre eux est formé d'une matrice de 5 x 7 points. Toutes les rangées supérieures de points de tous les caractères sont imprimées avant la deuxième rangée. On réalise cela en entraînant les six marteaux à l'aide de six trains d'impulsions parallèles. On obtient une rangée de points à chaque révolution de la spirale. L'avantage de ce système est que les impulsions parasites de la voie de transmission ont peu d'influence sur le taux d'erreurs du message, car les caractères restent lisibles même si une rangée complète de points est altérée par une impulsion parasite.

Le téléimprimeur mobile est maintenant prêt pour l'utilisation en service mobile. Il faut tenir compte de quelques considérations d'organisation des systèmes telles que les avantages d'une voie de communication particulière. Le matériel est cependant prêt pour ceux qui en ont besoin. En raison des diminutions de prix dues à la production à plus grande échelle, son usage sera généralisé en 1975.

1.6 ANTENNES INTÉGRÉES

Une antenne est intégrée ou active quand un composant actif, tel qu'une diode ou un transistor, est incorporé à l'élément ou aux éléments rayonnants. L'utilisation de dispositifs passifs tels que les condensateurs, les selfs, etc. pour l'adaptation d'impédance des petites antennes est bien établie, bien que la bande passante qui en découle soit généralement inférieure à 1%. Quand la taille de l'antenne est de un dixième de longueur d'onde ou moins, le coefficient de surtension est très élevé, la bande passante est extrêmement étroite et l'adaptation d'impédance nécessite des méthodes spéciales.

En utilisant un transistor encastré dans la structure de l'antenne, la distribution de courant peut être amplifiée à un point tel que la composante résistive équilibrera la ligne de transmission sur une importante bande de fréquence. L'utilité pratique de petites antennes équipées de transistors a été démontrée (bibliographie, réf. 8). Elles ont été mentionnées ici, non pas à cause d'applications actuelles au domaine des communications mobiles, mais parce que le concept ouvre de nouveaux horizons dans la recherche sur les antennes. Grâce à l'apparition de nouveaux dispositifs, on peut raisonnablement penser que les réseaux d'antennes à éléments intégrés pourront être utilisés dans les communications lorsque la dimension de l'antenne est un facteur important.

1.7 LA TELEVISION À BALAYAGE LENT

La technologie de la télévision a permis de mettre au point un moyen de transmission de l'information visuelle sur des voies beaucoup plus étroites que la largeur de bande normale NTSC de 6 MHz. Les techniques de balayage électronique lent ne sont applicables que si les scènes à transmettre ne comportent pas d'objets en mouvement rapide ou si on peut tolérer un certain flou des images.

Il existe deux méthodes possibles. On peut utiliser un adaptateur pour convertir un signal vidéo normal de caméra en signal à bande étroite. Il est aussi possible d'utiliser des circuits spéciaux de caméra pouvant engendrer directement les signaux de bande étroite.

La largeur de bande nécessaire à la transmission est fonction directe du nombre d'images à transmettre par seconde et de la définition désirée de l'image. On peut adapter le signal à une voie téléphonique de 3 kHz et le transmettre ainsi par radio bidirectionnelle.

Un dispositif récepteur correspondant est nécessaire pour la conversion des signaux en une forme affichable.

La technologie de la télévision à balayage lent est déjà bien connue. Des recherches plus poussées seront sans aucun doute nécessaires pour que les prix de revient descendent à un niveau qui favorisera l'utilisation à grande échelle. On prévoit que les organismes de police seront les premiers à appliquer cette technique aux communications mobiles.

1.8 LES RÉPÉTEURS

1.8.1 Répéteurs hétérodynes

Ce genre de répéteur permet l'amplification et la retransmission d'un signal sans démodulation ni remodulation. Les stations qui utilisent ces répéteurs assurent l'acheminement des signaux d'unités mobiles dans un système de grande étendue, sans produire la distorsion et la détérioration que causerait le passage successif par plusieurs répéteurs ordinaires qui chacun démodulerait et remodulerait le signal.

Bien que cette méthode ait été appliquée en Europe (bibliographie, réf. 10), au Canada il est plus courant de relier les répéteurs mobiles par des installations de réseau dans les systèmes linéaires (pipe-lines, chemins de fer).

Nécessitant moins de voies, le répéteur hétérodyne présente des avantages de rentabilité et de conservation du spectre.

La mise en service de ce système au Canada pourrait constituer un moyen de remédier à l'encombrement du spectre dans les endroits où on utilise les voies mobiles terrestres pour l'interconnexion des répéteurs de base.

1.8.2 Répéteur à fréquence unique (bibl., réf. 9)

Le répéteur à fréquence unique représente une autre réalisation intéressante. Diverses méthodes ont été proposées et essayées pour amplifier et retransmettre simultanément un signal d'arrivée sur la même fréquence. Certaines de ces méthodes utilisent des antennes directionnelles pour assurer l'isolement nécessaire entre la sortie et l'entrée; d'autres emploient un équilibrage compliqué ou des techniques de retard. Sous ses formes actuelles, il est douteux que le répéteur à fréquence unique provoque une révolution dans l'industrie. On continuera cependant probablement à l'utiliser pour des applications spéciales.

1.8.3 Répéteurs mobiles

Ces répéteurs sont conçus de telle manière qu'une station mobile peut retransmettre automatiquement des signaux entre des émetteurs radio portatifs à faible puissance et leurs stations de base.

Quand elle sert de répéteur, la station mobile doit être conçue de manière à n'être mise en marche que par une tonalité continue dont l'absence mettra l'émetteur au repos. La station mobile peut aussi être équipée d'un commutateur la mettant sur la position répéteur et d'une minuterie de mise hors circuit réglée sur trois minutes. Si on utilise cette méthode, le dispositif de tonalité continue n'est pas nécessaire.

Il existe un certain nombre de dispositifs qui peuvent être adaptés aux systèmes à répéteurs mobiles. Chacun de ces appareils présente des problèmes de brouillage engendrés par l'utilisation d'un répéteur dans un véhicule, il faut donc prendre des mesures spéciales de planification afin qu'il puisse fonctionner de façon efficace.

Dans la sélection des fréquences des systèmes, il faut tenir compte de la désensibilisation du récepteur à la fréquence de l'émetteur. Il faut également prendre en considération les limites d'encombrement imposées par les dimensions du véhicule pour l'utilisation de dispositifs d'isolement d'antenne. L'utilisation de deux antennes séparées à gain unitaire, l'une installée sur le toit et l'autre sur le coffre arrière du véhicule assureront un isolement d'environ 20 dB. Dans ce cas, il faudrait une séparation minimale de 4 MHz entre les fréquences d'émission et de réception pour un répéteur à 0.5 microvolt. Ces conditions supposent un matériel technique doté d'excellentes propriétés de désensibilisation et d'antiparasitage. Dans chaque système, il faudra faire l'analyse de tous les facteurs entrant en jeu afin d'obtenir un fonctionnement optimal du répéteur.

Le matériel moderne à transistors est généralement conçu de telle manière que l'alimentation n'est appliquée que lorsque l'émetteur fonctionne et que le récepteur est hors circuit. Le fonctionnement du répéteur exige néanmoins que l'alimentation soit appliquée tant à l'émission qu'à la réception. Il faut alors protéger le récepteur contre le bruit engendré par le circuit à multivibrateur de l'alimentation de l'émetteur. On peut y parvenir par le filtrage, l'isolement, par la combinaison des deux ou par l'utilisation d'un émetteur à semi-conducteurs fonctionnant sans circuits spéciaux d'alimentation.

L'objectif principal de ces systèmes étant d'augmenter la portée des émetteur-récepteurs portatifs individuels, en particulier à l'intérieur des bâtiments, les caractéristiques de propagation des différentes bandes de fréquences par rapport au rendement des postes radio portatifs sont un autre facteur à considérer. On estime que dans la plupart des cas la pénétration des structures par les hautes fréquences est généralement meilleure au-dessus de 150 MHz, et surtout au-dessus de 450 MHz. L'inefficacité relative des antennes d'appareils radio portatifs aux fréquences plus basses vient encore justifier ce choix. Par conséquent, l'utilisation de fréquences inférieures à 150 MHz

dans un système à répéteurs mobiles est généralement peu avantageuse.

Un important problème d'exploitation se pose lorsqu'on utilise plusieurs répéteurs mobiles dans un même système. Un dispositif portatif de transmission risque d'activer plus d'un répéteur. Il en résulterait des transmissions multiples provoquant des battements dans le récepteur de la station de base et rendant le signal inintelligible. On pourrait y remédier en utilisant un code distinct associant chaque système radio portatif à un seul répéteur. Ce procédé manque cependant de souplesse, car un dispositif portatif ne pourrait être utilisé qu'en association avec un véhicule donné. Par ailleurs, si le répéteur ou le dispositif portatif a besoin d'entretien, tous deux deviennent inutilisables à moins qu'on puisse changer facilement le code d'appel. Par ailleurs des méthodes d'exploitation permettant de s'assurer qu'un seul répéteur mobile fonctionne dans une zone donnée représenteraient peut-être la solution la plus simple, quoiqu'elle ne soit pas absolument sûre.

Nous n'avons pas essayé de déterminer les caractéristiques de fonctionnement des répéteurs mobiles, ni de traiter de leurs qualités par rapport à d'autres méthodes de communications portatives comme les systèmes de sélection à récepteur satellite fixe. Le choix d'un système dépend de facteurs tels que la zone géographique à couvrir, le nombre de personnes qui en sont équipées, le nombre de personnes par véhicule, etc.

Plusieurs essais de répéteurs mobiles permettent d'espérer des résultats satisfaisants. Ces essais ont démontré l'utilité technique du répéteur mobile. Les travaux maintenant en cours sont orientés vers le perfectionnement des systèmes et vers la simplification des systèmes à répéteurs mobiles conçus pour fonctionner dans des conditions réelles d'exploitation.

1.9 LES SATELLITES

Dans toute étude des communications de l'avenir, il est difficile de passer les satellites sous silence. Il est techniquement possible de réaliser une liaison par radio entre une station mobile terrestre et un satellite dans la bande de fréquences du service mobile. En outre, il n'est pas nécessaire pour cela que la station mobile soit équipée d'une antenne extrêmement compliquée. La garde côtière américaine a fait des essais réussis de transmission entre un satellite et des navires dans la bande de 160 MHz. Il faut cependant prendre certains facteurs en considération avant de se précipiter vers la mise en service de stations de répéteurs mobiles par satellite. Il faut d'abord remarquer que lorsqu'on utilise une fréquence dans un satellite, cette fréquence ne peut pratiquement pas être réutilisée en un autre point de l'hémisphère, en supposant qu'on ait un satellite synchrone et des antennes à faisceau

relativement large. Il est évident que le nombre d'usagers dans les bandes de fréquences du service mobile terrestre serait alors limité. Une antenne à faisceau très étroit permettrait de ne couvrir qu'une zone de la taille d'une grande ville. Cela modifierait quelque peu la situation. Par ailleurs, combien d'usagers du service mobile terrestre ont besoin d'étendre la portée de leurs appareils à l'échelle nationale? Il ne se présente d'abord à l'esprit que quelques services gouvernementaux. Les satellites et leur lancement étant extrêmement coûteux, on ne peut guère envisager pour l'avenir autre chose que des satellites possédés par des sociétés exploitantes de télécommunications et ayant des voies à multiplexage. Dans le service mobile terrestre, les satellites s'avéreront probablement très utiles pour les liaisons à grande distance entre des stations de base isolées et pour les communications à grande portée avec les navires, les avions et les véhicules terrestres en cas de grandes catastrophes (voir bibl., réf. 11).

2. NOUVEAUX BESOINS EN COMMUNICATIONS MOBILES

Introduction

La récente expansion gigantesque des services mobiles terrestres est le résultat de la mobilité croissante des gens ainsi que des besoins connexes de communications. Le développement de la mobilité et des possibilités de transport des marchandises et des services a renforcé la sécurité publique et a contribué directement à une meilleure utilisation de la plupart des marchandises et des services. Qu'il s'agisse de faire respecter la loi, d'améliorer les transports, d'assurer la livraison de combustible ou de béton pré-mélangé, la livraison économique et rapide de ces marchandises et de ces services profite au public.

Cependant, l'efficacité de ces services dépend dans une grande mesure des communications par radio pour la répartition efficace du personnel et du matériel. Ce recours constant aux communications radio est presque toujours dû au prix élevé d'un service mobile qui réponde aux besoins du public. Ce prix peut-être réduit grâce à des communications radio efficaces.

Quoique l'exploitation des communications portatives et mobiles ait connu une expansion foudroyante, les systèmes actuels sont loin d'offrir tous les avantages qui pourraient découler de l'application des techniques récentes et futures de communications. A cette époque de développement rapide de l'information, il n'est pas surprenant que la technologie nouvelle des communications permette la réalisation de services améliorés et de meilleurs produits. Les systèmes d'informatique, la technologie des ordinateurs et des communications se sont réunis pour imprimer leur marque sur notre époque. On commence

seulement à prendre conscience de leurs répercussions sur les services mobiles. On peut se rendre compte de l'importance de ces répercussions quand on sait que les communications mobiles actuelles se limitent aux liaisons phoniques entre personnes. Ce niveau de communications, bien qu'il soit acceptable d'après les normes passées, n'est déjà plus suffisant.

Le besoin de développer le contenu et la forme des communications est aussi grand, pour ne pas dire plus grand, dans les communications mobiles de l'avenir que dans les communications fixes. Il ne s'agit pas de savoir s'il existe un besoin, mais plutôt de connaître l'étendue de ce besoin. Il s'agit aussi de savoir quel sera le spectre radioélectrique nécessaire pour éviter que les communications mobiles ne demeurent stagnantes au niveau actuel.

Bien qu'il ne semble pas possible d'évaluer quantitativement les répercussions de l'informatique, il est utile de déterminer les besoins prévisibles et de les comparer aux possibilités des techniques connues. Le besoin d'amélioration des communications mobiles découle de l'expansion des systèmes actuels grâce aux systèmes et aux techniques d'information.

Les domaines de l'information qui sont déjà considérés comme importants pour les systèmes mobiles comprennent:

- Les communications de documents
- La localisation des véhicules
- Le contrôle de l'état des véhicules
- L'accès aux ordinateurs à partir de véhicules
- Les systèmes d'alarme et de signalisation portatifs et mobiles
- Les systèmes visuels mobiles

Chacun de ces domaines requiert des possibilités supplémentaires de communications et suppose une augmentation correspondante des besoins de spectre radioélectrique. Le caractère général de chacun de ces domaines les rend applicables à des degrés divers à toutes les grandes catégories des communications mobiles terrestres. Il n'est pas utopique de penser que chacun d'entre eux sera utilisé sur une grande échelle au cours de la prochaine décennie.

Il faut ajouter à cela les nombreux problèmes des communications mobiles qui restent sans solution. Parmi ces problèmes, on peut citer les aides radio aux automobilistes en difficulté, la télésurveillance médicale d'urgence, le guidage

par radio de la circulation routière et la lutte contre la pollution. A mesure que l'on trouve des solutions à ces problèmes et qu'on les applique, il faut prévoir une nouvelle expansion de l'utilisation du spectre si on veut que le public en bénéficie.

Les communications mobiles de l'avenir créeront un besoin de fréquences très supérieur à celui qu'engendrent les communications phoniques actuelles. A mesure que de nouvelles réalisations viendront ajouter aux possibilités des communications mobiles, le nombre de personnes et de véhicules équipés de dispositifs de radiocommunications s'accroîtra à un rythme qui sera bien supérieur au rythme actuel.

L'industrie électronique s'adapte à l'évolution des besoins au moyen du développement continu d'idées et de dispositifs nouveaux ainsi que par l'utilisation de nouvelles méthodes de production et de transmission de l'information.

2.1 COMMUNICATIONS INDIVIDUELLES

Depuis quelques années, on utilise de plus en plus de petits appareils radio individuels qui viennent s'ajouter aux appareils plus volumineux installés à bord de véhicules. Les appareils portatifs individuels utilisés par le personnel des aéroports, par les agents de police en patrouille et par les ingénieurs faisant leur tournée dans les ateliers, en sont des exemples. A la base de cette tendance, il y a le désir de communiquer avec une personne, et non avec un véhicule.

Il ne fait pas de doute que la technologie nouvelle a contribué à la réalisation de ces applications en assurant une fiabilité accrue, un rendement meilleur, une consommation d'énergie plus faible et une réduction de l'encombrement et du poids.

Les communications individuelles constituent un exemple classique de l'expansion de l'exploitation qui découle des progrès technologiques et qui s'accompagne d'un besoin plus grand de spectre. L'expansion rapide des communications radio individuelles est essentiellement due au perfectionnement des produits (diminution du poids et de l'encombrement, puissance accrue en haute fréquence, augmentation de la durée des piles et souplesse d'utilisation) et non aux besoins d'exploitation déjà connus.

Nous allons examiner deux des concepts les plus avancés des radiocommunications individuelles.

Émetteur-récepteur de casque

Le développement des transistors, suivi de la miniaturisation et de la microminiaturisation des circuits électroniques, a mené à la réduction continuelle de l'encombrement et du poids des appareils radio bidirectionnels. Ensuite, avec l'arrivée de circuits intégrés répondant aux normes militaires, la réalisation d'un récepteur ou même d'un émetteur-récepteur complet (combinaison d'un émetteur et d'un récepteur utilisant en commun certains circuits pour l'émission et la réception), qui s'adaptait ou se fixait sur le casque d'un soldat, est devenue possible. Le U.S. Signal Corps ainsi que d'autres services disposent de plusieurs versions d'appareils radio de casque. Dans certains, seuls l'antenne, le microphone et les écouteurs sont fixés au casque, tandis que l'appareil radio proprement dit et sa source d'alimentation se portent dans une poche de la chemise ou de la veste. On peut utiliser les mêmes techniques en ce qui concerne les appareils employés par la police, les ouvriers du bâtiment, etc.

La portée des émetteurs miniatures de ce genre est limitée par la forme et la position de l'antenne ainsi que par la puissance des piles ou batteries adaptables aux appareils portatifs.

Au cours des cinq dernières années, l'industrie des semi-conducteurs a connu une évolution considérable. La réalisation rapide de dispositifs nouveaux ainsi que le développement des circuits intégrés permettent dans l'état actuel de la technique de réaliser des appareils radio de casque.

Dans les cinq années à venir, grâce à l'utilisation des circuits intégrés à grande ou moyenne échelle et des circuits microélectroniques hybrides, on pourra certainement fabriquer des appareils radio de casque d'une puissance de sortie comparable à celles des appareils portatifs actuels. On pense aussi que les progrès de la technologie des piles permettront de fabriquer à l'avenir des appareils de plus en plus petits.

La "radio-bracelet"

L'appareil radio bidirectionnel entièrement autonome, de poids et d'encombrement suffisamment réduits pour pouvoir être porté au poignet n'est pas encore réalisé et ne le sera probablement pas avant longtemps, à moins qu'on veuille se contenter de puissances d'émission et de sortie extrêmement faibles et d'une durée de piles très courte.

En revanche, les circuits intégrés et les techniques de microminiaturisation qui permettent la réalisation de la radio augmentent les possibilités de réaliser un récepteur bracelet. On pourrait avoir un récepteur complet comprenant un haut-parleur

miniature dont la source d'alimentation devrait cependant être portée séparément. On doute toutefois que le haut-parleur soit utile ou nécessaire. Sa puissance de sortie serait obligatoirement basse, et dans un milieu bruyant son utilisateur devrait le tenir près de l'oreille. Cet état de choses représenterait un handicap pour une personne dont les mains sont occupées à d'autres travaux. Une meilleure méthode consisterait à installer un haut-parleur sur le revers de la veste, ou un écouteur dans l'oreille qui serait relié à l'appareil porté au poignet par des fils dissimulés sous une manche de chemise ou incorporés au tissu. Le couplage électromagnétique sans fil entre l'appareil et le haut-parleur constituerait un autre perfectionnement possible.

D'ici cinq à dix ans, on pourrait parvenir à réaliser une version simple de récepteur bracelet (sans pile ni haut-parleur). Il faudra attendre plus longtemps pour qu'un appareil bidirectionnel complet comprenant un émetteur à faible puissance soit réalisable.

Pour plus de renseignements sur les perspectives d'avenir des communications individuelles, consulter le mémoire de M.F.R. Eldridge, publié dans le rapport d'Eugene V. Rostow, en juin 1969, et intitulé "Concepts for Improving Land Mobile Radio Communications".

2.2 IDENTIFICATION DES VÉHICULES

Les véhicules d'un réseau radio mobile sont actuellement identifiés par l'opérateur en début de transmission. A l'avenir, cette méthode présentera trop de lenteur et d'inefficacité surtout quand la transmission numérique sera réalisée. L'identification des véhicules par transmission automatique d'un signal codé au début de chaque communication caractérisera les systèmes futurs. On pourra ainsi réduire l'encombrement des voies, accuser réception d'un signal central d'invitation à émettre, localiser l'origine d'un signal d'alarme sans donner l'éveil aux voleurs. Cela servira aussi à des fins d'enregistrement lorsque les données relatives aux véhicules sont mémorisées à la station centrale.

Le chauffeur utilisera le système d'identification du véhicule quand il désirera entrer en contact avec le centre de répartition. Une pression sur un bouton émet le signal d'identification du véhicule. A la station, il est présenté sur un dispositif d'affichage pendant que son accusé de réception est émis. On peut enregistrer un certain nombre de ces appels pour qu'ils puissent être traités dans leur ordre de réception par le répartiteur.

Si un chauffeur d'autobus est attaqué par un voyou, il peut déclencher un signal d'alarme à l'aide d'un interrupteur actionné

par le pied, qui envoie un signal d'alarme codé, l'identification et peut-être la position du véhicule à la police.

Bien que l'identification des véhicules puisse servir en tant que technique distincte à mieux utiliser les voies radio, il est probable qu'elle deviendra partie intégrante d'un système numérique plus complet qui comprendra des renseignements sur l'état et la position des véhicules. Dans les deux cas, le problème ne présente aucune difficulté technique. Seul le facteur prix en entrave la généralisation. On pense surmonter cet obstacle au début des années 1970 grâce aux dispositifs mobiles à circuits intégrés.

2.3 CONTRÔLE DE L'ÉTAT DES VÉHICULES

La répartition efficace des effectifs mobiles nécessite une connaissance précise de l'état de chacun de leurs éléments. Le chauffeur est-il ou non dans son véhicule? Est-il occupé à une tâche? Quelle est l'urgence de cette tâche? Est-il disponible pour un autre travail? Si on doit obtenir ces renseignements par communication phonique, non seulement on gaspille les voies radio, mais on subit des retards dus aux difficultés de mise à jour des renseignements.

Dans ce domaine, il serait évidemment utile d'obtenir continuellement des données sur l'état des véhicules. Cependant, une telle précision et une telle vitesse ne sont pas nécessaires dans la plupart des systèmes. On pourrait très bien se contenter d'un dispositif qui passerait en revue tous les véhicules lorsque les voies radio sont libres.

Un système automatique ferait encore appel à une certaine discipline de la part de l'opérateur mobile qui devrait inscrire tous les changements d'état à l'aide d'un dispositif de codage. D'une manière générale, le contrôle de l'état des véhicules sera incorporé à un système de localisation pour que les données concernant la position d'un véhicule soient transmises en même temps que son état.

Nous disposons déjà de la technologie fondamentale nécessaire à la production d'un matériel de répartition plus moderne. Cependant, les techniques de répartition et les méthodes phoniques sont très souvent encore les mêmes qu'il y a vingt ans alors que mise en application de la nouvelle technologie était limitée par son évolution trop rapide. Les usagers hésitaient en effet à engager des fonds importants dans la modernisation parce qu'ils avaient de bonnes raisons de penser que le matériel serait périmé dès son entrée en service. Au cours des années 1970, on assistera à un regroupement des techniques et à leur application généralisée. La technologie sera orientée vers la coordination du matériel dans les systèmes et vers la diminution du prix. On

recherchera des systèmes commandés par des ordinateurs qui seront programmés de manière à permettre l'expansion future.

2.4 LOCALISATION DES VÉHICULES

Problèmes techniques

Le problème général de la localisation des véhicules consiste à déterminer une position dans un milieu bidimensionnel et de la communiquer à un observateur. La réalisation automatique (sans aucune intervention humaine) de cette opération est souhaitable. Le dispositif de localisation doit avoir un système de référence et certains moyens de mesurer ou de relever les coordonnées de repérage par rapport à un point de repère. En plus de la localisation, le système doit pouvoir communiquer ces données à un poste central (ou à plusieurs postes si les conditions d'exploitation l'exigent) et identifier le véhicule en cause.

a) Systèmes de coordonnées

Dans un plan, il existe plusieurs moyens de déterminer la position. Ils s'appuient tous sur la connaissance d'angles ou de distances appropriés. Six systèmes possibles de repérage sont énumérés et brièvement décrits ci-dessous. Les deux premiers sont couramment employés. Tout dispositif de localisation utilisant un système de repérage autre que les deux premiers devra probablement convertir les renseignements de sortie dans l'un des deux premiers pour que l'opérateur humain (le répartiteur, par exemple) puisse les comprendre.

Les systèmes possibles de repérage sont les suivants:

(i) Coordonnées cartésiennes (x et y ou coordonnées rectangulaires)

La mesure de deux distances par rapport à deux axes perpendiculaires détermine la position. Il faut disposer d'un point de repère commun. Ce système est le plus naturel pour l'opérateur humain. Il peut s'appliquer aux villes dotées de voies de circulation parallèles et perpendiculaires.

(ii) Coordonnées polaires

Il faut déterminer un angle et une distance à partir d'un point et d'un axe de référence. C'est aussi un système naturel en ce sens qu'il est utilisé couramment pour la navigation (avec la boussole). C'est aussi le système de repère des répondeurs.

(iii) Triangulation

Trois points de repère sont nécessaires. On doit connaître soit leur angle par rapport au point à localiser, soit l'inverse. On peut n'avoir besoin que de deux angles si le déplacement du véhicule est limité de telle manière qu'il reste à l'écart de la ligne reliant deux points de repère. Ce système est utilisé dans les radiogoniomètres.

(iv) Relèvement de trois distances

On relève les distances par rapport à trois points de repère. Comme dans le cas de la triangulation, on n'a besoin que de deux distances si la zone de déplacement du véhicule est limitée. La position du véhicule est à l'intersection de deux ou de trois arcs de cercle. Si une distance reste constante, le lieu géométrique du déplacement du véhicule sera un cercle. Ce genre de relèvement est obtenu dans les avions à l'aide des dispositifs de télémessure.

(v) Relèvement de deux distances différentielles

On fait deux relèvements de la différence de trajet par rapport à trois points de repère. La position du véhicule se trouve à l'intersection de deux hyperboles. Quand la différence de parcours est constante, le lieu géométrique de déplacement du véhicule est une hyperbole. On emploie ce système de repérage dans les appareils de radionavigation Loran.

(vi) Relèvement de deux angles différentiels

On prend deux relèvements des différences angulaires par rapport à trois points de repère.

b) Techniques de localisation

On dispose de trois techniques fondamentales de localisation quel que soit le système de repérage adopté. La technique la plus facilement applicable à un système de localisation de véhicules est probablement le relèvement direct des angles ou des distances à l'aide de techniques apparentées à celles du radar. Les deux autres techniques possibles sont la mise en place d'un "milieu codé" et l'utilisation du relèvement dérivé ou indirect. Ces techniques sont traitées séparément ci-dessous.

(i) Relèvement direct

On peut relever directement une position en émettant des signaux appropriés entre un véhicule et un ou plusieurs points de repère. Ainsi qu'on l'a dit ci-dessus, les relèvements se composent d'un ensemble d'angles ou de distances ou des deux à la fois.

On dispose de deux types de signaux. Nous avons d'une part le rayonnement électromagnétique, qui comprend un large spectre de fréquences depuis les bandes radio d'utilisation courante jusqu'aux ultraviolets, en passant par la lumière optique visible et les infrarouges, et d'autre part, les ondes sonores, qui comportent les fréquences audibles et les ultrasons.

On emploie des antennes directionnelles pour mesurer les angles. On relève les distances en calculant le temps nécessaire à une onde pour les parcourir. La vitesse de propagation étant relativement constante, il est facile de convertir ce temps en distance.

Dans cette application, le son dispose d'un avantage certain sur les ondes électromagnétiques, car sa vitesse de propagation étant moins grande, la précision dans la mesure du temps est moins critique. L'atténuation rapide du son constitue cependant un inconvénient majeur.

Pour cette raison, il semble qu'on préférera utiliser les ondes radioélectriques dans les systèmes de mesure directe, sauf peut-être pour les petites distances. Le spectre des fréquences radioélectriques est bien entendu très étalé. Chaque bande de fréquences a des caractéristiques de propagation très différentes. Le choix de fréquences radioélectriques est en outre compliqué par la nécessité d'obtenir des licences pour leur utilisation.

(ii) Milieu codé

La technique de codage du milieu est en fait la méthode qu'on utilise couramment pour déterminer une position. Cela n'est rien d'autre que le repérage de points, de numéros de rues et de signes ou de toute autre indication qui constitue un élément fixe de notre milieu. Pour déterminer notre position, nous référons ensuite les indications à notre mémoire ou à notre système de repérage. L'élément significatif est que notre milieu est codé ou doté en permanence des indications nécessaires. La société a dû consentir des dépenses considérables pour établir un système de

numérotation des rues et de signes d'orientation dans les villes et sur les routes. Sans ce système, nous serions irrémédiablement perdus dans les endroits peu familiers.

Les dispositifs électroniques ne peuvent malheureusement pas lire les indications visuelles destinées à l'homme. On peut toutefois créer un milieu artificiel composé d'indications radioélectriques, ou peut-être un autre genre d'indications qui pourraient être déchiffrées par un dispositif approprié.

Le dispositif à "poteaux indicateurs électroniques" est une application directe de cette technique.

Le problème essentiel de ce système n'est pas d'ordre technique. Il ne s'agit que de faire face aux frais d'installation, surtout en ce qui concerne les régions étendues.

(iii) Relèvement dérivé

On détermine la position des engins téléguidés et des sous-marins nucléaires grâce à un système connu sous le nom de guidage par inertie. Au lieu de procéder par relèvement direct de la position, cette méthode mesure les changements de position (vitesse ou accélération) et en fait l'intégration pour tirer les données relatives à la position du mobile. Ce procédé rappelle l'utilisation du compas en navigation en ce sens qu'on prend note des distances couvertes dans chaque direction qui a été prise. Si on connaît le point de départ, il est simple de calculer alors la position à n'importe quel point du trajet. On pourrait installer un tel système sur un véhicule en utilisant les données d'un compas et d'un compteur de distance.

Le problème technique principal de ce genre de système est l'accumulation des erreurs dans le processus d'intégration et la nécessité de corriger ces erreurs dans chaque véhicule.

c) Systèmes possibles

Ce paragraphe décrit brièvement quelques types de systèmes qui illustrent la grande diversité des systèmes pouvant remplir des fonctions de localisation des véhicules.

En particulier, et uniquement par souci de brièveté, nous ne décrivons que deux méthodes de mesure directe; mais il existe en fait de nombreuses possibilités. On se pose souvent la question suivante quand il s'agit de ce type de systèmes: "Jusqu'à quel

point pourrait-on utiliser l'équipement radio du véhicule pour éviter les frais d'une deuxième installation?" Le deuxième problème important posé par les systèmes à mesure directe est la propagation par trajets multiples et peut-être la faiblesse de la portée en zone urbaine.

(i) Répondeur radar

Dans ce système, on disposerait un réseau d'antennes directionnelles en un ou plusieurs points de repère fixes. Les données angulaires seraient fournies par la rotation de l'antenne. Afin d'obtenir une précision suffisante, on pourrait recourir à une technique d'équilibrage qui utiliserait deux antennes légèrement décalées ou des éléments à commutation électronique. On obtiendrait la distance au moyen d'un répondeur situé dans le véhicule qui renverrait automatiquement une impulsion de réponse au signal d'interrogation de la station fixe. En utilisant des mesures de corrélation de phases, la fonction de répondeur pourrait être remplie par l'installation radio FM bidirectionnelle du véhicule à laquelle on ajouterait certains circuits.

Avantages

1. On n'a besoin que d'un minimum de points de repère fixes; peut-être même d'un seul si le matériel utilisé a une portée suffisante.
2. L'antenne directionnelle peut aussi assurer une meilleure portée en phonie si on utilise un répondeur FM compatible.
3. On obtient aussi un système naturel de référence en coordonnées polaires qui n'a pas à être converti en un autre système.

Inconvénients

1. La distorsion due à la propagation par trajets multiples peut altérer les mesures de distances et d'angles. L'importance de cet inconvénient n'est pas connue et devrait être étudiée plus à fond.
2. Un répondeur FM compatible peut ne pas être assez précis. Dans ce cas, il faudrait équiper le véhicule d'un émetteur et d'un récepteur distincts et disposer d'une bande de fréquence assez large.

(ii) Système hyperbolique

Il faudrait installer trois points de repère équipés de récepteurs afin d'effectuer des mesures comparatives du temps de transmission d'un signal par le véhicule. On n'aurait pas besoin d'émetteur supplémentaire si un émetteur ordinaire FM à bande étroite peut être utilisé pour l'émission du signal du véhicule.

Avantages

1. Prix le plus bas possible pour le matériel installé dans le véhicule.
2. Pas d'émetteur supplémentaire à la station de base.

Inconvénients

1. La référence hyperbolique devrait être convertie par un ordinateur dans un système de repère qui soit compréhensible pour l'opérateur.
2. La précision des émetteurs FM à bande étroite peut être insuffisante.

(iii) Poteaux indicateurs électroniques

Ce système est composé d'un réseau de petits émetteurs peu coûteux disposés dans la région à couvrir. Ils émettent sur une courte distance un signal donnant leur code de position. Le véhicule reçoit ces codes et met le dernier reçu en mémoire et le retransmet sur demande de la station de base.

Avantages

1. Appareils mobiles de prix peu élevé.
2. Insensibilité aux effets de distorsion de la propagation par trajets multiples.
3. Lecture directe de n'importe quelle coordonnée de repère.
4. Contrôle précis du niveau de définition.

Inconvénients

1. La rentabilité du système dépend de la réalisation d'un émetteur peu coûteux monté sur poteau.
2. La précision est limitée par l'espacement des émetteurs. Le prix croît en fonction du carré de la précision requise.

REMARQUE: On peut développer l'idée fondamentale du poteau indicateur électronique de plusieurs manières par des mesures locales directes et rudimentaires de relèvements dérivés. Nous examinons cette méthode ci-dessous.

(iv) Système des relèvements dérivés (compas et compteur de vitesse)

Avec cette méthode, chaque véhicule enregistre les données relatives à sa position et les transmet à la station de base sur demande de cette dernière. Le véhicule relève sa position en intégrant la vitesse donnée par le compteur de vitesse et le cap indiqué par une boussole spéciale. On pourrait combiner cette méthode avec des poteaux indicateurs électroniques de manière à ce qu'une intégration très rudimentaire suffise. En effet, ce système éliminerait automatiquement les erreurs.

Avantages

1. Suppression des distorsions dues à la propagation par trajets multiples.
2. En supposant que le matériel radio FM ordinaire soit utilisé pour l'interrogation, on n'aurait pas besoin de matériel radio supplémentaire.

Inconvénients

1. Précision inconnue à long terme de la boussole du véhicule.
2. Prix inconnu du matériel pour divers degrés de précision.

(v) Utilisation des signaux radioélectriques existants

Notre milieu est plein de différents types de signaux radioélectriques. Il est possible que la mesure de signaux existants puisse donner des données relatives aux positions sans qu'on doive avoir recours à des émetteurs supplémentaires. La synchronisation horizontale d'un signal de télévision pourrait par exemple constituer un signal de repère presque idéal qui aurait une excellent portée dans la plupart des villes. Les bandes d'émission des stations AM et FM offrent d'autres possibilités. Le recouplement de signaux reçus par des récepteurs de repère fixes et par un véhicule permettrait de déterminer les distances. On pourrait utiliser la radio FM actuelle pour retransmettre les mesures prises.

Avantages

1. Pas d'émetteurs supplémentaires.
2. Excellente portée essentiellement "gratuite".

Inconvénients

1. On doit disposer d'un ordinateur à la station de base pour les opérations de recouplement.
2. La sélection des signaux serait limitée à une seule localité.
3. Les stations de télévision n'émettent pas 24 heures sur 24.

Le prix d'un système de localisation des véhicules par poteaux indicateurs électroniques est proportionnel à la superficie de la région à desservir. Si cette technique est acceptable pour un grand nombre de véhicules relativement proches les uns des autres, par exemple pour les services de police ou de transport d'une grande ville, elle est inacceptable sous sa forme actuelle pour un système couvrant une grande superficie mais dont les véhicules sont assez éloignés les uns par rapport aux autres. On procède actuellement à l'installation d'un système à poteaux indicateurs pour la commission des transports de Chicago.

D'autres versions de systèmes de localisation ont été réalisées, du moins sur la planche à dessin ou en laboratoire. Certaines d'entre elles pourraient s'avérer exploitables surtout pour les régions étendues.

Il ne fait pas de doute que les besoins de ce type d'installations vont imposer de telles exigences à la technologie

que les systèmes de localisation de véhicules seront généralisés en 1977.

2.5 COMMUNICATIONS DE DOCUMENTS EN CLAIR

Il existe de nombreux domaines d'exploitation dans lesquels il est souhaitable de garder une preuve tangible du message transmis. On peut citer comme exemples de ce genre de besoin la communication de numéros d'immatriculation aux voitures de police, la transmission d'instructions aux équipes d'ouvriers du bâtiment ou des services publics ainsi que la transmission d'instructions à tout employé qui pourrait se trouver occasionnellement hors de son véhicule. Dans l'autre direction, on peut transmettre les données d'alarme et l'information relative à une situation au centre de contrôle où elles commanderaient un téléimprimeur.

Au paragraphe 1.5, nous avons décrit un téléimprimeur mobile sur page. Ce dispositif répondra à tous les besoins de communication de documents en clair à des véhicules. Il pourrait également être adapté pour donner des fac-similés. Lorsque les messages sont courts, des téléimprimeurs à bande peu coûteux pourraient suffire.

Au centre de contrôle, le téléimprimeur ordinaire à clavier est l'appareil le plus fréquemment utilisé.

Les communications de documents offriront un autre avantage lorsqu'on utilisera la transmission numérique qui assure le secret mieux que ne le fait la transmission phonique.

Le besoin de communication de documents est fermement établi. Au cours des prochaines années, les demandes imposées à la technologie nouvelle seront orientées vers le développement du matériel et la réduction des prix.

2.6 SYSTÈMES VISUELS MOBILES

Ces systèmes peuvent se présenter sous forme de diffusion vers des unités mobiles ou de relais d'images vers un centre de contrôle.

Chaque véhicule de police pourrait recevoir sur son écran de bord les émissions destinées à toutes les voitures. Par exemple, au cours d'un vol de banque, la scène pourrait être télévisée par les caméras de la banque et relayée au studio central de radiodiffusion et retransmise ensuite à tous les véhicules. De cette façon, les agents auraient une idée de ce qui se passe, et peut-être même le signalement des voleurs. Il pourrait être nécessaire de brouiller ou de coder ce genre de transmission pour en empêcher la réception non autorisée.

Autre application à l'usage de la police, il serait possible de photographier d'un hélicoptère les scènes d'émeutes. Les photos seraient transmises à un studio, qui les relaierait aux véhicules. Les agents auraient ainsi une idée exacte du déroulement des événements.

En réduisant le champ d'une caméra aéroportée, on pourrait suivre un véhicule ou une personne en particulier plutôt que de filmer une scène dans sa totalité. Le profane ou la personne peu familière avec les vues aériennes d'ensemble pourrait avoir des difficultés à se situer. L'occupant d'une voiture de police pourrait cependant localiser facilement sa position en actionnant son clignotant par exemple. Il pourrait alors savoir exactement où il se trouve en regardant son écran.

La télévision pourrait également être utile dans un centre de contrôle installé dans un hélicoptère au cours d'incendies de forêt ou de désordres publics. Au centre de contrôle, une caméra asservie à une carte avec des repères indiquant les positions des véhicules et des personnes, les activités, les embouteillages des voies de circulation, les coupe-feux, etc. fournirait des renseignements précieux aux policiers ou pompiers se trouvant sur les lieux.

Une autre possibilité consisterait à traiter les données optiques reçues d'une caméra de télévision aéroportée pour l'affichage direct de certaines caractéristiques sur une carte au centre de contrôle. On pourrait ensuite téléviser l'image de la carte sur des écrans situés aux endroits désirés. En outre, on pourrait déplacer par télécommande la caméra pour téléviser certaines sections de la carte ou obtenir des gros plans.

Dans ce genre d'application, la télévision à balayage lent pourrait s'avérer très intéressante, car il est improbable que les scènes changent à un point tel que ce dispositif ne puisse les traiter de façon satisfaisante. Il existe encore une autre application de ce système. Le policier en patrouille pourrait assister depuis son véhicule aux enquêtes menées à son quartier général. De même, les bulletins quotidiens de la police ou d'autres organismes pourraient être vus à distance afin d'éviter l'accumulation de documents en clair dans les véhicules.

On peut facilement se procurer le matériel de télévision nécessaire aux services énumérés ci-dessus. La mise en oeuvre d'un système de services publics par télévision ne demande qu'une décision politique, des fonds suffisants et l'autorisation du ministère des Communications.

2.7 SÉCURITÉ SUR LES ROUTES ET LES VOIES NAVIGABLES

Divers organismes de sécurité publique, les services de police et de pompiers en premier lieu, se sont montrés intéressés

aux systèmes qui permettraient à toute personne en difficulté de demander de l'aide. Cette aide peut se présenter sous un grand nombre de formes. Pour l'assistance médicale, on peut avoir besoin d'un médecin, d'une ambulance ou d'oxygène. En cas de panne, on voudrait souvent pouvoir appeler un mécanicien ou une dépanneuse. On peut aussi avoir besoin d'une équipe de secours en cas d'éboulement, d'explosion, d'accident ferroviaire ou d'écrasement d'avion etc. On a aussi fréquemment besoin des services de la police et des pompiers.

Les réseaux par fil des compagnies de téléphone constituent le support habituel de communications pour appeler à l'aide dans les régions peuplées. Dans certaines agglomérations, on utilise des postes d'appel montés sur poteaux aux croisements de rues, ces postes sont reliés par fil aérien, ou plus fréquemment par câble souterrain, au standard de la police ou des pompiers. On a proposé plusieurs projets destinés à aider les automobilistes en difficulté sur une autoroute à accès limité. Ces suggestions utilisent un matériel d'appel radioélectrique ou téléphonique. Plusieurs de ces systèmes sont actuellement à l'essai.

Il serait souhaitable qu'une personne en difficulté dans un endroit isolé ait la possibilité de demander du secours. Dans certaines régions, on pourrait monter un émetteur radio de secours sur des poteaux; ces émetteurs devraient être installés de manière à empêcher qu'on les vole. Etant donné qu'il serait probablement impossible d'empêcher les transmissions illégales, on devrait limiter l'installation d'appareils sur poteaux aux régions très isolées.

Emetteurs portatifs de secours

On pourrait envisager l'utilisation d'un appareil radio portatif spécial pour les campeurs qui se rendent dans des régions peu fréquentées. On pourrait considérer un tel appareil, acheté à un prix relativement bas, comme un élément nécessaire du matériel de camping. Il pourrait devenir à la longue un appareil de sécurité obligatoire, tout comme les gilets de sauvetages des bateaux.

On pourrait plus tard utiliser un appareil de ce genre pour les déplacements routiers des véhicules. Le problème de l'encombrement du spectre se poserait toutefois car le nombre d'appareils en service serait très important.

Afin de contrôler les fausses alarmes ou les transmissions malveillantes, on pourrait délivrer des permis aux propriétaires de ces appareils de secours ou donner un numéro d'immatriculation au matériel, comme cela se fait pour les automobiles ou les armes à feu. En outre, on pourrait équiper chaque appareil de circuits individuels de codage qui permettraient l'identification des sources d'émission.

Les appareils portatifs et les appareils montés sur poteaux décrits ci-dessus sont déjà disponibles dans le commerce. Techniquement, les circuits spéciaux de codage ou de signalisation sont parfaitement réalisables. A cause de la faible puissance de ces appareils portatifs et de leur faible portée, il se peut qu'on doive renforcer ce système par des récepteurs satellites placés à des endroits stratégiques. Les systèmes à récepteurs satellites dotés de circuits automatiques de sélection sont également disponibles. En dehors du matériel nécessaire à la mise en place d'un tel système de sécurité, il faut établir un programme d'action, déterminer une technique convenable et obtenir du ministère des Communications l'attribution des fréquences radioélectriques appropriées. Les paragraphes suivants concernant le repérage des véhicules en panne donnent plus de détails sur les systèmes installés sur poteaux.

Repérage des véhicules en panne

Dans le domaine du génie routier, on reconnaît la nécessité d'enlever un véhicule en panne de l'épaulement de la route ou de le remettre en service le plus rapidement possible. En effet, les probabilités de collision avant que le véhicule soit enlevé ou réparé sont dangereusement élevées. La perte de temps pour les conducteurs et les passagers de ce véhicule ainsi que le ralentissement de la circulation (dû à la curiosité) risquent aussi de provoquer un engorgement ou un embouteillage.

On a déjà proposé plusieurs méthodes de détection ou de localisation des véhicules en panne sur les autoroutes à accès limité. Les solutions provisoires suivantes demandent toutes la participation de l'automobiliste.

Des postes d'appel radio placés le long de l'autoroute et séparés de quelques minutes de marche seulement permettraient aux automobilistes de communiquer instantanément avec la police. Un tel dispositif doit être extrêmement robuste. Chaque poste d'appel radio doit être alimenté par un accumulateur rechargeable qui assure son fonctionnement dans n'importe quelles conditions météorologiques et même après plusieurs douzaine d'appels. Lorsqu'un automobiliste utilise le poste d'appel, le signal transmis à la station de base identifie automatiquement ce poste, ce qui élimine la nécessité de donner des indications sur la position du véhicule. Si le combiné d'appel est déplacé, accidentellement ou autrement, le répartiteur de la police le remarque et peut envoyer un agent de police sur les lieux. Si le combiné n'est pas correctement remis en place après usage, le poste d'appel cesse automatiquement d'émettre au bout d'un court intervalle de temps afin de ne pas épuiser l'accumulateur.

Un dispositif téléphonique ordinaire ou électrodynamique installé sur l'autoroute assure la liaison entre l'automobiliste

et un poste central. L'automobiliste peut alors donner le détail de ses ennuis à l'opérateur du poste central.

Il existe un autre dispositif qui utilise des piles solaires et des codeurs numériques, mais il ne permet pas la communication phonique. Les postes d'appel sont situés à intervalles d'un demi-mille. L'automobiliste va au poste le plus proche, appuie sur un bouton déterminé et indique sa position et la nature de ses ennuis à un poste central.

Il y a plusieurs années, un système avait été conçu surtout pour la commande à distance de la signalisation routière, mais il est aussi possible de lui incorporer des circuits téléphoniques à l'usage de l'automobiliste en difficulté. Comme mesure de protection, le poste central reçoit un signal en cas de débranchement du téléphone. Cela pourrait décourager jusqu'à un certain point le vandalisme.

Un méthode qui permettrait à l'automobiliste d'appeler au secours sans quitter son véhicule offre l'avantage de la sécurité. Les chances qu'un accident arrive à un automobiliste qui marche sur le bord de la route sont en effet élevées. En outre, si une dépanneuse se trouve dans le voisinage à la réception du message, elle pourrait atteindre le véhicule en panne avant le retour de l'automobiliste. Dans le véhicule, un émetteur de faible puissance, qui pourrait être incorporé au récepteur radio ordinaire, enverrait le signal d'alarme à un récepteur situé sur le bord de la route, lequel le retransmettrait par radio ou câble souterrain au poste central. Nous traitons plus loin de quelques problèmes rattachés à ce système.

L'application d'une technique de mesure de la résistance, qui est utilisée par les compagnies d'électricité pour la localisation des courts-circuits dans les lignes de transport d'énergie, offre une autre possibilité. Avec un tel système, il faudrait enfouir un câble de chaque côté de la route et disposer des commutateurs pouvant court-circuiter le câble à des intervalles d'un demi-mille. Un pont de mesure de résistance et un dispositif d'alarme seraient placés au poste central. Lorsqu'un automobiliste est en difficulté, il se rend au commutateur le plus proche et le ferme, ce qui envoie un signal d'alarme au poste central. Le dispositif de mesure de résistance, qui peut comprendre un voltmètre numérique comme dispositif de sortie, donne une indication numérique en milles de la position de l'automobiliste. Un voyant lumineux installé près du commutateur de court-circuit s'allume quand l'automobiliste envoie son signal. Il est éteint à partir du poste central après qu'on a envoyé du secours. Cela permet d'accuser réception de l'appel et de confirmer à l'automobiliste qu'on va le dépanner. Si on a besoin de détails plus précis, on peut imaginer des codes

simples qui permettraient d'envoyer des renseignements supplémentaires au poste de contrôle.

A l'avenir, on mettra au point des systèmes qui ne demanderont aucune action de la part de l'automobiliste, et qui alerteront le poste central quand un véhicule quitte la chaussée. De tels systèmes seront eux-mêmes probablement trop coûteux ou inefficaces pour être exploités. La rentabilité s'améliorera notablement quand ces systèmes seront incorporés à l'autoroute électronique de l'avenir. N'importe quel type de système de détection, qu'il soit magnétique, électronique, infrarouge, mécanique, par télévision ou autre, pourra alors être utilisé pour un dispositif de localisation.

Avec l'autoroute électronique, on aura besoin d'un réseau de communications de guidage pour tenir le véhicule dans sa voie et maintenir des vitesses et des distances raisonnables. Dans la mesure où le réseau de communications peut cumuler de telles fonctions, la détection et la localisation des véhicules en panne seront alors beaucoup plus réalisables du point de vue financier.

Il faudra incorporer un dispositif à retard au système de détection automatique afin d'éviter les fausses alarmes provoquées par les véhicules qui quittent temporairement la route pour y revenir ensuite.

Il est probable que la réalisation de l'autoroute électronique de l'avenir s'étalera sur une longue période de temps. Le prix total d'un tel système sera énorme à cause des milliers de milles de voies rapides et des millions de véhicules qu'il faudra équiper. La mise en place d'une installation aussi coûteuse sur des sections de quelques milles et dans quelques centaines de véhicules à la fois serait inefficace. Ce système ne sera par conséquent pas mis en place avant que les besoins soient suffisamment importants pour contrebalancer le prix de la partie du système total qui sera économiquement importante. Etant donné que l'installation complète de ce système ne se produira semble-t-il que dans un avenir incertain et éloigné, nous ne traitons ci-dessous que des systèmes qui nécessiteront l'intervention de l'automobiliste.

Des points de vue de la sûreté de fonctionnement et du prix, le système bidirectionnel d'appel au secours sur les autoroutes semble être la solution provisoire la plus intéressante. Il ne requiert aucun entretien de lignes téléphoniques ou d'alimentation en courant alternatif coûteux. On peut augmenter à volonté le nombre de postes d'appel sans câblages ou long travaux de terrassement. Puisqu'il s'agit d'un système radioélectrique, on pourrait aussi l'utiliser pour coordonner les services de secours, ou le développer pour y incorporer des caractéristiques supplémentaires telles que la commande de la

signalisation routière et le rassemblement de données sur la circulation.

La principale faiblesse d'un réseau téléphonique reliant des postes routiers à un poste central de secours est qu'il est très exposé au vandalisme. Les compagnies de téléphone ont subi des pertes relativement élevées dans les installations téléphoniques publiques. L'inconvénient principal du système alimenté par piles solaires est son prix initial élevé. Les problèmes d'un émetteur de détresse installé dans le véhicule sont nombreux. Parmi ces problèmes, il faut noter le prix de revient global élevé dû au nombre considérable de véhicules à équiper, la forte probabilité de fausses alarmes accidentelles ou malveillantes et le coût initial important des récepteurs qui devront être installés sur les routes.

La technique de mesure de la résistance supporte avantageusement la comparaison avec les autres systèmes qui n'utilisent pas la radio. On ne saurait conseiller cette technique comme solution définitive, mais son prix de revient initial en fait un système provisoire intéressant. Il ne requiert aucun matériel coûteux, comme les téléphones ou les émetteurs radio, quoique le prix par mille d'un câble souterrain soit élevé. Cependant, un câble souterrain décourage le vandalisme et ses besoins d'entretien sont minimes. On pourrait aussi l'utiliser à l'avenir lors de la réalisation de l'autoroute électronique pour alimenter les circuits électroniques du système définitif.

Aux Etats-Unis, au moins un modèle de chacun des systèmes de communications décrits ci-dessus pour la détection ou la localisation de véhicules en panne a déjà été mis en place à titre expérimental. Cette exploitation expérimentale permettra d'évaluer différents systèmes dans des conditions et des situations réelles de service. Les résultats de ces évaluations devraient bientôt apparaître dans les rapports techniques des divers organismes routiers fédéraux et des états.

Tous les systèmes provisoires décrits ci-dessus sont réalisables à l'heure actuelle.

2.8 SÉCURITÉ ET SECRET DES COMMUNICATIONS

Depuis longtemps, les militaires ont cherché à rendre leurs transmissions aussi secrètes que possible, c'est à dire à empêcher un ennemi éventuel d'intercepter les messages et d'exploiter les renseignements qu'ils renferment. Dès la réalisation d'une nouvelle technique de transmission, les militaires réclamaient un moyen quelconque de brouillage ou de chiffage des renseignements transmis. Ces demandes ont été satisfaites et des dispositifs sont maintenant disponibles pour n'importe quel genre d'application. On peut assurer la

protection de n'importe quel genre d'information, qu'il s'agisse de paroles, de tonalités, d'impulsions, de signaux télégraphiques, de télécopieur, de télévision, de fac-similé ou d'autres. On peut aussi fournir cette protection pour n'importe quel support de transmission: électromagnétique, par fil ou par câble. On peut l'appliquer à des installations fixes, des véhicules mobiles, des avions ou des navires. On a conçu une gamme complète de dispositifs dont le niveau de sécurité est extrêmement variable. Cette gamme va du matériel qui assure le secret des conversations jusqu'aux ensembles complexes d'informatique qui protègent les messages individuels pendant des périodes de plusieurs années (il s'agit là d'un canal statistique des probabilité de déchiffrement). Le niveau de sécurité varie avec le prix du matériel, mais le prix n'augmente pas aussi rapidement que le niveau de sécurité.

En raison de la croissance de leur nombre et de la complexité de leurs responsabilités, les organismes de police commencent à ressentir la nécessité grandissante de dispositifs économiques qui assureraient le secret des conversations. Une des raisons de ce besoin est que les criminels "professionnels" possèdent des récepteurs radio accordés sur les fréquences de la police qui leur permettent d'écouter les messages et d'échapper à l'arrestation. Une autre raison est le nombre croissant de "policiers amateurs" dans certaines villes. Ces gens utilisent des récepteurs d'ondes courtes à bon marché ou des adaptateurs montés sur leurs récepteurs portatifs qui leur permettent d'obtenir la "primeur" de l'information et d'être les premiers sur les lieux. La police préfère en général enquêter et agir en l'absence de ces amateurs d'émotions fortes.

Le besoin manifeste de secret dans les messages de police a amené la mise au point de plusieurs modèles de brouilleurs. Le prix de ces appareils varie entre \$250 et \$2,000 l'unité. On a bien sûr besoin de deux appareils de ce genre pour pouvoir communiquer utilement. Il en faut un pour brouiller les renseignements à l'émission, et un autre à la réception pour les rétablir sous leur forme primitive. En général, chaque appareil peut brouiller et remettre en clair. L'appareil ne peut cependant pas assurer simultanément ces deux fonctions, comme dans le cas du fonctionnement en duplex, parce que certains circuits sont communs aux deux fonctions.

La technique de brouillage la plus simple utilisée dans les appareils actuellement en service dans la police est l'inversion des fréquences en bande phonique. Les basses fréquences sont transférées dans la partie supérieure de la bande, et inversement pour les fréquences élevées. Cette méthode ne protège que contre l'auditeur occasionnel ou le simple curieux; plusieurs inconvénients la rendent en effet relativement inefficace contre un auditeur résolu. Certaines personnes entraînées parviennent à comprendre la parole inversée, surtout si elles peuvent

enregistrer une conversation brouillée et l'écouter à plusieurs reprises. De plus, un récepteur normal légèrement désaccordé peut remettre la parole sous sa forme intelligible. Il n'y a aussi que très peu de "codes" basés sur un déplacement de la fréquence de référence à partir desquels on transfère le spectre qui soient réalisables. En outre, certains fabricants n'offrent aucun choix de codes.

Une méthode plus complexe consiste à diviser la bande de fréquence vocale en deux ou plusieurs fractions (en général cinq) et de fournir pour chaque fraction des moyens de déplacement sélectif ou d'inversion, ou des deux à la fois, vers une autre partie de la bande ou dans cette bande même. Cette méthode offre un choix moyennement élevé de combinaisons codées. Elle est en service depuis plusieurs décennies pour assurer le secret et l'élimination de la diaphonie intelligible sur les câbles téléphoniques sous-marins. Dans ce cas encore, des auditeurs entraînés peuvent apprendre à comprendre la parole brouillée. De plus un électronicien résolu peut aisément construire un décodeur et découvrir rapidement le code utilisé. Pour assurer la protection contre un auditeur entraîné, il faut diviser la bande de fréquence vocale en dix sous-bandes ou plus. Il faut pour cela davantage de filtres, qui sont des pièces coûteuses, que pour la méthode à cinq sous-bandes. Il faut en effet un jeu de filtres par sous-bande. La qualité, et par conséquent également le prix des filtres, doit augmenter proportionnellement au nombre de sous-bandes.

Une méthode encore plus complexe, et aussi beaucoup plus coûteuse, utilise des circuits d'informatique qui changent automatiquement plusieurs fois par seconde (entre une et vingt fois par seconde) la combinaison de brouillage du système à sous-bandes multiples. On doit pour cela disposer d'un moyen de synchronisation des combinaisons de codes aux deux extrémités de la liaison. Ensuite, pour empêcher toute détection indiscreète, il faut également protéger le mode de commutation des combinaisons. On peut aussi disposer de cette protection supplémentaire à un prix élevé, mais les méthodes en sont toutefois trop complexes pour être exposées ici.

On arrive au plus haut niveau de sécurité en mettant les signaux de parole sous forme numérique et en codant ensuite les données numériques à l'aide d'un dispositif de traitement de l'information. Les méthodes de conversion numérique utilisent généralement la modulation par impulsions codées ou la modulation Delta. Il existe d'autres procédés mais ils sont plus complexes. L'inconvénient des systèmes numériques ou à impulsions est qu'ils utilisent pour la transmission des signaux de parole des largeurs de bandes bien supérieures à celles des voies qui sont actuellement attribuées dans le service mobile terrestre. Il faudrait que le ministère des Communications autorise l'attribution de voies à large bande. La largeur de bande

phonique nominale actuelle de 3 kHz a besoin d'un débit d'impulsions de 18 à 25 kilobits par seconde pour être transmise en mode numérique afin d'assurer une intelligibilité raisonnable de la voix. Il faut respectivement une bande audio de 12 à 19 kHz et une bande FM de 50 à 75 kHz pour transmettre à un tel débit. Tant que le prix de revient élevé des systèmes de réduction de largeur de bande phonique ne sera pas descendu à un niveau plus acceptable, nous recommandons l'utilisation de systèmes à large bande pour les applications qui demandent un degré élevé de sécurité.

La protection du matériel de sécurité comporte plusieurs ramifications qui exigent certains éclaircissements. Si nous supposons qu'un criminel professionnel équipe son véhicule d'un récepteur radio pouvant capter les messages de police, nous sommes aussi en droit de supposer qu'il essaiera de déchiffrer les messages brouillés quand il s'apercevra que la police utilise un matériel de sécurité ou de protection du secret. Pour ce criminel, une solution simple consisterait à voler un dispositif de brouillage de la police, et d'en apprendre les codes si le dispositif est à codes multiples.

Aujourd'hui, plusieurs fabricants de matériel de protection du secret assurent que leur matériel peut être exploité par des groupes de véhicules. Tous les véhicules peuvent recevoir des messages brouillés en même temps quand la station de base et les véhicules sont équipés de dispositifs de protection du secret. Une telle pratique est à déconseiller. Si un criminel a volé un tel dispositif et sait quel est le code utilisé, il sera capable de comprendre tous les messages et d'agir en conséquences pour éviter l'arrestation. De plus, il peut s'avérer difficile pour le répartiteur ou les membres du groupe de s'apercevoir rapidement de la disparition d'un de leurs dispositifs de protection du secret, ou de se rendre compte qu'une personne non autorisée écoute sur leur fréquence.

Une meilleure méthode consiste à n'utiliser le mode de sécurité ou de protection du secret qu'entre deux appareils seulement, de façon à ce qu'il n'y ait jamais plus de deux personnes pouvant comprendre une conversation. Il faut en outre changer fréquemment les codes en fonction d'un plan pré-établi. De cette manière, il faut pour chaque communication deux appareils et un code qui soient différents de ceux utilisés par le reste du réseau. De cette façon, si un criminel vole un dispositif de protection du secret, il ne pénètre ainsi qu'une seule des voies de communications sans que cela soit préjudiciable au reste. En outre, les chances de découvrir le code de déchiffrement exact des messages sont très réduites si on dispose d'un nombre suffisamment important de codes.

Tout en assurant la sécurité contre les auditeurs indésirables, l'utilisation de codes différents pour chaque paire

d'usagers empêche les différents groupes opérationnels d'un service de police d'écouter les conversations qui ne les concernent pas. Cette caractéristique peut présenter des avantages lorsque des équipes d'enquêteurs ou de détectives opèrent simultanément et séparément. Cela peut être aussi un inconvénient quand des groupes doivent travailler ensemble à la même opération. On ne connaît pas de solution pratique dans ce dernier cas. Il faut décider si on veut se réserver une voie protégée pour tous les membres du groupe ou si on doit en limiter l'accès à des paires d'usagers (du centre de répartition au véhicule ou de véhicule à véhicule).

Ainsi que nous l'avons déjà indiqué, des dispositifs simples de protection du secret des conversations sont déjà sur le marché à des prix raisonnables. On pourra disposer dans un délai assez court de dispositifs plus complexes, soit pour les conversations, soit pour d'autres types d'information, quand les usagers éventuels auront résolu les problèmes d'exploitation et défini les méthodes d'utilisation.

2.9 DISPOSITIFS PORTATIFS ET MOBILES DE SIGNALISATION ET D'ALARME

Un exemple d'utilisation inattendue en pleine expansion d'un système de communications mobiles terrestres récemment développé est le dispositif d'alarme et de surveillance utilisé pour la protection des écoles et d'autres édifices publics contre le vandalisme.

Des appareils de détection situés à des endroits stratégiques et sensibles aux conditions anormales commandent un émetteur radio qui, à son tour, envoie un signal codé à un récepteur situé dans une station centrale de contrôle. Le récepteur commande un dispositif d'alarme optique, acoustique ou enregistreur. Des codeurs à fonctions multiples à la station centrale permettent de surveiller diverses situations. Un dispositif sensible peut par exemple surveiller l'entrée d'un immeuble, d'autres peuvent contrôler les systèmes d'alarme d'incendie ou même le fonctionnement du chauffage.

Ce genre de dispositif d'alarme présente l'avantage d'être indépendant des circuits téléphoniques ou des lignes électriques, qui peuvent être détruits avant l'acte criminel. Il est aussi essentiellement mobile, donc d'une grande souplesse.

On peut utiliser ce dispositif de surveillance pour une grande variété d'applications comme le contrôle d'un champ pétrolifère ou d'un réseau de faisceaux hertziens, indépendamment des circuits micro-ondes eux-mêmes.

Tout comme les signaux d'alarme sont transmis par radio, on peut aussi télécommander des mécanismes à l'aide de ces signaux. On peut par exemple fermer des vannes dans un champ pétrolifère

ou mettre en marche des génératrices de secours à l'émetteur d'un faisceau hertzien. On peut télécommander une péniche de haute mer sans équipage depuis son remorqueur. On peut diriger des locomotives asservies d'un poste situé le long de la voie ou dans la locomotive de tête. La commande des grues par radio est maintenant chose courante.

Il y a actuellement une demande croissante de matériel de commande et d'alarme radioélectrique. Quoique l'utilisation de parties importantes du spectre par ce matériel soit improbable, il faut étudier les besoins de voies de ce genre de service.

2.10 SURVEILLANCE MÉDICALE D'URGENCE

La revue Electronics News du 9 septembre 1968 annonçait, en page 44, une nouvelle technique dans le domaine des communications et de l'électronique médicale. Un service d'ambulance de Los Angeles a essayé une version modifiée du contrôleur de fonctions physiologiques à électrodes de la NASA. Ce système transmet les battements de coeur d'un cardiaque par la radio de l'ambulance au centre de répartition du service d'ambulances à partir duquel les données sont retransmises par ligne téléphonique spéciale à l'électrocardiographe de l'hôpital. Le médecin peut ainsi étudier l'électrocardiogramme, et prendre les dispositions nécessaires pour la réception du malade avant l'arrivée de celui-ci à l'hôpital.

Les signaux électriques du coeur du malade sont captés par des électrodes "dry-spray" placées sur sa poitrine. Les signaux sont modifiés par un amplificateur-modulateur FM. Les signaux FM sont reproduits par un petit haut-parleur situé près du microphone de l'appareil radiophonique bidirectionnel de l'ambulance. Il en résulte une onde FM/FM.

Avec le dispositif actuel, il n'est pas possible de transmettre simultanément les battements du coeur et la voix. L'utilisation d'appareils radio FM à canaux multiples permettrait à l'avenir d'envoyer des données sur d'autres fonctions physiologiques comme la pression sanguine, la vitesse du pouls, le volume respiratoire, la température épidermique, etc. En utilisant les techniques de multiplexage, on pourrait transmettre simultanément plusieurs de ces fonctions sur une seule voie radio.

Les systèmes décrits ci-dessous sont aujourd'hui réalisables. Ils peuvent sauver des vies; aussi est-il probable qu'ils se généraliseront d'ici cinq ans. Il faudra alors leur réserver une bande de fréquences sûre.

2.11 SYSTÈME DE GUIDAGE ET D'ACHEMINEMENT DE LA CIRCULATION ROUTIÈRE

Les ouvrages techniques accordent un intérêt particulier à la conduite automatique des automobiles. Cela est compréhensible quand on considère l'amélioration de la sécurité routière et du confort qui en découlerait pour un nombre si élevé de personnes. La question est toutefois extrêmement complexe, et notre technologie la plus avancée ne nous fournit que des solutions partielles.

On doit résoudre trois problèmes principaux. Le premier, la commande latérale ou direction, est relativement simple. La technologie actuelle permet d'équiper la route d'un câble rayonnant et les véhicules de capteurs appropriés. Le second, la commande longitudinale (vitesse, accélération, freinage) est plus complexe. On a proposé plusieurs solutions dont certaines se fondent sur l'asservissement à un véhicule-guide. On a proposé un système qui utilise un rayon laser pour maintenir automatiquement une distance sûre entre les véhicules. Le troisième problème est de combiner la commande latérale et la commande longitudinale et de réaliser des sous-systèmes auxiliaires d'autocontrôle et de secours (en effet, toute panne du système serait catastrophique).

Il est peu probable que le système de conduite automobile automatique ait lui-même besoin de fréquences radioélectriques dans la bande du service mobile terrestre. Toutefois, l'introduction de ce système vers la fin des années 80 créera probablement des besoins supplémentaires de communications pour le véhicule. Le conducteur, dégagé de ses responsabilités de conduite, pourra en effet s'absorber dans d'autres travaux qui nécessiteront l'utilisation de communications.

2.12 LUTTE CONTRE LA POLLUTION

Dans le contrôle de la pollution atmosphérique, les communications radioélectriques mobiles constituent le seul moyen pratique d'entrer en liaison avec les inspecteurs de la pollution pour qu'ils puissent se rendre assez tôt sur les lieux d'une infraction. Cela est très important parce qu'un contrevenant ne peut être poursuivi après la disparition des preuves de l'infraction.

Le gouvernement surveille depuis quelque temps les Grands Lacs pour lutter contre la pollution par les hydrocarbures. Un avion équipé de matériel mobile utilisant la bande des communications maritimes peut signaler les infractions au commandant du navire et aux stations de la Garde côtière. L'inspection aérienne est en fait le moyen le plus efficace de prévention de la pollution, car elle permet de constater les infractions et d'en photographier les preuves. Les inspecteurs

peuvent aussi de cette façon se rendre rapidement sur les lieux pendant que la violation est encore évidente.

L'accroissement de la pollution doit nous porter à prendre des mesures de prévention efficaces. Les services de prévention de la pollution devraient avoir autant droit à des fréquences de communications que les services de sécurité publique.

On peut aussi procéder à la surveillance automatique de l'environnement à l'aide de voies radioélectriques de communications. Des capteurs placés dans des endroits stratégiques pourraient détecter les niveaux de pollution et les retransmettre automatiquement sur interrogation d'une station centrale ou si un certain maximum préétabli est dépassé. Ce système serait semblable à ceux qui sont actuellement utilisés en météorologie.

3. MOYENS DE LUTTE CONTRE L'ENCOMBREMENT DU SPECTRE

Introduction

A cause du développement continu de nouvelles idées dans le domaine des dispositifs radioélectriques mobiles et des progrès technologiques qui permettent leur réalisation, il est certain que les besoins de spectre vont s'accroître. Au cours des dernières années, nous avons assisté à une augmentation rapide de ces utilisations nouvelles. Cela est dû aux besoins accrus de communications afin de résoudre les problèmes engendrés par la mise en vigueur des lois, la sécurité des transports en commun (autobus et métro), la pollution atmosphérique et d'autres activités gouvernementales, ainsi que la nécessité de répondre aux besoins dus à l'expansion constante de notre économie.

Par suite de ces besoins, on a engagé des fonds considérables dans les recherches consacrées à l'amélioration de la technologie et des méthodes de communications. Quelques-uns des premiers résultats de ces recherches, comme le téléimprimeur mobile, les systèmes de localisation des véhicules et la télésurveillance médicale, seront bientôt d'usage courant.

Ces systèmes vont engendrer un besoin supplémentaire de spectre surtout à cause des temps d'émission plus longs, mais aussi parce qu'une meilleure efficacité d'exploitation va amener un développement rapide et considérable de leur utilisation.

Il est certain qu'on peut gérer et utiliser le spectre actuel avec beaucoup plus d'efficacité. Ce chapitre avance quelques propositions à ce sujet. Il ne fait toutefois pas de doute que les nouveaux services et le développement de la technologie amèneront dans quelques années l'utilisation intégrale du spectre. Il faut prendre dès maintenant cette possibilité en

considération afin d'assurer une planification et un développement méthodiques.

Ce chapitre traite des techniques particulières qui sont proposées ou actuellement en exploitation dans les trois domaines étroitement liés qui suivent:

Largeur de bande

Techniques de modulation

Techniques des systèmes

Le but particulier de ces domaines est d'acheminer le trafic avec le maximum d'efficacité entre les stations mobiles et les stations de base, et vice versa, ainsi qu'entre les stations mobiles elles-mêmes. En général, le trafic se présente sous forme de conversations phoniques bidirectionnelles. Il faut toutefois reconnaître que les messages de téléappel unidirectionnels (composés seulement d'une certaine forme de signalisation associée parfois à la voix), les messages de données pour téléimprimeur, les signaux d'identification et de localisation, etc. constitueront une partie de plus en plus importante de ce trafic. Dans l'ensemble, les considérations restent toutefois les mêmes que pour un circuit phonique simple, à l'exception de variations possibles du débit de transmission.

Pour la majorité du trafic, la transmission traditionnelle par radio se fait par accès direct à des voies individuelles. Une même voie est fréquemment partagée par plusieurs personnes éloignées les unes des autres (ce qui est préférable), mais souvent aussi au sein de la même zone. Le multiplexage en hyperfréquences entre points fixes, les circuits UHF/VHF, les circuits de radiodiffusion en multiplex FM, le service téléphonique mobile et les répéteurs collectifs, qui partagent tous à dessein des installations communes dans une même région, constituent des exceptions caractéristiques à cette orientation.

Nous étudions ci-dessous le service radio mobile en fonction de son milieu, de la largeur de bande requise et des diverses méthodes de modulation: FM à large bande, FM à bande étroite, FM à bande mince, modulation d'amplitude, porteuse réduite à bande latérale unique, porteuse réduite à double bande latérale, modulation par impulsions codées, modulation d'impulsions en amplitude, systèmes individuels, concentration et multiplexage.

3.1 DIVISION DES VOIES

Dans ses observations à la FCC (cf. bibliogr. 15), l'Electronic Industries Association (EIA) a clairement indiqué que les seules impulsions parasites sont déjà responsables de la diminution de portée due à la réduction des voies de 60 à 30 kHz

et de 40 à 20 kHz. Elle a également démontré qu'avec le matériel actuel, l'espacement minimal de 20 à 25 kHz entre voies adjacentes cause un affaiblissement notable du rendement. En outre, même si l'attribution de voies de 15 kHz permettrait au départ un accroissement du nombre des usagers, la réalisation d'un tel projet nuirait considérablement à de nombreux systèmes en place et en réduirait la portée, à un point tel que le nombre de stations de base nécessaires pour desservir la même région augmenterait à un rythme beaucoup plus rapide que le nombre de voies supplémentaires obtenues par réduction de la largeur de bande.

En dehors des impulsions parasites, il peut se produire du brouillage si la bande de fréquence d'un émetteur intercepte la courbe de sélectivité d'un récepteur par suite de:

- a) l'interception par la porteuse d'émission,
- b) l'interception par les bandes latérales modulées,
- c) l'interception par le bruit de l'émetteur.

Aux fréquences très proches de la porteuse d'émission, le niveau de bruit est inférieur d'environ 45 dB au niveau de la porteuse. A 15 kHz de la porteuse, cette différence de niveau est de 80 dB. C'est là toute l'atténuation que la technologie moderne peut assurer.

L'étude des mécanismes du brouillage et des portées auxquelles il se produit indique qu'à des séparations de fréquences inférieures à 25 kHz les difficultés augmentent rapidement, et que même des erreurs de fréquence de $2 \times 0.0005\%$ (émetteur plus récepteur) changent radicalement la portée à laquelle le brouillage se produit. Il faut conclure à la nécessité d'un espacement minimal d'environ 25 kHz, si on ne tient compte que des effets de l'interception de la courbe de sélectivité du récepteur par le rayonnement de l'émetteur.

Les espacements de 20 et de 30 kHz constituent par conséquent des compromis par rapport aux 25 kHz envisagés ci-dessus. Toutefois, étant donné que grâce aux techniques actuelles l'erreur absolue de fréquence est moins importante dans la bande de 30 à 50 Mhz qu'elle ne l'est ailleurs, on peut considérer que dans ce cas l'espacement de 20 kHz constitue un compromis raisonnable.

Comme nous l'avons dit plus haut, les impulsions parasites constituent la source de brouillage la plus importante. La figure D 1 indique que leurs effets sont étroitement apparentés à l'erreur de fréquence (stabilité). En comparant un système FM à bande large à un système FM à bande étroite, on constate qu'une erreur de 10 Hz par MHz doit être réduite à 4 Hz pour le même

niveau de brouillage. Par conséquent, tout projet visant à réduire la séparation des voies à 15 kHz ou moins exigerait de nouvelles améliorations de la stabilité lesquelles sont limitées par les connaissances techniques actuelles, le prix des oscillateurs à grande stabilité, le rendement médiocre des dispositifs de contrôle automatique de la fréquence en présence de signaux faibles et par le matériel et les techniques d'entretien.

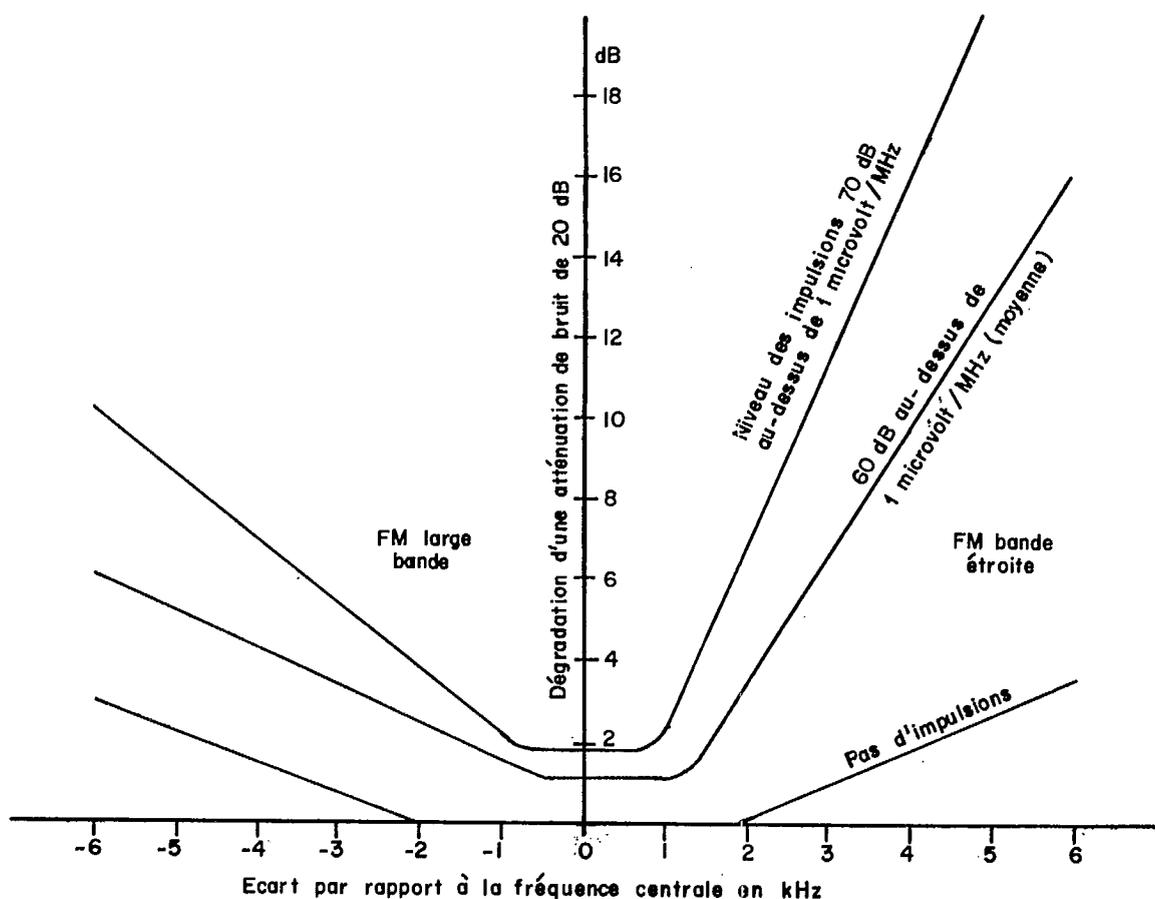


Fig. D1 Dégradation d'une atténuation de bruit de 20 dB en fonction de l'écart par rapport à la fréquence centrale provoquée par les impulsions parasites- Récepteur à 450 MHz.

3.2 TECHNIQUES DE MODULATION

Dans les circuits de point à point qui sont pratiquement exempts d'impulsions parasites, l'utilisation de la modulation d'amplitude en bande latérale unique constitue une excellente méthode de réduction de la largeur de bande. La figure D2

illustre une comparaison simple de rapport SINAD (rapport signal + bruit + distorsion/bruit + distorsion) entre la modulation d'amplitude en bande latérale unique, la modulation de fréquence en bande large, la modulation de fréquence en bande étroite et la modulation d'amplitude en double bande latérale. La figure D3 donne des comparaisons d'articulation pour la modulation d'amplitude en bande latérale unique, la modulation d'amplitude en bande latérale unique et en bande latérale double, la modulation de fréquence en bande mince et la modulation de fréquence en bande étroite tant en présence qu'en l'absence de bruit d'allumage (impulsions parasites).

Alors qu'il est possible de conclure qu'en l'absence d'impulsions parasites ou d'autres formes de brouillage, la modulation d'amplitude donne un meilleur rapport SINAD que la modulation de fréquence pour un signal très faible, la qualité du service est si basse qu'il n'y a aucun avantage réel. En outre, l'amélioration apportée par la modulation de fréquence par rapport aux systèmes à modulation d'amplitude diminue à mesure que l'indice de modulation augmente. Par conséquent, il est possible de classer les modes de modulation par ordre de supériorité et en présence d'un signal de niveau normal de la façon suivante.

1. Modulation de fréquence en bande large
2. Modulation de fréquence en bande étroite
3. Modulation de fréquence en bande mince ((6 kHz)
4. Modulation d'amplitude en bande latérale unique
5. Modulation d'amplitude en bande latérale double (largeur de bande de 6 kHz)

En présence d'impulsions parasites, on constate des écarts encore plus nets entre:

1. La modulation de fréquence en bande étroite
2. La modulation de fréquence en bande mince
3. La modulation d'amplitude en bande latérale unique.

Le calcul des rapports SINAD indiquent donc que la modulation de fréquence en bande large est incontestablement la meilleure méthode de modulation, et que la modulation d'amplitude est la pire.

La modulation en bande latérale double à suppression ou réduction de la porteuse donne de meilleurs résultats qu'en bande latérale unique, mais elle est inférieure à la modulation de

fréquence en bande mince. Nous ne citons la modulation de fréquence à bande latérale unique que pour couvrir entièrement le sujet car, quoique sa largeur de bande soit approximativement les 4/3 de celui de la modulation de fréquence, son asymétrie provoque une augmentation de dégradation de 10 dB en présence d'impulsions parasites. En outre, elle ne fournirait pas plus de voies que la modulation de fréquence en bande mince.

De même, toute application simple des techniques numériques semble exclue. La MIC a une trop grande largeur de bande pour le spectre disponible et la MIA requiert une trop grande séparation entre impulsions successives si on veut éviter la diaphonie. En ville, les impulsions successives risquent de se chevaucher à cause de la propagation par trajets multiples (cf.bibl.16).

En résumé, quel que soit le procédé de réduction de la largeur de bande, il occasionne une dégradation du service en présence d'impulsions parasites. La modulation d'amplitude est très susceptible de par sa nature même à ce genre de bruit. Ce facteur est le plus important de tous les autres arguments avancés contre l'utilisation de la modulation d'amplitude dans le service mobile terrestre.

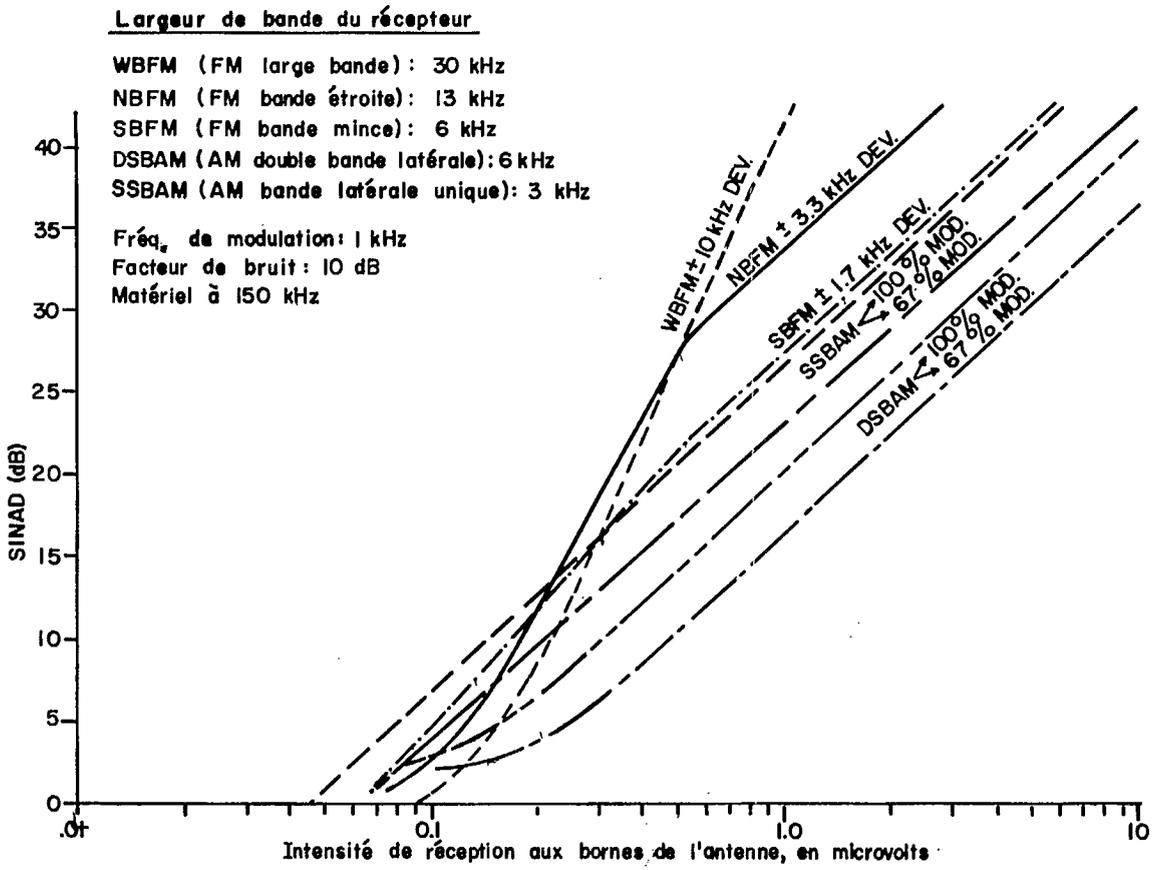


Fig. D2 Le rapport SINAD en fonction de l'intensité de réception

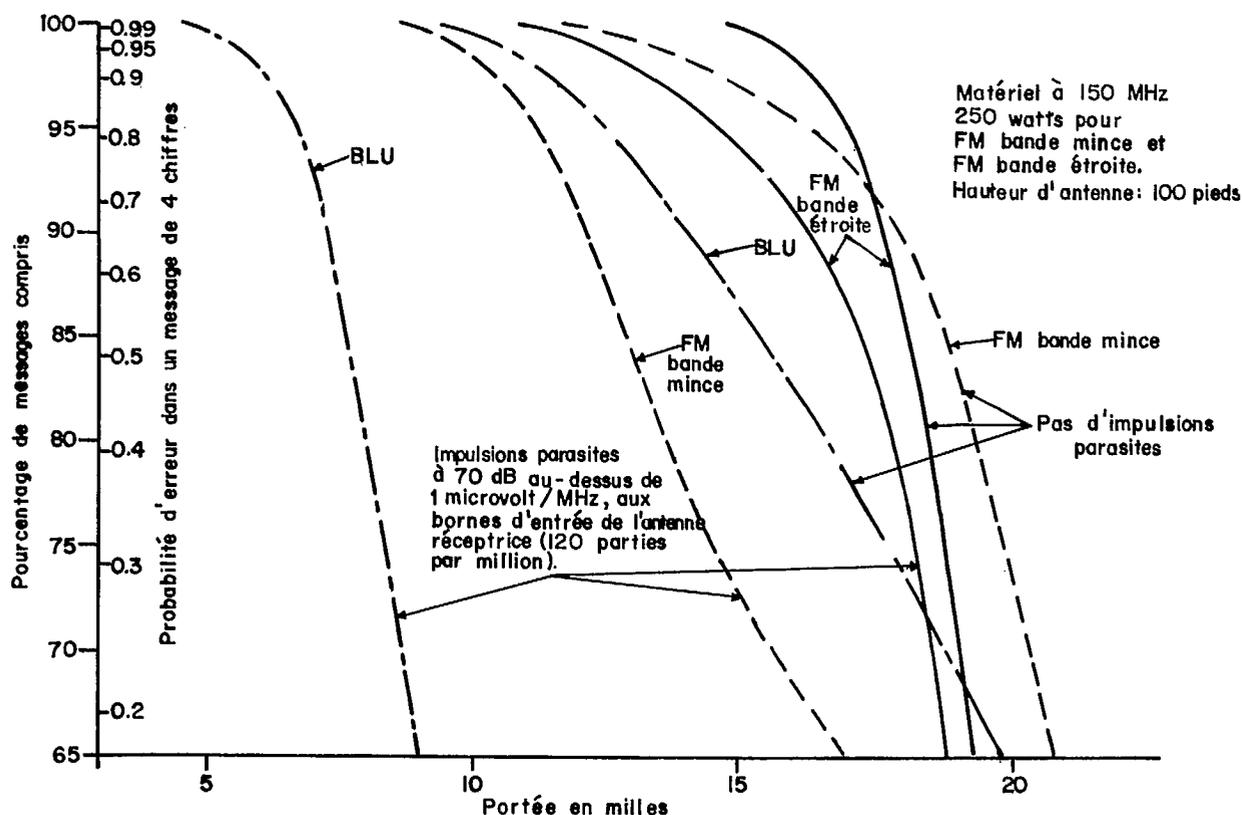


Fig. D3 Portée de la station de base en fonction du pourcentage de chiffres compris à un endroit moyen se trouvant à la limite de la zone de service. La puissance d'émission de la station de base est constante.

3.3 GROUPEMENT DES LIGNES (CONCENTRATION)

On a fait un grand usage du groupement des lignes dans l'industrie téléphonique. Cette application a amené des améliorations importantes quant au nombre d'utilisateurs par voie. Pour cette raison, certains observateurs pensent que le groupement des lignes permettrait de résoudre un grand nombre de problèmes d'encombrement du spectre dans le service radio mobile terrestre.

MM. Jona Cohn, William Braun et Eugene Bruckert ont présenté un compte rendu complet des possibilités offertes par le groupement des lignes dans les services mobiles (bibl., réf. 17) et par le concept cellulaire (bibl., réf. 18) qui s'y rattache.

3.3.1 Les besoins des systèmes radio mobiles

Bien que le service mobile soit essentiellement radiotéléphonique, il est important de se rendre compte de la grande diversité des besoins particuliers qui sont satisfaits par ce service. En matière de portée, les besoins vont des communications intérieures dans une usine jusqu'au réseau couvrant toute une région. Certains usagers utilisent essentiellement le mode de répartition tandis que d'autres font une utilisation intensive des communications entre véhicules. D'autres encore sont limités au matériel portatif parce qu'ils veulent un moyen de communications avec des personnes isolées. Certains utilisent les communications à faible portée à leur lieu de travail tandis que d'autres utilisent les systèmes unidirectionnels de téléappel radio (signalisation et conversation). De nouvelles fonctions comme la localisation des véhicules, les demandes de renseignements aux ordinateurs, les téléimprimeurs mobiles, les renseignements relatifs à la situation et les dispositifs d'alarme commencent à faire leur apparition. La diversité de ces besoins a conduit à la réalisation de formes différentes de systèmes radio comme le simplex à fréquence unique ou double et les systèmes à répéteurs. Chacune de ces formes peut constituer la solution optimale à un problème particulier.

3.3.2 Durées des messages radiophoniques

Ainsi que l'exposent les exemples suivants, les systèmes radiophoniques les mieux organisés ont des durées moyennes de message de 5 à 20 secondes. Durée de message signifie ici le temps total nécessaire à l'établissement des transmissions unidirectionnelles qui constituent une conversation bidirectionnelle complète.

Dans une étude sur les communications des services de police faite par l'Illinois Institute of Technology (ref. 19), on a mesuré des durées moyennes de message aussi courtes que 6.14 secondes. Une récente étude de Motorola sur les voies commerciales à 150 MHz indiquait une durée moyenne de message de 14.5 secondes. La Figure D4 indique la répartition des messages selon la durée. C'est de cette figure que la moyenne de 14.5 secondes a été obtenue. Il sera intéressant pour les techniciens de remarquer qu'une représentation logarithmique des données de la Figure D5 indique que la répartition est presque identique à une fonction exponentielle négative. Dans la suite de cet exposé, nous avons supposé que cette forme de répartition est générale.

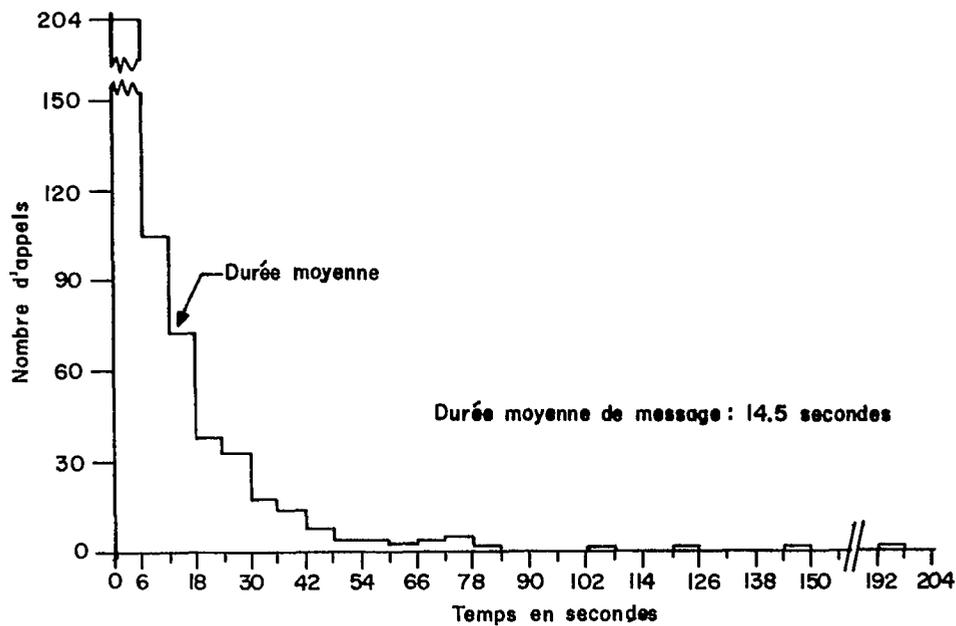


Fig. D4 Durée des messages radio d'affaires.

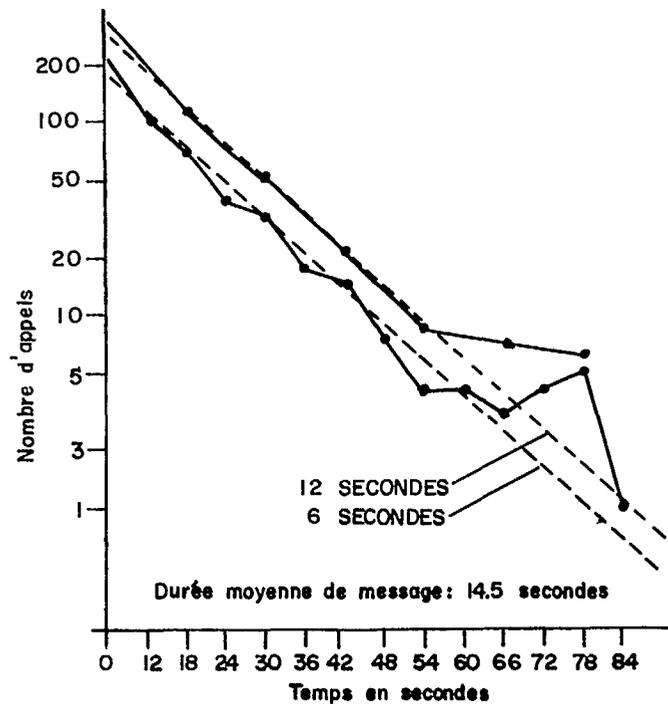


Fig. D5 Durée des messages radio d'affaires.

Afin de mettre en lumière la différence entre les messages de courte durée des services de police (6.14 secondes) et des services commerciaux (14.5 secondes) et les conversations téléphoniques, il faut remarquer que cette durée est beaucoup plus courte que les 25 à 35 secondes nécessaires à la composition du numéro et à l'établissement de la liaison dans un réseau téléphonique, sans parler de la conversation elle-même.

Pour ces messages de courte durée, les systèmes à une seule voie se révèlent commodes pour des niveaux d'occupation moyens de 50 et 60% parce que chaque usager est assuré en cas d'occupation de la ligne de pouvoir acheminer sa communication après quelques secondes d'attente. C'est là une différence fondamentale entre le téléphone public et le réseau radio privé. La durée des messages variant dans une proportion de dix à un, les usagers du réseau radio privé obtiennent une occupation de voie beaucoup plus élevée sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours au groupement des lignes.

3.3.3 Groupement des lignes téléphoniques

Avant d'étudier en détail les avantages et les inconvénients du groupement des lignes, il importe de comprendre le concept fondamental qui découle de l'expérience passée en matière de groupement des lignes téléphoniques.

Prenons deux petits groupes d'usagers du téléphone situés à des endroits différents. L'accès téléphonique est limité à une voie unique. En tant qu'usagers du téléphone, nous savons qu'en général les conversations téléphoniques durent de trois à quatre minutes, et parfois beaucoup plus longtemps. Envisageons le service assuré à un usager de ce système simple si on permet une occupation moyenne de 50% de la voie unique de liaison. Quand on essaierait d'établir une communication, la voie serait donc occupée une fois sur deux et il en résulterait des retards importants. Les retards seraient en fait trop fréquents et trop longs pour rendre ce genre de service acceptable. Dans ce cas, il serait nécessaire de limiter l'occupation moyenne de la voie à un niveau assez faible pour assurer des possibilités d'accès suffisantes. Il faudrait en général réduire l'occupation moyenne à une valeur inférieure à 10% afin qu'il soit possible d'obtenir la communication 9 fois sur 10.

Il est toutefois possible de réunir des groupes plus importants d'usagers à deux endroits et d'assurer un groupement des lignes, ou autrement dit, de permettre l'accès d'un certain nombre de voies. Sur ces voies groupées, on pourrait avoir une occupation moyenne de 50%. Cela est dû à la faible probabilité d'occupation de toutes les lignes au même moment. Un tel taux d'occupation permettrait d'établir une communication sans attente dans 90% des cas.

Il faut remarquer que la différence entre 50 et 10% représente une augmentation par un facteur de 5 de la capacité d'occupation par voie. En d'autres termes, il est obligatoire dans les applications téléphoniques de recourir au groupement des lignes afin d'obtenir un niveau raisonnable d'occupation et d'éviter la nécessité de limiter l'occupation moyenne à un faible pourcentage.

3.3.4 Etude théorique du groupement des lignes

Envisageons maintenant le groupement d'un point de vue analytique et quantitatif. Les analyses théoriques conduisent aux courbes de la Figure D6. Ces courbes sont tirées de tableaux d'attente publiés (réf. 20). Ces courbes supposent une arrivée aléatoire des appels (distribution Poisson et durée d'occupation exponentielle). Elles indiquent le pourcentage de temps utilisable des voies en fonction du nombre de voies groupées. La durée moyenne d'un message constitue un paramètre clé. Ces courbes ont été établies en supposant des valeurs moyennes allant de 5 à 250 secondes. On a choisi pour toutes les courbes un temps d'accès moyen de dix secondes qui représente un système généralement exploitable, quoique proche de la surcharge.

Dans les réseaux radio privés, l'occupation possible est limitée par les courbes de durée moyenne de 10 et 25 secondes (en fait plus proche de la courbe de 10 secondes). Par contre, l'occupation du réseau téléphonique doit suivre une courbe située entre les durées moyennes de 100 et 250 secondes (en fait plus proche de 250 secondes). Il faut remarquer que l'occupation d'une voie unique dans le cas de la radio privée est d'environ 50%, tandis qu'elle n'est approximativement que de 5% pour le réseau téléphonique. L'occupation théorique idéale étant de 100%, on peut théoriquement améliorer l'efficacité du réseau radio privé dans un rapport de deux à un grâce au groupement d'un certain nombre de voies. Ce rapport est de 20:1 dans le cas du téléphone. Il faut remarquer que les avantages possibles de l'application du groupement des lignes au réseau téléphonique sont dix fois supérieurs à ceux de la radio mobile terrestre.

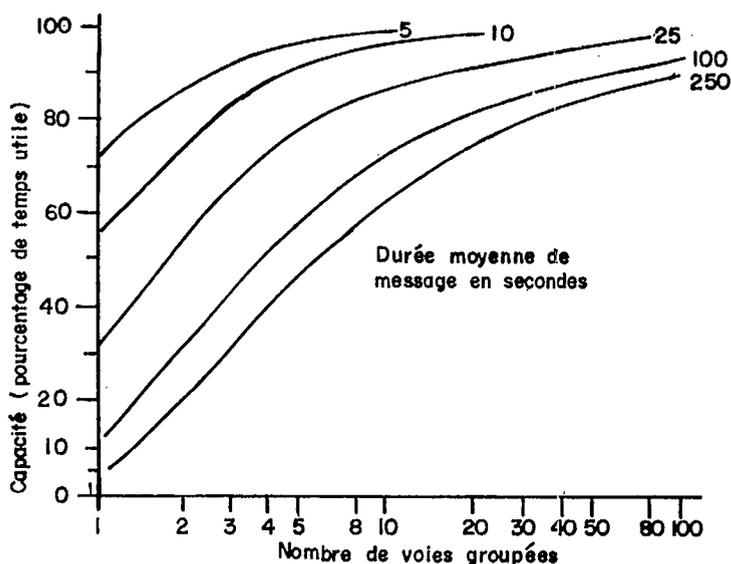


Fig. D6 Efficacité théorique du groupement des voies

Dans un système radio à voies groupées, il existe un certain nombre de facteurs importants que nous n'avons pas considérés dans les résultats quantitatifs ci-dessus. Ces facteurs qui seront traités individuellement sont les suivants:

1. Pertes dues au temps de signalisation
2. Inefficacité géographique
3. Répercussions sur la capacité de pointe
4. Facteurs humains.

3.3.5 Influence du temps de signalisation

Dans un système radio groupé, on a besoin d'un système de commutation automatique pour commander le dispositif radio à fréquences multiples. Ce dispositif, communément nommé système de supervision, assure les fonctions suivantes: recherche d'une voie libre, prise de possession de cette voie, sélection du récepteur demandé et enfin retour au repos de la voie à la fin de la communication. Pour remplir ces fonctions, le système de supervision doit échanger une certaine quantité de données entre le véhicule mobile et la station de base. Le temps de signalisation nécessaire au système constitue une perte du temps qui serait autrement utilisable pour la transmission des

messages. Par conséquent, pour déterminer l'efficacité de la voie, il faut le soustraire du temps total disponible. Compte tenu de la brièveté des messages en radio privée, il est évident que même une ou deux secondes de signalisation réduisent considérablement l'efficacité. Par exemple, une signalisation de deux secondes pour un message de 10 secondes réduit l'efficacité de 20%.

Le temps consacré à la signalisation dépend de la conception particulière du système et surtout du débit de données utilisé. Il faut remarquer qu'étant donné les vibrations parasites et le bruit artificiel élevé (en particulier les parasites d'allumage), une voie mobile ne convient pas particulièrement bien à la transmission des données à grande vitesse. La signalisation par système de supervision doit être suffisamment fiable, car les erreurs peuvent engendrer divers problèmes qui risqueraient de provoquer du brouillage et une inefficacité accrue de l'utilisation du spectre. Pour pouvoir évaluer l'influence du temps de signalisation sur l'efficacité, on a créé et analysé un modèle du système. Les usagers desservis sont ceux qui n'ont à communiquer qu'avec d'autres membres du même réseau. Ils n'ont pas à utiliser le réseau téléphonique terrestre. On a supposé que les taux et les techniques de signalisation, comme l'exploitation des voies au repos, étaient analogues à ceux qui sont employés dans le système téléphonique IMTS. Le total net de temps de signalisation était largement inférieur à celui du système IMTS parce que le débit d'information nécessaire était moins important et qu'on a supposé une signalisation entièrement automatique. Les temps de signalisation du système modèle variaient entre 1.39 et 2.94 secondes selon le nombre de voies et d'usagers. Dans le système IMTS, le temps de signalisation par composition au cadran de 7 chiffres était de 25 secondes ou plus.

La Figure D7 donne les résultats de cette analyse. Il faut remarquer que les valeurs des courbes de durée de messages privés sont bien inférieures à celles des courbes de la Figure D6. On remarquera également que l'efficacité n'augmente pas en raison directe du nombre de voies groupées. En fait, elle baisse considérablement à cause d'un accroissement du trafic de signalisation et de l'accumulation des queues d'attente dans le système de signalisation.

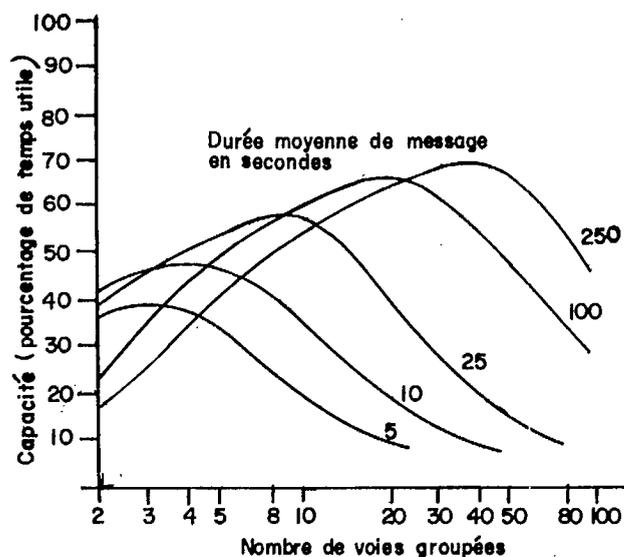


Fig. D7 Efficacité du groupement des voies

L'efficacité maximale (capacité de la voie) pour une durée moyenne de message de 10 secondes est de 48%. Ce chiffre est inférieur à ce qu'on peut obtenir des systèmes à une seule voie à forte occupation, et plus de deux fois inférieur au maximum théorique des systèmes à nombre illimité de voies groupées. On peut donc considérer que la durée de signalisation introduit une perte d'environ 50% par rapport au système théorique.

Il faut remarquer que ce facteur de 50% est en fait dû à une combinaison des pertes en signalisation, des limitations d'un système réel et des critères d'accès, puisque nous avons pris pour référence la capacité maximale de 100% d'un système théorique. Ce système théorique devrait avoir un temps de signalisation nul et soit un nombre infini de voies, soit un temps infini d'attente admissible.

3.3.6 Faiblesses géographiques

Un système à voies groupées qui dessert plusieurs groupes d'utilisateurs doit avoir assez de portée pour couvrir les zones de service combinées de tous les utilisateurs. Au contraire, les systèmes privés ne doivent couvrir que leur propre zone de service. Dans le premier cas, cela conduit à une utilisation peu rentable de l'isolement géographique possible entre utilisateurs qui autrement aurait peut-être permis l'utilisation simultanée des mêmes fréquences.

En pratique, un système à voies groupées devrait couvrir la totalité d'une région métropolitaine. Dans une telle région, on

ne pourrait utiliser une fréquence donnée qu'une seule fois. Toutefois, dans de nombreux cas plusieurs usagers de réseaux radio privés se voient attribuer la même fréquence dans une région métropolitaine. Par exemple, une compagnie de taxis ou un service de livraison de la banlieue nord de la ville peut utiliser la même fréquence qu'une entreprise située dans le sud ou l'ouest. Cela est possible lorsque les zones principales de service des réseaux radio ne se chevauchent pas au point de se brouiller de façon intolérable.

On peut citer l'exemple d'un groupe de compagnies de taxis qui ont obtenu en bande élevée une occupation de voie plus de trois fois supérieure à ce qu'on aurait pu habituellement obtenir si la fréquence n'était utilisée qu'une seule fois dans la zone donnée. Si ces usagers étaient groupés et desservis par un réseau à voies groupées, le système de supervision interdirait l'utilisation simultanée de la même fréquence, et le rendement obtenu aurait été trois fois moindre que dans le premier cas.

Il faut considérer ici que, à mesure qu'un système se développe pour desservir un plus grand nombre d'usagers, il doit étendre sa portée pour couvrir l'ensemble des zones de service de tous les usagers. Ce facteur peut éliminer complètement tous les avantages dont on aurait pu s'attendre d'un réseau groupé. Dans l'exemple cité, on avait mesuré une perte de rendement de deux-tiers lorsque le système doit couvrir la totalité de la région métropolitaine. En moyenne, le facteur géographique joue en général dans un rapport de 2 à 1. Dans les calculs ultérieurs, nous supposons par conséquent un facteur de perte de 50%.

3.3.7 Capacité de pointe

Il importe de considérer un groupe de voies non seulement du point de vue du temps d'attente moyen mais aussi par rapport à la capacité totale de pointe.

En cas de tempête de neige ou de pluie torrentielle provoquant des embouteillages, les communications de la plupart des usagers du service mobile atteignent un niveau de pointe. Un système à dix voies groupées ne peut acheminer que dix conversations simultanées. La capacité de pointe est fixe et ne peut être augmentée par le groupement des lignes. En fait, la capacité de pointe diminue parce qu'il faut soustraire le temps de signalisation du temps utilisable.

Les résultats théoriques précédemment cités supposent une arrivée aléatoire des appels et l'indépendance des demandes dans chaque voie. La capacité et les critères d'accès sont fondés sur des statistiques moyennes. Dans la pratique, la capacité en voies, déterminée par le nombre d'usagers pouvant utiliser une fréquence donnée, peut subir une limitation plus importante due à la capacité de pointe d'une voie. Les pointes de trafic

peuvent en fait être interdépendantes de telle sorte que la répartition théorique de la charge dans le temps est en réalité sans valeur. Dans les communications des services de police par exemple, les sinistres importants provoquent un accroissement brusque d'occupation de toutes les voies au même moment. Dans la mesure où cela est le facteur limitatif, on enregistrera une diminution nette de la capacité de pointe provoquée par le temps de signalisation dans un système groupé. Dans le système modèle qui nous intéresse, la diminution nette de la capacité de pointe pour un système à dix voies utilisé par la police serait de 22% en se fondant sur un temps de signalisation de 2.84 secondes et une durée moyenne de message de 10 secondes. Pour un système à 100 voies, la baisse de la capacité de pointe serait de 28%. On peut alors supposer raisonnablement un facteur de perte causé par la réduction de la capacité de pointe de 25%. A ce point, il faut remarquer qu'il s'agit là d'une limite inférieure parce que nous avons négligé la formation de queues de signaux en attente dans le système de signalisation.

3.3.8 Facteurs humains

Une des grandes différences entre les systèmes radio groupés et les systèmes non groupés réside dans la méthode d'organisation des voies. Ainsi que nous l'avons dit auparavant, le dispositif de supervision d'un système groupé commande l'établissement et la rupture des liaisons. Dans les systèmes privés, cette fonction est laissée aux opérateurs individuels; en d'autres termes, plutôt que d'être commandée automatiquement, la voie est organisée par ses usagers. Pour l'opérateur, ces deux systèmes sont totalement différents l'un de l'autre comme le sont aussi sa réaction et ses raisons d'utiliser efficacement la voie.

Dans un système radio privé, les usagers participent directement à l'action et peuvent s'adapter aux conditions de diverses manières. Au contraire, l'utilisateur de voies automatiques (goupées), par exemple l'utilisateur du téléphone, a une idée plutôt vague du trafic, et il a tendance à traiter le système comme s'il avait une capacité illimitée jusqu'à ce que la surcharge le mette hors d'état de fonctionner. Il a aussi très peu de raisons de limiter la durée de ses appels parce qu'il sait que la voie est automatiquement fermée aux autres usagers, que personne ne peut l'entendre et qu'en aucun cas on ne peut lui enlever la voie. Lorsqu'il a établi sa communication, la voie est protégée même pendant des arrêts prolongés de la conversation.

Au contraire, dans le système privé, les usagers contrôlent les conversations, et même une pause de très courte durée (le temps de presser le bouton d'émission) risque d'être mise à profit pour l'occupation de la voie par un autre usager. Cette contrainte psychologique oblige aussi l'opérateur à plus d'attention et à une réaction plus rapide quand une voie devient libre. L'utilisateur privé s'adapte aussi de façon à augmenter les

capacités aux heures de pointe par: (1) un débit de conversation plus rapide, (2) une diminution du contenu superflu comme les échanges de politesse, etc.

Après un certain temps, l'utilisateur apprend à (1) reporter le travail courant à des heures moins chargées, (2) utiliser des codes préétablis tel que le code "10" d'abréviation des messages, (3) reconnaître les usagers éloignés qui ne risquent pas de brouiller et d'occuper la voie dans sa propre zone, (4) faire respecter une discipline de conversation en ce qui concerne les genres et la fréquence des messages à émettre ou, en d'autres termes, à réduire sa charge globale de communications.

Il est difficile d'apprécier quantitativement ces facteurs. Une des rares sources de renseignements réels dont nous disposons est l'étude que l'IITRI a faite d'un système radio de police dans lequel on a constaté qu'au cours d'une heure chargée, la durée moyenne des messages passait de 8.31 à 6.14 secondes, ce qui représente une réduction de 26%. Cela est attribuable au seul abrègement des messages.

Dans un récent article intitulé "Public Safety Trunking" publié dans la revue Communications de novembre 1968, M.M. Daugherty et Kelly ont évalué que dans les systèmes de police sans groupement de lignes, l'adaptation du personnel a fait augmenter la capacité dans une proportion de 2 à 1. On utilisera ces chiffres dans les calculs qui suivent.

3.3.9 Calcul de l'efficacité globale du groupement des voies

Après avoir établi des évaluations quantitatives de ces divers facteurs, nous pouvons maintenant estimer la capacité nette d'un système radio à voies groupées utilisé dans un service mobile à usage général. La Figure D8 nous indique que l'application de tous les facteurs dont nous avons traités donne une capacité utile égale à un quart de la capacité qu'on obtiendrait si on utilisait un nombre égal de voies radio privées. Cela découle d'une amélioration théorique de groupement de 2 à 1, suivie de trois autres facteurs dont chacun serait suffisant pour contrebalancer l'effet de cette amélioration théorique dans les systèmes mobiles à messages courts.

$$\begin{aligned}
 \text{Capacité relative d'une voie groupée} &= \left(\text{Amélioration théorique du groupement} \right) \times \left(\text{Pertes dues au temps d'accès et de signalisation} \right) \times \left(\text{Inefficacité géographique} \right) \times \left(\text{Facteurs humains} \right) \\
 &= (2) \quad \times \quad \left(\frac{1}{2} \right) \quad \times \quad \left(\frac{1}{2} \right) \quad \times \quad \left(\frac{1}{2} \right) \\
 &= \frac{1}{4}
 \end{aligned}$$

Chiffres fondés sur un temps d'attente moyen de 10 secondes

Fig. D8 Capacité des voies groupées par rapport à celle des voies simples

Pour les services particuliers, tels que la police, les taxis, etc., on peut faire une évaluation de chacun des facteurs de l'équation pour en arriver à une valeur calculée particulière à chaque service.

On parvient au résultat de la Figure D9 lorsqu'on considère que la capacité des voies est limitée par la capacité de pointe plutôt que par le temps d'attente moyen. Dans ce cas, la capacité théorique totale d'un système groupé est égale à l'unité, soit la même que celle des voies non groupées. L'application des divers facteurs réduit ensuite la capacité de pointe à un cinquième de celle des systèmes privés indépendants.

$$\begin{aligned}
 \text{Capacité relative de pointe en voies groupées} &= \left(\text{Capacité théorique de pointe en voies groupées} \right) \times \left(\text{Pertes dues au temps de signalisation} \right) \times \left(\text{Inefficacité géographique} \right) \times \left(\text{Facteurs humains} \right) \\
 &= (1) \quad \times \quad \left(\frac{1}{1.25} \right) \quad \times \quad \left(\frac{1}{2} \right) \quad \times \quad \left(\frac{1}{2} \right) \\
 &= \frac{1}{5}
 \end{aligned}$$

Fig. D9. Capacité de pointe des voies groupées par rapport à celle des voies simples

3.3.10 Comparaison de la charge de voies existantes

Le seul système radio à voies groupées fonctionnant dans les conditions LMRS est le système IMTS mis au point par le Bell System. Il est intéressant de comparer la charge de ce système avec celle qu'on obtient généralement dans les systèmes privés à forte occupation. La Figure D10 donne les résultats de cette comparaison.

<u>SYSTÈME</u>	<u>Nombre d'utilisateurs</u>	<u>Mobiles par fréquence</u>	<u>Charge relative</u>
IMTS de Chicago 8 voies en duplex	400	25	1
Service d'affaires de Chicago (bande de 150 MHz) 12 voies simples	1854	154	6.2
Service de taxis de Chicago (bande de 150 MHz) 7 voies à 2 fréquences	1844	132	5.5

Fig. D.10 Comparaison de la charge par voie entre systèmes privés et publics

La charge maximale prévue pour le système IMTS à huit voies est de 480 mobiles. A Chicago, où la densité d'occupation est élevée, la charge estimée est de 400 mobiles. Cela constitue une charge courante par voie de 50 mobiles, ou 25 par fréquence, chaque voie ayant deux fréquences.

Par comparaison, le service commercial de Chicago dans la bande de 150 MHz dispose de 12 voies et d'un total de 1854 émetteurs, soit 154 émetteurs par fréquence. Cela donne un rapport approximatif de 6.2 à 1.

De même, dans le service de taxis en bande de 150 MHz, il y a 1844 véhicules répartis entre sept paires de voies. Cela donne 263 véhicules par paire, soit 132 par fréquence. On obtient donc un rapport de 5.5 à 1 en faveur des systèmes privés. Cette comparaison ne s'applique qu'au seul système existant à voies groupées.

3.3.11 Systèmes cellulaires

On peut théoriquement combiner l'isolement géographique avec le groupement des voies pour former des "systèmes cellulaires". On peut réaliser l'utilisation multiple des fréquences dans les

transmissions à courte distance dans chaque cellule. On a avancé que des cellules ne dépassant pas un mille carré de portée donneraient de très grandes capacités au système.

Un tel système présente malheureusement deux défauts importants. Le système serait d'abord extrêmement complexe, et il faudrait ensuite une largeur de bande importante pour la communication des données nécessaires au système de supervision. En effet, celui-ci devrait en plus des fonctions précitées accomplir les suivantes:

1. Déterminer la position du véhicule pour la sélection de la bonne cellule afin d'appeler ce véhicule.
2. Déterminer la cellule pour les appels à partir d'un véhicule.
3. Commuter en temps réel entre cellules et fréquences pendant une conversation lorsqu'un véhicule passe d'une cellule à l'autre.

Il faut se rappeler que la circulation routière sur voies rapides permettrait le passage d'un véhicule d'une cellule à l'autre au rythme de une par minute. Le problème soulevé par la mise à jour rapide de l'information concernant les positions de véhicules occupera une bande considérable de spectre et nécessitera l'utilisation de matériel complexe et coûteux. Le nombre de voies de données nécessaire aux fonctions de supervision peut facilement être deux fois plus important que le nombre des voies de conversation à contrôler. Les frais, la complexité et les exigences de la signalisation sont énormes.

3.3.12 Conclusions

Il ressort de l'exposé ci-dessus que le concept du groupement des voies ne constitue par une solution pratique au problème de l'encombrement croissant des fréquences dans le service mobile terrestre. L'application du groupement des voies à ces services provoquerait une diminution notable des possibilités de répondre aux besoins particuliers des usagers. Elle amènerait une diminution importante de l'efficacité de l'utilisation du spectre à cause des facteurs inhérents à la nature des systèmes radio privés, facteurs qu'on ne rencontre pas dans le service téléphonique.

Cela ne signifie pas que le groupement des voies soit un concept inutile lorsqu'on a à acheminer en majorité des messages de longue durée de personne à personne. Cette méthode est caractéristique de réseaux téléphoniques mobiles comme le système IMTS, qui n'est en fait qu'un prolongement mobile du service téléphonique terrestre. Dans ce cas, les messages très longs, le

manque d'expérience de l'utilisateur, qui empêche l'adaptation, et le besoin d'une liaison directe avec le réseau téléphonique imposent l'utilisation du groupement des voies. En fait, sans le groupement des voies, on ne pourrait éviter soit l'occupation très réduite des voies soit un service insuffisant. Le groupement des voies fournit à ceux qui en ont besoin la possibilité d'accès à la totalité des installations téléphoniques terrestres par composition automatique au cadran.

3.4 SYSTÈMES COLLECTIFS

Un des objectifs du progrès technologique est de mettre les communications radio mobiles à la disposition du plus grand nombre possible d'entreprises qui peuvent en tirer profit. Cela ne peut que mener à une productivité accrue et à l'offre d'un service de meilleure qualité à la partie de la population qui est desservie par ces entreprises. Dans certains cas, les avantages financiers pour l'utilisateur sont tels que les frais d'immobilisation d'une station de base et d'un petit groupe (cinq par exemple) de véhicules équipés de radio se justifient facilement. Toutefois, un système aussi modeste n'utiliserait la radio que durant une faible partie du temps d'émission disponible. Dans une zone urbaine, l'attribution d'une voie entière à un tel système constituerait un gaspillage de spectre.

On peut rencontrer d'autres cas dans lesquels les avantages pour les usagers ne suffiraient pas à justifier les frais d'installation de la station de base. Cela est essentiellement dû au prix élevé du matériel UHF.

L'attribution en commun d'une voie à un groupe d'entreprises ayant chacune sa propre station de base présente une solution au premier problème.

On peut résoudre le deuxième problème par la mise en place d'un système collectif dans lequel plusieurs entreprises utiliseraient une station de base ou répéteur. Cette solution permettrait le partage des frais et l'utilisation maximale de la voie. Ce genre de système pourrait être contrôlé par plusieurs répartiteurs qui seraient appelés individuellement par réglage silencieux codé. D'une manière analogue, le réglage silencieux appliqué aux véhicules réduit au minimum la gêne causée par les autres usagers de la voie.

La propriété et l'exploitation de la station de base ou du répéteur pourraient revenir aux usagers qui en partagent les frais ou au fournisseur du matériel qui récupère ses dépenses des usagers sur une base non lucrative.

Même si les facteurs financiers justifient l'utilisation en commun d'une voie avec des stations de base différentes, une

station ou un répéteur collectifs présentent des avantages marqués.

La station ou le répéteur collectifs éliminerait le brouillage en haute fréquence entre les usagers d'une même voie. Cette solution ne s'applique naturellement que dans le cas d'usagers qui ont une zone de service commune.

L'usage de ce genre de système est généralisé, et cette technique qui contribue à la conservation du spectre est solidement établie. La technologie future tendra vers le perfectionnement de la signalisation afin d'assurer le secret des communications à chacun des usagers.

3.5 MULTIPLEXAGE

On a fait grand cas de l'emploi du multiplexage pour améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre. Bien qu'il soit notoire que les techniques de multiplexage présentent des avantages certains dans un système reliant des postes fixes, une analyse impartiale montre que dans le service mobile terrestre les inconvénients dépassent largement les avantages.

Nous énumérons ci-dessous les exceptions et les considérations pratiques qu'il faut placer dans le contexte de l'utilisation des techniques de multiplexage pour le service mobile terrestre.

- 3.5.1 Un système de multiplexage exige l'emploi de moyens classiques pour les communications du véhicule à la station de base. Il n'est par conséquent applicable qu'aux communications à partir de la station de base vers le véhicule.
- 3.5.2 Une analyse minutieuse du système de multiplexage à 12 voies indique une perte de puissance d'émission dans le rapport de 450 à 1 pour un système FM à bande latérale unique, et de 2000 à 1 pour un système FM/FM. Ce rapport est établi en fonction de la puissance nécessaire à un système existant à voie simple à déviation de 5 kHz pour transmettre un signal à une distance égale.

Ces considérations sont clairement présentées sur la Figure D11. Bien que la perte de puissance d'émission puisse paraître exagérée, elle est due au fait bien connu selon lequel dans les systèmes FM le rapport signal/bruit est proportionnel au carré de l'indice de modulation.

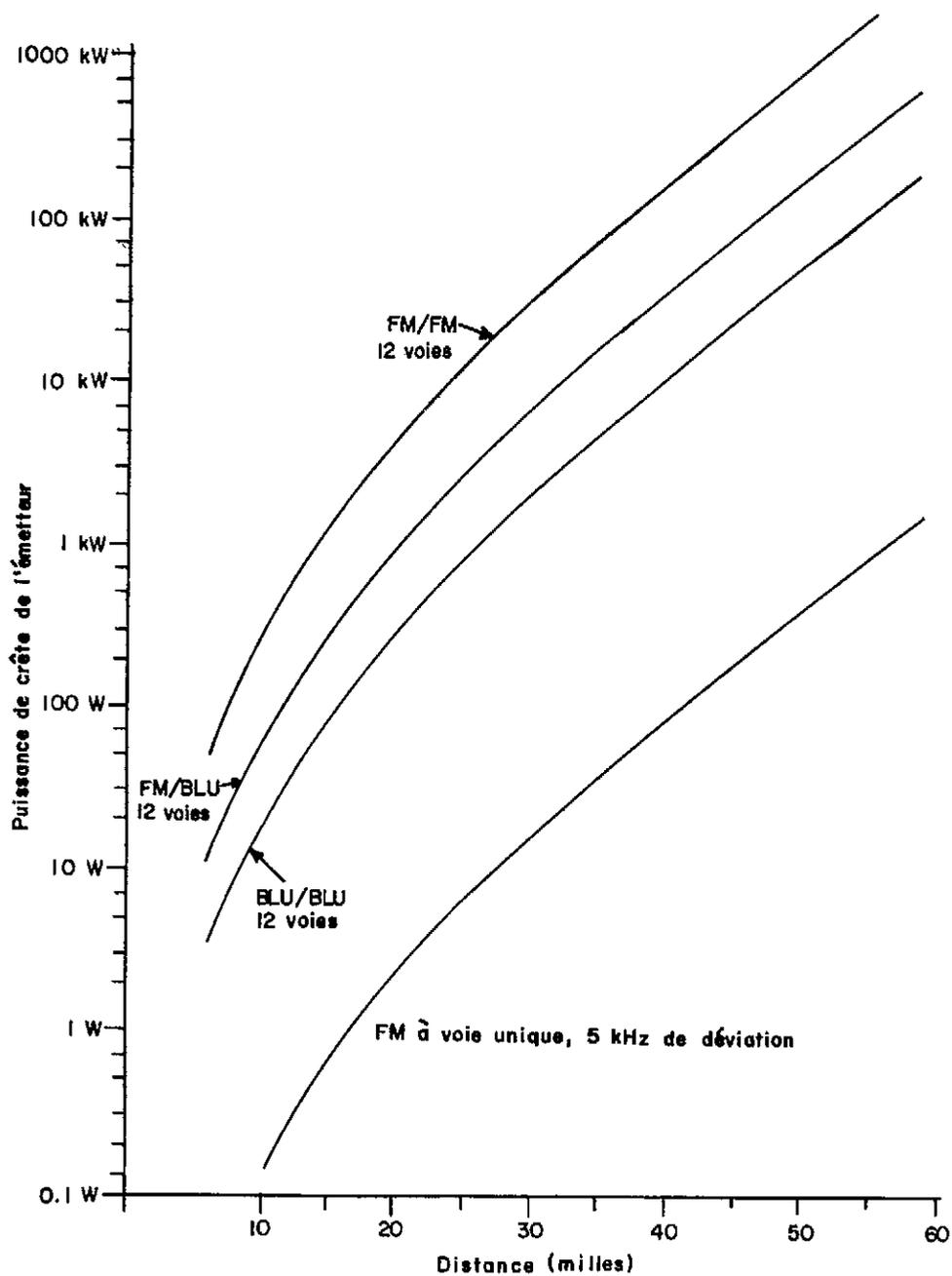


Fig. D11. Puissance de crête de l'émetteur nécessaire pour obtenir un rapport signal/bruit de 12 dB aux bornes de sortie d'un récepteur à 450 MHz.

- 3.5.3 Les systèmes à multiplexage souffrent du fait que l'indice de modulation est inversement proportionnel à la fréquence de modulation la plus élevée. A cause des zones de silence dues aux immeubles, aux parasites d'allumage et aux vibrations parasites, les systèmes existants ont besoin d'émetteurs de 15 à 100 watts pour avoir une portée suffisante. Or un système à multiplexage nécessiterait des émetteurs de 45,000 watts en FM/BLU et de 200,000 watts en FM/FM pour être équivalents à douze émetteurs de 100 watts à voie simple.
- 3.5.4 A cause des puissances extrêmement élevées nécessaires au système FM/BLU, les signaux qui arrivent à l'entrée de chaque récepteur sont d'environ 27 dB supérieurs à la puissance normale. Cela augmentera notablement le brouillage d'entrée du récepteur comme les parasites d'intermodulation et de mélangeur. Les parasites d'intermodulation augmenteraient par exemple de trois fois (81 dB), et les parasites de mélangeur de rang supérieur encore davantage. Dans le cas des systèmes FM/FM, on obtiendrait des parasites d'un niveau de 99 db plus élevé qu'avec un système à voie simple.

Il est intéressant d'examiner le résultat de ces brouillages pour les systèmes existants. Selon la théorie d'intermodulation des systèmes, chacune des stations de base brouilleuses devrait être écartée du récepteur mobile brouillé de façon à rajouter 18 dB aux pertes de propagation, afin qu'elles puissent continuer à assurer le service pour la zone entière. Bien que le nombre total de stations de base soit moins élevé dans un système à multiplexage, la présence continue de leurs porteuses individuelles fait que les zones de brouillage sont inutilisables en permanence. La récupération de ces zones nécessiterait soit des attributions de fréquences mobiles multiples espacées en distance, soit un important écart géographique entre usagers de voies adjacentes. Par des calculs de pertes en propagation rectiligne, on obtient un facteur d'augmentation de la distance de trois. Cela signifie que toutes les stations de base doivent être trois fois plus éloignées les unes des autres, ce qui donne une perte en superficie de neuf. Dans chaque cas, on aboutit à une diminution d'efficacité dans l'utilisation du spectre.

Les brouillages entre stations de base dans un système multiplex attribué par zone sont encore pires. Les récepteurs de base à qui sont attribués les lisières de bande recevront les signaux d'autres stations puissantes en même temps que les signaux normalement faibles des véhicules. Cet état de choses est actuellement acceptable à cause des grandes différences de puissance entre les deux systèmes. Comme les brouillages de station à station se font en portée optique, le niveau de brouillage sera beaucoup plus élevé que les 81 dB que l'on avait

calculés dans le cas du trajet de la station de base au véhicule. La seule solution consisterait en une augmentation importante de l'espace libre entre les groupes de fréquences de véhicules et de stations de base, ou en une diminution radicale de l'efficacité d'utilisation du spectre.

3.5.5. On avance souvent l'hypothèse que l'espacement des voies devrait être égal au double de la somme de la déviation et de la fréquence audio la plus élevée. Cette formule n'est cependant pas applicable aux systèmes à faible indice de modulation (par exemple, un système ayant 5 kHz de déviation et 3 kHz de bande audio). Les 16 kHz qui en découlent provoqueraient des parasites excessifs en bande latérale. Dans les systèmes de multiplexage à hyperfréquences, la formule assure la "bande passante nécessaire". Cela suppose que l'énergie de cette bande passante est le minimum nécessaire à la reproduction fidèle des sous-voies reçues. En pratique, le filtre du récepteur doit avoir une bande passante beaucoup plus large que la bande passante nécessaire, généralement le double. Ce facteur de 2 tient compte du défaut de linéarité en amplitude et en phase du filtre. Autrement dit, dans un système à multiplexage où l'on tient compte d'un tel filtre, il faut porter le facteur d'occupation du spectre de 39 à 53 en FM/BLU. Cela donne une perte de spectre de 6% au lieu des 22% auxquels on pouvait s'attendre.

3.5.6 Un système BLU/BLU comporte tous les inconvénients qui ont déjà été cités en ce qui concerne le fonctionnement en BLU simple dans les bandes VHF/UHF (manque de stabilité, susceptibilité aux impulsions, parasites, etc.).

En résumé, le multiplexage n'assure aucune amélioration de l'efficacité d'utilisation du spectre à cause des conditions matérielles dues à la conception des filtres et au brouillage provoqué par les fortes puissances d'émission nécessaires au maintien de la portée.

3.6 DISPOSITIFS SÉLECTIFS

L'encombrement du spectre attribué au service mobile terrestre a augmenté l'importance de la sélectivité en voie adjacente et de la sélectivité des circuits d'entrée du récepteur. La technique de conception des filtres piézoélectriques a donc progressé considérablement au cours des dernières années. On dispose maintenant d'un filtre piézoélectrique à haute fréquence doté d'une sélectivité de 17 dB sur voie adjacente en bande haute. Ces filtres sont indispensables dans le matériel radiotéléphonique à voies multiples et dans d'autres applications où on doit utiliser des

voies adjacentes dans un même endroit. Les filtres piézoélectriques aident aussi à la solution des problèmes d'intermodulation de récepteur.

Depuis quelques temps, on peut obtenir dans le commerce des éléments résonnants en céramique au titanate qui peuvent servir de filtres passe bande en fréquence intermédiaire. Le filtre piézoélectrique monolithique à couplage de mode qu'on a annoncé dernièrement permet d'améliorer la sélectivité en fréquence intermédiaire. La réunion de quatre de ces filtres présente une caractéristique passe bande à coupure nette. En outre, ils n'ont pas besoin de réglage d'accord.

De progrès réguliers ont été réalisés dans la technologie des dispositifs sélectifs destinés à des utilisations autres que pour le matériel radio. Les réalisations se situent principalement dans le domaine des filtres passe bande et des multicoupleurs qui permettent l'utilisation collective d'une antenne par plusieurs émetteurs et récepteurs.

Dans les années à venir, les recherches permettront d'améliorer les dispositifs sélectifs. On utilisera la technologie des circuits intégrés afin de tirer le maximum du spectre disponible.

3.7 ORDINATEURS DE RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

Grâce à une analyse soignée des zones de service de différents usagers, on peut souvent attribuer une même voie en plusieurs endroits d'une même région métropolitaine.

Au moyen de signaux codés de réglage silencieux, et en tirant le maximum de l'effet de capture du signal le plus fort en modulation de fréquence, les véhicules proches d'une station de base peuvent fonctionner sans brouillage important de la part des autres stations de base.

Les véhicules d'une municipalité pourraient par exemple partager une voie avec ceux d'une autre municipalité, étant donné qu'il est peu probable qu'ils aient à sortir de leur limites municipales respectives.

Ainsi que cela s'est produit dans des grandes villes des Etats-Unis, l'encombrement accru du spectre accentue l'intérêt du partage géographique. Pour réduire le brouillage, on doit mémoriser dans un ordinateur la masse de renseignements dont on dispose afin d'obtenir le meilleur choix possible de voies et d'emplacements. Il en résulte qu'on peut également utiliser l'ordinateur pour l'attribution géographique de voies tertiaires à l'aide d'un programme qui permet des séparations moins importantes que ce ne serait le cas dans l'exploitation en voie commune.

A l'aide de l'ordinateur, on peut aussi apporter des solutions à d'autres problèmes relatifs aux attributions de fréquences. L'un de ces problèmes est l'analyse de l'intermodulation, dans laquelle on étudie toutes les fréquences d'émission et de réception d'une zone donnée pour définir les probabilités de génération de parasites d'intermodulation. Cette technique est actuellement utilisée; elle sera perfectionnée dans les années à venir afin d'accélérer le choix de voies appropriées.

Il faudra que la bande haute subisse une évolution dans l'attribution des voies pour qu'on puisse profiter des avantages d'utilisation du spectre au moyen du pairage. Dans ce cas encore, l'ordinateur sera d'un grand secours.

La technologie future permettra de concevoir des programmes d'ordinateur mieux adaptés aux conditions réelles de service.

3.8 CAPTAGE PAR RÉCEPTEURS MULTIPLES

Le but d'un système de captage par récepteurs multiples est d'accroître la portée du matériel portatif ou mobile dont la puissance de sortie est généralement inférieure à celle de l'émetteur de la station de base. En disposant stratégiquement des récepteurs individuels dans une région urbaine, on peut équilibrer la portée d'émission et la portée de réponse.

Il s'agit en fait d'un système sélectif grâce auquel la communication ne s'établit qu'avec le récepteur ayant le meilleur rapport signal/bruit. On a déjà appliqué des systèmes à récepteurs multiples au service téléphonique mobile. On les utilise aussi pour accroître la portée du matériel radio portatif bidirectionnel de faible puissance utilisé dans d'autres services. Ce système contribue à la conservation du spectre grâce à la puissance réduite du matériel qui diminue les possibilités de brouillage.

La technologie future s'orientera vers le perfectionnement des systèmes sélectifs dont la demande a augmenté par suite des améliorations récemment apportées au matériel portatif.

3.9 SYNCHRONISATION DES ÉMETTEURS

Les récepteurs multiples vont donc accroître la portée des émetteurs portatifs. De la même façon, les émetteurs multiples augmenteront la portée des récepteurs portatifs (comme ceux qu'on utilise dans les systèmes de téléappel radio). Afin de couvrir de façon ininterrompue une région métropolitaine, il faut disposer les émetteurs de telle manière que leurs zones se chevauchent largement. Cela engendrera bien entendu des problèmes de brouillage. Lorsqu'un récepteur mobile reçoit simultanément des signaux de deux émetteurs fonctionnant sur la

même voie, un battement d'une fréquence égale à la différence de fréquences des deux émetteurs se produit. A cause des éléments de stabilisation de fréquence actuellement utilisés dans le matériel mobile terrestre, la fréquence du battement varie considérablement en fonction du temps et de la température, et rend le système inacceptable.

Dans certains systèmes, le même message est émis non simultanément mais successivement par les deux émetteurs. Cela divise la capacité du système par le nombre d'émetteurs, ce qui est peu pratique quand on a besoin d'un grand nombre d'émetteurs.

De nouvelles techniques permettent la réalisation d'oscillateurs à grande stabilité qui ne varient que de quelques hertz par an et permettent donc l'exploitation par émetteurs multiples avec un minimum de brouillage interne. On a également proposé la synchronisation des émetteurs à partir d'une source commune. Le matériel nécessaire à cette fin sera probablement disponible dans le commerce lorsqu'il y aura une demande suffisante.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) What's Ahead in Communications,
J.C.R. Punchard,
IEEE Spectrum, janvier 1970.
- 2) Integrated Circuits in Communications Equipment,
J.F. Mitchell et H.T. Hummel,
IEEE Vehicular Technology Conference, New York, 1967.
- 3) Linear Integrated Circuits in Communication Systems,
Robert A. Hirschfeld,
IEEE Spectrum, novembre 1968.
- 4) A Perspective on Integrated Electronics,
J.J. Suran,
IEEE Spectrum, janvier 1970
- 5) The Anatomy of Integrated Circuit Technology,
Harwick Johnson,
IEEE Spectrum, février 1970.
- 6) Some Practical Aspects of Digital Transmission,
John R. Pierce,
IEEE Spectrum, novembre 1968.
- 7) Comments and Exhibits of Motorola Inc.,
Volumes I et II, dossier 18261 de la
FCC, le 3 février 1969

- 8) Subminiature Integrated Antennas,
Edwin M. Turner,
IEEE Vehicular Technology Conference, New York, 1967.
- 9) Common Frequency Radio Relaying,
J.G. Churcher,
IEEE Vehicular Technology Conference, New York, 1967.
- 10) Narrow Band FM RF Repeater for Mobile Radio Communications,
Enrico Pezzini, Gianni Lovisolo,
IEEE Vehicular Technology Conference, Montréal, 1966.
- 11) Innovations and New Concepts in Mobile Communications,
Daniel K. Clark et Leonard G. Schneller,
IEC, Toronto, octobre 1969.
- 12) Automation on the Highways, an Overview,
S.C. Plotkin,
IEEE Transactions Vehicular Technology, août 1969.
- 13) Comparison of Mobile Radio Transmission at UHF and X Band,
W.C. Jakes Jr., D.O. Reudink,
IEEE Transactions on Vehicular Technology, octobre 1967.
- 14) Bottom of the Barrel,
William L. North,
IEEE Vehicular Technology Conference, New York, 1967.
- 15) EIA Comments, le 31 mars 1965, dossier 15398 de la FCC.
- 16) Co-ordinated Broadband Mobile Telephone System,
Lewis,
Transactions on Vehicular Communications, mai 1960.
- 17) Evaluation of Trunking for Land-Mobile Systems
Dr. Jona Cohn, William Brown, Eugene Bruckert,
Applied Research Department, Motorola Inc.
- 18) High Capacity Mobile Radio Telephone System Model
Using a Co-ordinated Small Zone Approach,
R.H. Frenkiel,
Bell Telephone Labs, Inc.
- 19) Illinois Police Communications Study,
Associated Public Safety Communications Officers, Inc.,
juillet 1968.
- 20) Delay Tables for Finite - and Infinite - Source Systems,
A. Descloux, McGraw Hill, 1962.

- 21) Public Safety Trunking,
Gordon Dougherty et Peter M. Kelly,
Communications, novembre 1968.

Remarque: Cette annexe constitue un résumé abrégé du rapport Rostow (Staff Paper One, President's Task Force On Communications Policy) et a été incluse afin de comparer les vues du Canada et des Etats-Unis sur le développement des communications.

ANNEXE E

APERÇU DE LA TECHNOLOGIE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS AUX ÉTATS-UNIS

TABLE DES MATIÈRES

- I. Introduction
- II. Le réseau des sociétés exploitantes de télécommunications
- III. Transmission
- IV. Commutation
- V. Distribution (boucle locale)
- VI. Compromis entre la transmission, la commutation et la distribution
- IX. Distribution de la télévision
- X. Nouveaux services

I. INTRODUCTION

A. Etendue des possibilités

1. Expansion des services visuels.
2. Etablissement de services appropriés de communications pour le traitement des données.
3. Réalisation d'un équipement terminal permettant l'accès des ménages et des petites entreprises aux ordinateurs.
 - Les appareils de perforation des cartes et des bandes de papier, les téléimprimeurs et les postes terminaux d'affichage se chiffrent aujourd'hui à 200,000. Il est probable que leur nombre décuplera en une décennie.
4. La réduction du prix est essentielle à l'exploitation de ces possibilités.

B. Perspectives d'innovation

1. Quoique les frais d'acheminement de grandes quantités d'information sur de longues distance diminuent rapidement, les perspectives de réductions spectaculaires des prix dans les autres domaines sont moins favorables.
 - Par conséquent, l'investissement à faire pour un mille supplémentaire de circuit dans les installations de transmission à grande distance du Bell System, qui s'élève aujourd'hui à \$11 en moyenne, baissera à \$1.50 dans 10 ans.
 - La transmission à longue distance ne constitue cependant qu'une petite fraction (environ 17%) du coût total du réseau téléphonique. La commutation (45%), les postes terminaux (23%) et la distribution (15%) représentent le reste.
 - Les frais de traitement des données ont diminué de 50% tous les deux ans.
2. Un réseau consacré exclusivement au traitement des données pourrait permettre des communications plus économiques et une plus grande souplesse. Au cours des années 1970, il pourrait toutefois être utile d'établir soit un réseau numérique distinct soit un sous-réseau à l'intérieur d'un système collectif pour les usagers de la transmission des données, ce qui éliminerait les

installations coûteuses d'acheminement et de multiplexage du réseau téléphonique de base.

3. Tandis que les postes terminaux de données resteront coûteux, l'appareil téléphonique à clavier permettra aux usagers qui n'ont besoin de transmettre des données qu'à l'occasion de communiquer directement avec des ordinateurs.

C. Répercussions sur la politique des communications

1. Les usagers de la transmission des données ont besoin d'une grande variété de services et de la liberté d'établir des sous-réseaux en fonction de leurs besoins.
2. L'amortissement indexé au niveau de la situation économique permettrait de tenir compte des nouvelles technologies lors des décisions d'investissement.
3. Des réductions de frais s'imposent plus particulièrement pour les circuits de distribution et les postes terminaux.

II. LE RÉSEAU DES SOCIÉTÉS EXPLOITANTES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS

A. Notre étude est concentrée sur les quatre éléments du réseau des sociétés exploitantes de télécommunications: les installations de transmission et de commutation, les circuits de distribution et les postes terminaux.

A l'heure actuelle, les faisceaux hertziens et les câbles coaxiaux constituent 93% des installations de transmission téléphonique à grande distance. Les circuits bifilaires constituent cependant encore le support essentiel des signaux entre les centraux locaux et les postes téléphoniques terminaux. Dans un avenir assez éloigné, on pourra mettre en service des installations comme les guides d'ondes millimétriques et les systèmes à laser sur les voies d'acheminement d'environ 100,000 circuits.

Au cours des années 1980, on projette la mise en service de guides d'ondes millimétriques pour la transmission à des fréquences supérieures à 10 GHz sur les voies d'acheminement de 260,000 circuits téléphoniques.

Des systèmes de câbles L1 aux systèmes L3 et L4, la capacité en voies téléphoniques est passée de 2,000 à 16,740 et 32,400 voies, tandis que les frais annuels par mille de circuit sont tombés de \$3 à \$1.50 et \$0.90. Le système L5, qui doit entrer en service vers 1975, acheminera 81,000 circuits téléphoniques au coût annuel d'environ \$0.35 par mille de circuit.

III. TRANSMISSION

C. L'encombrement du spectre radioélectrique et les frais d'entretien limitent les économies d'échelle réalisables grâce au nombre de voies acheminées simultanément dans les faisceaux hertziens.

Le système additionnel le plus récent, le TH-3, peut doubler la capacité (de 12,000 à 23,000 voies) des installations à micro-ondes existantes à un coût largement inférieur à celui des faisceaux hertziens actuels (\$2.75 par mille de circuit au lieu de \$4.15).

D. On envisage une diminution considérable du coût des circuits de transmission par satellite vers 1975.

Chacune des stations terriennes bidirectionnelles normales INTELSAT de la génération actuelle coûte entre 4 et 6 millions de dollars. Toutefois, au cours des années 1970, des satellites de puissance plus grande permettront la mise en service de stations terriennes équipées d'antennes non orientables plus petites (30 pieds) et d'amplificateurs de réception sans refroidissement. Ces installations continueront néanmoins à acheminer le même nombre de circuits par unité de largeur de bande. Le coût des stations terriennes sera probablement 10 fois moindre (\$500,000 au plus).

F. Les techniques numériques de transmission offrent une qualité supérieure et une meilleure protection contre le brouillage, surtout sur les longues voies d'acheminement et dans les réseaux radio.

G. Dans les services intérieurs américains, on utilisera essentiellement les câbles bifilaires sur les voies d'acheminement de capacité fixe inférieure à 500 circuits, les faisceaux hertziens entre 500 et 15,000 circuits, les câbles coaxiaux entre 15,000 et 80,000 circuits et les guides d'ondes au-dessus de 80,000 circuits.

En prenant en considération l'augmentation du trafic, le Bell System prévoit que d'ici 1980, 90% de ses circuits à longue distance seront constitués de câbles coaxiaux. Cela signifie que seul un nombre réduit d'artères auront une capacité inférieure à 10,000 voies et un coût relativement élevé. Selon Bell, l'investissement nécessaire à l'installation des lignes passera de \$11 à \$1,40 par mille de circuit téléphonique.

La figure E1 donne le coût relatif des divers supports de transmission par rapport à la longueur et la densité en circuits par artère de communications.

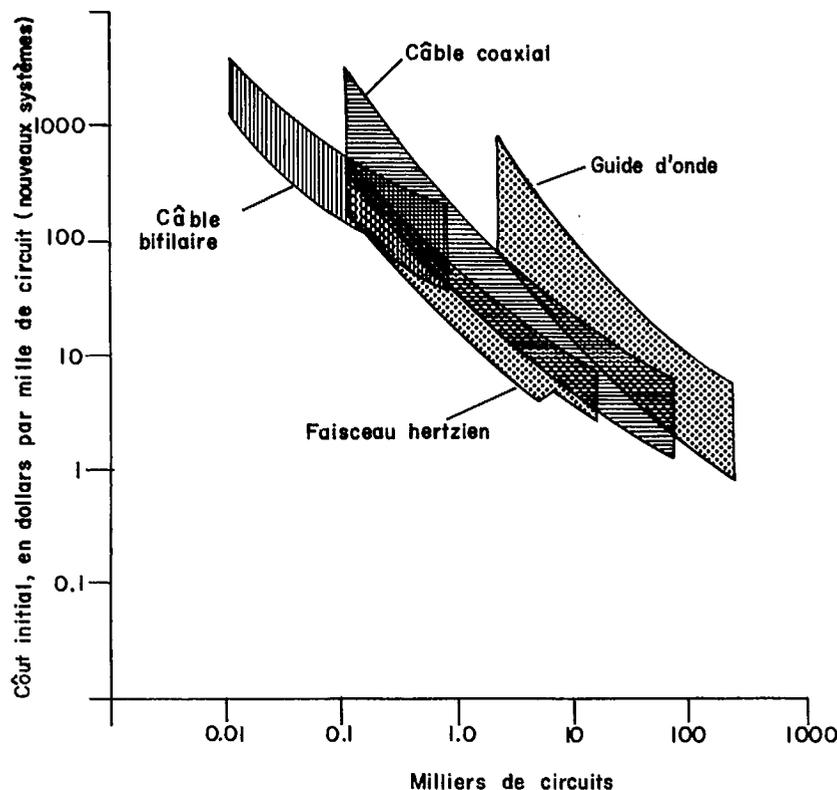


Fig. E1 Coût des systèmes terrestres de transmission

H. Sur le plan national, les satellites de communications paraissent très rentables pour les services de distribution à large bande et pour des réseaux spécialisés qui exigent de nombreuses voies d'acheminement variables à faible capacité.

I. Les satellites de communications occuperont probablement une place prédominante sur les voies intercontinentales d'ici 1980.

IV. COMMUTATION

B. L'augmentation de la vitesse de commutation et l'interurbain automatique ont été rendus possibles grâce aux progrès de la commutation des circuits.

Dans un réseau téléphonique, la part de la commutation dans les immobilisations totales est relativement faible (28%). Cependant, le salaire des téléphonistes porte sa part du coût de l'appel téléphonique moyen à 45%, et même à 54% dans le cas des appels interurbains.

Un central actuel de commutation spatiale pouvant desservir 10,000 postes terminaux coûte environ trois fois plus cher

que celui qui ne peut en desservir que 2,000. La commutation temporelle permet des économies d'utilisation à grande échelle que n'assure pas l'équipement spatial; elle peut par conséquent présenter une meilleure rentabilité en fonction de la taille des installations. La commutation des circuits peut aussi offrir des économies d'utilisation à grande échelle au niveau du central interurbain. Le coût par ligne d'un central de commutation interurbaine à 16,000 lignes est égal à la moitié de celui d'un central à 3,000 lignes. A l'avenir, les centraux de commutation interurbaine à 50,000 lignes auront un coût par ligne encore plus faible.

C. Un réseau numérique utilisant des dispositifs de commutation temporelle pourrait diminuer les frais de modulation, de commutation et de multiplexage pour la transmission des données.

En se fondant sur la technologie prévue d'ici 10 ans, le tableau suivant compare les immobilisations d'un système analogique à commutation spatiale et celles d'un système numérique à commutation temporelle.

TABLEAU 1

Comparaisons du coût des réseaux par abonné

<u>Fonction</u>	<u>Réseau analogique</u>	<u>Sous-réseau numérique</u>	
		<u>Maximum</u>	<u>Minimum</u>
Conversion des signaux numériques	\$500	\$ 0	0
Distribution locale	\$256 (1-1/10)	\$292	292
Commutation locale	\$184 (1/2)	\$ 92 (1/3)	37
Commutation inter-urbaine	\$ 25 (1/2)	\$ 12 (1/3)	5
Circuits (terminaux)	\$ 50 (1/3)	\$ 17 (1/10)	5
(pose de lignes)	\$ 50 (1-1/10)	\$ 55	55
Total	\$1065	\$468	394

Le principal problème d'un réseau numérique à usages multiples assurant simultanément des fonctions intrinsèquement analogiques (téléphone, télévision, etc.) et intrinsèquement numériques (données) est le coût de la conversion des signaux analogiques à la forme numérique pour leur transmission sur le réseau. A l'heure actuelle, le matériel nécessaire reviendrait à \$1,500 par abonné. Des prévisions optimistes

pour 1975, fondées sur la production en série des circuits intégrés à grande échelle, envisagent un coût aussi bas que \$50 par abonné. Au cours des années 1970, on ne pense pas que le nombre de postes terminaux de transmission des données dans le réseau dépasse 2 millions.

D. La commutation par mise en mémoire et acheminement ultérieur (commutation de messages) réalisée par ordinateur est plus coûteuse que la commutation de circuits. Par conséquent, on n'utilisera le premier type de commutation que pour les messages dont la transmission par commutation de circuits n'est pas possible.

V. DISTRIBUTION (BOUCLE LOCALE)

A. Les boucles locales à large bande de la câblodiffusion pourraient aussi bien acheminer le trafic entre stations.

On a évalué que la capacité d'un câble vidéo de 20 canaux pouvait être accrue de 50% avec une augmentation des frais de 20% seulement. Ces 10 canaux vidéo supplémentaires donneraient une largeur de bande équivalente à 200,000 voies téléphoniques, sans compter l'espacement de fréquence nécessaire à la protection contre le brouillage.

VI. COMPROMIS ENTRE LA TRANSMISSION, LA COMMUTATION ET LA DISTRIBUTION

A. Les frais de transmission diminuant plus rapidement que les frais de commutation, on pourra éviter certaines commutations intermédiaires en installant davantage de voies d'acheminement directes.

B. Des économies d'utilisation à grande échelle en transmission et en commutation mèneront à la construction de centraux de commutation plus importants.

On pense que le coût par ligne d'un central de commutation à 50,000 lignes (réalisation projetée par Bell pour 1975) sera inférieur à la moitié de celui d'un central de 3,000 lignes.

IX. DISTRIBUTION DE LA TÉLÉVISION

La méthode actuelle de distribution de la télévision est la moins coûteuse (émetteurs à grande puissance et pylônes d'antennes élevés). Nous n'entrerons pas dans les détails pour deux raisons. On envisage d'abord peu de changement dans la technologie de la radiodiffusion locale au cours de la prochaine décennie. En second lieu, il ne semble pas possible d'offrir un grand nombre de canaux de télévision (12 ou plus) à la plupart des téléspectateurs par les moyens

ordinaires de radiodiffusion à cause de la structure actuelle des entreprises de ce domaine et du manque de spectre.

A. La câblodiffusion est intéressante pour les régions à forte densité de population où on ne doit pas enfouir les câbles et où il y a peu d'obstacles naturels.

Selon la distance et l'espacement des répéteurs, les systèmes actuels de câblodiffusion peuvent transmettre simultanément de 12 à 25 canaux de télévision. Pour 1980, l'évaluation du coût de la pose de câbles qui desserviront 75% des ménages ayant la télévision (lieux ayant plus de 900 récepteurs de télévision par mille carré, soit au total 50 millions de récepteurs) est comprise entre \$100 et \$200 par ménage, soit un total de 5 à 10 milliards de dollars.

Pour une qualité donnée, les frais de pose des câbles varient en fonction de la distance et de la quantité. Une distance de 16 milles constitue un maximum pour les systèmes actuels, qui couvrent de cette façon une superficie d'environ 200 milles carrés. Vers la fin des années 1970, on peut espérer porter la distance à 25 milles et la superficie desservie à 500 milles carrés pour un coût voisin de celui d'aujourd'hui.

B. Il serait possible d'assurer une distribution primaire économique à canaux multiples à l'aide des techniques des ondes radio millimétriques.

On a mis au point un système utilisant les fréquences de la gamme de 18 GHz, qui transmettra simultanément les 12 canaux du spectre VHF de télévision sur des distances allant jusqu'à 6 milles avec une largeur de bande de 100 MHz.

C. Le satellite de radiodiffusion directe n'est concurrentiel que lorsqu'il s'agit d'atteindre un pourcentage très élevé de ménages ayant la télévision à partir d'un point unique de distribution.

Le Tableau 2 donne les coûts minimaux, calculés d'après la Figure E2, pour un nombre donné de téléspectateurs et de canaux.

TABLEAU 2

Immobilisation pour 5 ans d'un satellite
de radiodiffusion fonctionnant sur 800 MHz

Télespectateurs (en millions)	1 canal (pour l'en- semble des E.-U.)	12 canaux (50% des E.-U.)	24 canaux (50% des E.-U.)
1	\$60	\$225	\$315
10	\$36	\$ 93	\$113
50	\$27	\$ 43	\$ 63

Les coûts par foyer sont élevés aussi longtemps que les frais ne sont pas partagés par un grand nombre de ménages. En outre, si la distribution de toutes les émissions de télévision se fait par satellite, le téléspectateur devra acheter une antenne de réception dont le prix est évalué entre 50 et 300 dollars.

La Figure E2 n'indique que le prix du véhicule de lancement; le prix du satellite lui-même est voisin du prix du véhicule.

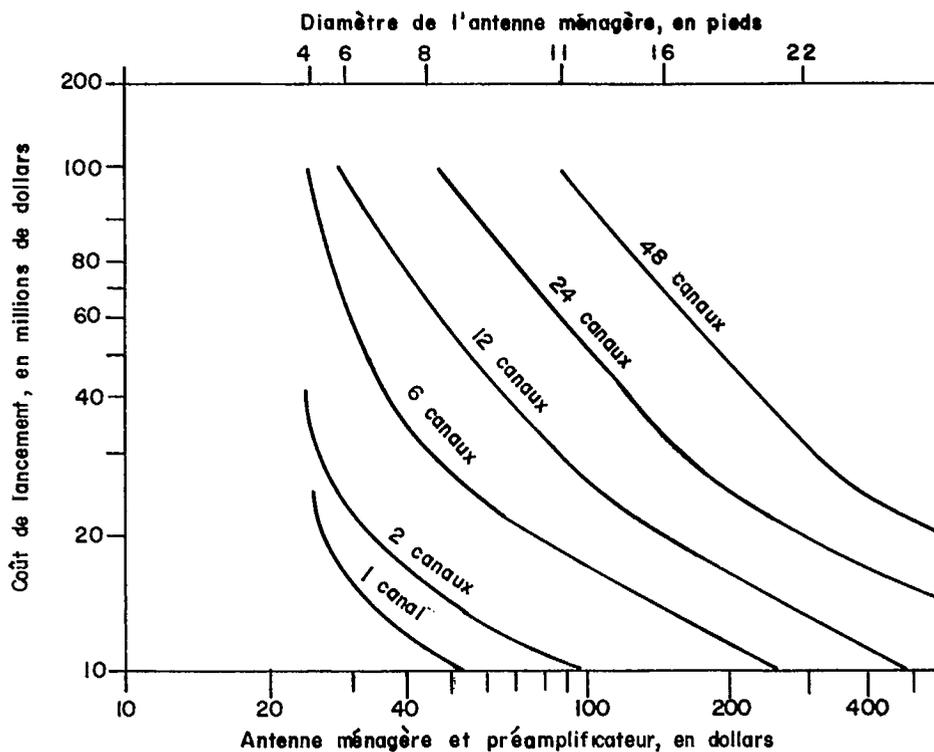


Fig. E2 Prix estimatif de la radiodiffusion directe par satellite.

X. NOUVEAUX SERVICES

A. Les services d'informatique constituent le marché qui se développe le plus rapidement dans le domaine des télécommunications.

1. Les systèmes particuliers (pour un seul usager) assureront probablement le traitement direct des données pour les abonnés qui ont des programmes complexes.

On pense que la production annuelle de postes terminaux reliés en direct, qui était de 25,000 en 1966, s'élèvera à 100,000 en 1970. Vers 1975, on pourra probablement accéder directement à la moitié des ordinateurs mis annuellement en service.

Depuis les années 1950, le prix du traitement par ordinateur et des mémoire a diminué de 50% tous les deux ans.

La programmation est le seul secteur d'utilisation collective dans lequel on n'envisage pas de réduction importante des frais. Par conséquent, le coût de la programmation atteindra vers 1975 80% des frais d'un système typique en partage du temps, tandis qu'ils sont actuellement de 50%.

Dans ce cas, la mise en mémoire de 1,000 caractères, qui dans un système ordinaire à utilisation collective se paie actuellement \$0.50 par mois, ne reviendra plus qu'à \$0.10 d'ici 1980. Le prix d'une minute de temps de traitement (ce qui est à peu près le temps correspondant à une demi-heure d'utilisation en direct) baissera de \$3 à \$0.50 au cours de la même période.

On peut espérer que le prix des consoles de téléimprimeurs, qui est actuellement de \$2,000 à \$7,000, baissera de 20 à 25% d'ici 1980 tandis que le prix du temps d'utilisation d'un poste terminal d'ordinateur sera réduit de moitié (de 10 à 5 dollars l'heure). Les dispositifs terminaux spécialisés, comme les systèmes à tubes cathodiques, se vendront peut-être pour le quart de leur prix actuel (aux environs de \$500).

2. Le coût de l'enseignement programmé (à l'aide d'ordinateurs) diminuera considérablement pendant la prochaine décennie.

On peut par conséquent s'attendre à ce que d'ici 1980 la programmation des travaux pratiques et celle des cours théoriques de l'enseignement programmé représentent respectivement 15 et 33% des frais totaux de l'enseignement programmé. Nos estimations s'élèvent à \$45 par étudiant et par année pour les travaux pratiques, et à \$160 pour les cours théoriques.

3. Les systèmes de recouvrement des données, avec l'appareil téléphonique à clavier servant de terminal d'abonné, constitueront probablement le marché le plus important pour les services d'informatique à l'usage des ménages.

L'appareil téléphonique à clavier, qui peut émettre des signaux de données, ouvrira l'accès du recouvrement des données aux marchés de masse (surtout les petites entreprises et les particuliers qui ne désirent pas ou ne peuvent pas payer un poste terminal spécialisé). Il est probable que d'ici 1975 l'utilisation de ces appareils à clavier comme dispositifs d'accès aux ordinateurs sera très répandue.

Si le téléviseur disposait de 30 à 45 secondes pour composer une image, on pourrait acheminer le signal de télévision sur un circuit de qualité téléphonique.

Il est possible que le prix des téléimprimeurs diminue de 25% d'ici 1980. On pourra peut-être se procurer des postes terminaux à tube cathodique pour \$500, alors qu'ils valent actuellement encore plus de \$1,000.

4. Les opérations bancaires par ordinateur sont actuellement réalisables.

Même aux prix actuels, le coût total d'utilisation d'un ordinateur pour une transaction serait d'environ \$0.50 (en supposant un temps d'utilisation de l'unité de traitement inférieur à 10 secondes). On pourrait louer l'appareil terminal de transmission des données sur carte pour \$5 par mois environ.

- B. On pourrait assurer économiquement des services récréatifs et d'achats à domicile grâce à des systèmes de câbles à large bande.

Ainsi que nous l'avons indiqué au chapitre V, les câbles à large bande peuvent acheminer un grand nombre de canaux vidéo à un coût raisonnable. Par exemple, il est actuellement possible d'installer un câble coaxial souterrain d'une capacité de 27 canaux de télévision à un coût de \$96 par abonné.

Pour des frais d'installation de \$15 à \$25 par ménage et un abonnement mensuel de \$6, un système à 81 canaux pourrait assurer divertissements, émissions éducatives et d'information générale et achats à domicile.

Par exemple, les frais d'immobilisation de systèmes typiques de capacité encore plus grande seraient de \$155 par ménage pour un système à 54 canaux, et de \$215 pour un système à 81 canaux, à condition que le système entier puisse être

installé en une seule fois. Si on devait augmenter la capacité en canaux après la pose du câble, il faudrait défoncer de nouveau les rues. Les frais d'immobilisation seraient alors portés à \$192 par foyer pour un système à 54 canaux, et à \$250 pour un système à 81 canaux.

C. Un réseau commuté à large bande ne peut être moins coûteux qu'un câble à large bande que si le réseau doit acheminer une très grande variété de services.

Pour le service local seulement (émissions propres à chaque ville), les frais d'immobilisation pour les installations de transmission et de commutation s'élèveraient à \$5,000 par ménage. Cela suppose un tarif mensuel d'abonnement d'environ \$135. Comme on ne pense pas que les dépenses moyennes par ménage en installations de télévision (récepteurs compris) dépassent \$184 par an d'ici 1980, les systèmes commutés à large bande ont peu de chances d'offrir des services commerciaux rentables dans un proche avenir.

E. Au cours de la prochaine décennie, le coût du visiophone en limitera l'utilisation à certaines catégories, peu nombreuses, d'entreprises.

Le visiophone est un important service téléphonique nouveau dont on projette l'installation chez l'abonné d'ici la fin des années 1970. D'après les prévisions de la compagnie Bell, 1% seulement de ses abonnés auront le visiophone en 1980.

Un poste terminal de visiophone comprendra un écran carré monochromatique de télévision de 5" de côté, une petite caméra de télévision et des commandes permettant de régler le champ de la caméra, la luminosité, etc. Pour un million d'abonnés, les frais d'installation d'un terminal visiophonique seront d'environ \$1,000 en 1980, alors qu'il n'en coûte actuellement que \$50 pour un poste téléphonique.

Les images de visiophone ayant moins de lignes d'exploration que celles de la télévision, cet appareil utilisera une largeur de bande moins importante (environ 1 MHz). Si les prévisions de la compagnie Bell sont exactes, et que 1% de ses abonnés sont équipés du visiophone d'ici 1980, ce service occupera alors une capacité de circuits deux fois plus grande que l'ensemble des installations téléphoniques actuelles du Bell System. Par suite, les frais de transmission et de distribution imputables à un poste visiophonique seront d'environ 10 fois supérieurs à ceux d'un poste téléphonique. La commutation visiophonique en elle-même ne sera que deux fois plus coûteuse que la commutation téléphonique.

On estime que les frais mensuels de location, couvrant la liaison au central local ainsi que l'appareil lui-même, s'élèveront à \$100. Les frais mensuels moyens d'appels interurbains seront d'environ \$30. Un appel interurbain entre New-York et Washington coûterait, par exemple, environ \$7.

