



JUL 11 1981  
Industrie Canada  
Bibliothèque Queen

1. APPLICATION DES SATELLITES AU  
DOMAINE DE LA RADIO-MOBILE AU CANADA

Rapport final

CENTRE DE RECHERCHES SUR LES COMMUNICATIONS

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

TÉL.: 819-565-4450

TÉLEX 05-836149

P  
91  
C655  
A66  
1981  
v.2

SHERBROOKE, QUÉBEC, CANADA, J1K 2R1

Québec  
P  
91  
C655  
A66  
1981  
v.2

CENTRE DE RECHERCHES SUR LES COMMUNICATIONS

Faculté des sciences appliquées

Université de Sherbrooke

Industry Canada  
Library Queen  
JUL 17 1998  
Industrie Canada  
Bibliothèque Queen

1/ APPLICATION DES SATELLITES AU  
DOMAINE DE LA RADIO-MOBILE AU CANADA /

Rapport final

pour

Ministère des Communications du Canada, Ottawa

Pour la réalisation complète du contrat no. OSU80-00168  
du Ministère des Approvisionnements et Services, réali-  
sé du 1er juillet 1980 au 31 mars 1981.

Sherbrooke, Québec  
27 mars 1981

COMMUNICATIONS CANADA  
JUL 2 1981  
LIBRARY - BIBLIOTHÈQUE

Chercheur principal:

Noël Boutin

Chercheurs associés:

Roger Goulet  
Hui Shen Chi

Sarto Morissette, dir. CRCS.

## SOMMAIRE

Cette étude porte sur l'application des satellites au domaine de la radio-mobile au Canada.

Le premier chapitre traite de la radio-mobile cellulaire terrestre. Dans un premier temps, les caractéristiques communes à tous les systèmes y sont présentées. L'accent est mis sur les conditions de propagations macroscopiques et microscopiques des ondes radio dans la bande des 800-900 MHz. Dans un second temps, nous décrivons les particularités de chaque système cellulaire actuellement en opération, à l'essai ou planifié. Ce chapitre est important en ce sens qu'il permet de saisir le comment et le pourquoi de certaines astuces en apparence douteuses mais nécessaires et enfin, parce qu'il constitue une référence pour le second chapitre lorsqu'il sera question de compatibilité entre système cellulaire terrestre et système cellulaire par satellite.

Le second chapitre traite de l'application des satellites au domaine de la radio-mobile de type cellulaire. On y traite des principaux problèmes prévus dans le développement de systèmes de communications par satellite pour les besoins du service mobile. Une première partie porte sur les questions de trafic; en seconde partie, on discute des méthodes de modulation alors que la troisième partie examine la question de l'accès et du contrôle. En dernier lieu, on résume les principales caractéristiques de quelques systèmes ayant déjà été proposés.

Le troisième chapitre examine la situation du service mobile dans le district de Sherbrooke et extrapole les données actuelles pour évaluer le marché potentiel que pourrait représenter ce district pour un système

par satellite vers l'an 2000. Une seconde partie porte sur l'identification des principaux secteurs qui pourraient bénéficier d'un tel système et de ses effets les plus immédiats sur chacun de ces secteurs.

Le dernier chapitre consiste en une bibliographie d'articles, de rapports ou de livres traitant de la radio-mobile en général ou particularisée aux systèmes cellulaires terrestres ou par satellite. Cette bibliographie est divisée en deux index, l'un d'auteurs, l'autre de sujets. Une mise à jour périodique s'effectue au fur et à mesure que de nouveaux documents nous arrivent. Cette bibliographie périmé donc celle datée antérieurement.

## TABLE DES MATIERES

|  |     |
|--|-----|
| SOMMAIRE -----   | ii  |
| TABLE DES MATIERES -----                                   | iv  |
| 1. RADIO-MOBILE CELLULAIRE TERRESTRE -----                 | 1   |
| 1. Caractéristiques communes à tous les systèmes -----     | 1   |
| 1.1 Vue d'ensemble d'un système cellulaire terrestre ----- | 1   |
| 1.2 Propagation macroscopique des ondes radio -----        | 3   |
| 1.3 Propagation microscopique des ondes radio -----        | 11  |
| 1.4 Qualité du signal à la sortie du démodulateur -----    | 26  |
| 2. Particularités de chaque système -----                  | 34  |
| 2.1 Le système AMPS -----                                  | 34  |
| 2.2 Le système DYNA TAC -----                              | 61  |
| 2.3 Le système MILLICOM -----                              | 68  |
| 2.4 Le système LMTS -----                                  | 68  |
| 3. Proposition de standardisation -----                    | 81  |
| 2. COMMUNICATIONS MOBILES PAR SATELLITE -----              | 82  |
| Introduction -----   | 82  |
| 1. Analyse du trafic -----                                 | 84  |
| 2. Méthodes de modulation -----                            | 92  |
| 2.1 Le FM appliqué à de la voix -----                      | 93  |
| 2.2 Encodage numérique de la voix -----                    | 94  |
| 2.3 Comparaison du FM et du CVSD -----                     | 97  |
| 2.4 Modulation de la porteuse -----                        | 100 |
| 3. Accès multiple et contrôle -----                        | 105 |
| 3.1 Accès multiple -----                                   | 106 |
| 3.1.1 Accès FDMA -----                                     | 106 |
| 3.1.2 Accès TDMA -----                                     | 107 |
| 3.1.3 Accès CDMA -----                                     | 108 |
| 3.2 Systèmes de contrôle -----                             | 109 |
| 4. Caractéristiques typiques -----                         | 110 |
| 4.1 Proposition G.E.: système analogique -----             | 111 |
| 4.2 Proposition de Ford Aerospace: système digital -----   | 115 |
| 4.3 Proposition de TRW: système mixte -----                | 120 |
| 5. Conclusion -----  | 124 |

|   |     |
|---|-----|
| 3. DISTRICT DE SHERBROOKE ET MARCHES POTENTIELS CANADIENS -----                                   | 126 |
| Introduction -----  | 126 |
| 1. Le service mobile dans la région de Sherbrooke -----   | 126 |
| 1.1 Service mobile actuel et prévisible -----   | 128 |
| 1.2 Marché potentiel pour un système mobile par satellite<br>dans le district de Sherbrooke ----- | 131 |
| 1.2.1 Marché potentiel du secteur commercial privé -----  | 131 |
| 1.2.2 Marché potentiel du secteur gouvernemental -----  | 132 |
| 1.2.3 Marché potentiel du secteur municipal -----   | 132 |
| 1.2.4 Marché potentiel des secteur aéronautique<br>et maritime -----                              | 133 |
| 1.2.5 Sommaire -----  | 133 |
| 2. Domaines d'application d'un système mobile par satellite -----                                 | 134 |
| 2.1 Affaires et communications personnelles -----   | 134 |
| 2.2 Police -----  | 135 |
| 2.3 Communications en cas de désastre -----   | 137 |
| 2.4 Services médicaux d'urgence -----   | 137 |
| 2.5 Transports -----  | 138 |
| 2.6 Pêcheries -----   | 138 |
| 2.7 Environnement -----   | 138 |
| 2.8 Ressources naturelles -----   | 139 |
| 2.9 Performances requises -----   | 139 |
| 3. Conclusion -----   | 140 |
| 4. BIBLIOGRAPHIE -----  | 141 |
| - Index auteurs -----   | 142 |
| - Index sujets -----  | 202 |
| APPENDICE I - LE RESEAU CELLULAIRE -----  | 222 |

## CHAPITRE 1

### RADIO-MOBILE CELLULAIRE TERRESTRE

#### 1. CARACTERISTIQUES COMMUNES A TOUS LES SYSTEMES

Ce chapitre porte exclusivement sur les caractéristiques communes à tous les systèmes cellulaires terrestres de télécommunication type radio-téléphone pour usagers mobiles.

##### 1.1 VUE D'ENSEMBLE D'UN SYSTEME CELLULAIRE TERRESTRE

Comme tous les systèmes cellulaires terrestres, tant ceux des américains que ceux des japonais, reposent sur un principe de fonctionnement similaire, nous présenterons dans ce chapitre une vue d'ensemble d'un système cellulaire en employant la terminologie américaine.

La figure 1 représente les éléments de base constituant un système de communication de type cellulaire.

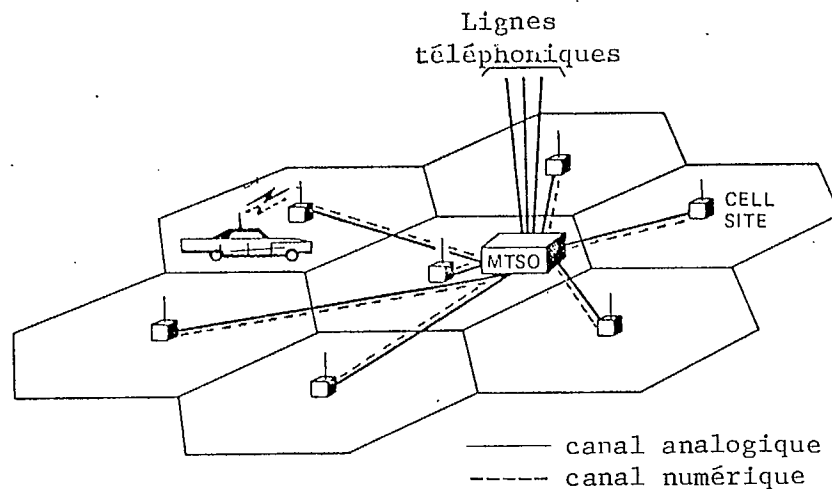


Fig. 1- Eléments de base d'un système de communication cellulaire.

Pour des raisons économiques et de facilités de planification, la surface géographique totale à desservir dénotée MSA (Mobile Service Area) est subdivisée, conceptuellement, en plusieurs cellules de forme hexagonale (voir appendice 1 pour plus de détails sur les particularités d'une cellule de forme hexagonale).

Chaque cellule est desservie par un "poste de cellule" (cell site). Un certain nombre de canaux bidirectionnels analogiques et numériques sont attribués à chaque poste de cellule et c'est par l'un d'eux qu'un abonné mobile peut établir une liaison hertzienne bidirectionnelle. Comme la puissance d'émission des transmetteurs des postes de cellule de même que celle des mobiles sont relativement faibles, il est possible de réutiliser simultanément plusieurs fois les canaux de même fréquence pour des cellules non adjacentes.

Chaque poste de cellule est relié par câbles à une installation centrale de commutation dénotée MTSO (Mobile Telecommunication Switching Office) par autant de voies analogiques et numériques qu'elle utilise pour desservir les mobiles de sa cellule. Le MTSO est lui-même relié au réseau téléphonique conventionnel par plusieurs lignes téléphoniques. La gérance totale du système s'effectue donc par le MTSO. C'est elle qui supervise tous les appels destinés vers ou en provenance des usagers mobiles. En se basant sur les informations que lui font parvenir chaque poste de cellule, c'est encore elle qui décide, en court de liaison, s'il serait préférable de commuter un mobile sur un autre poste de cellule pour permettre de maintenir la qualité du service durant toute la durée d'une conversation alors que le mobile se déplace de cellule en cellule.

Les demandes d'accès au réseau par les usagers mobiles de même que la recherche d'un mobile vers qui une demande d'appel est logée



s'effectuent par transmission numérique sur des canaux spécialement dédiés à cette fin. Les conversations s'engagent par contre sur voies analogiques.

L'émetteur-récepteur de chaque usager mobile contient un microprocesseur qui interprète toutes les informations numériques qui lui arrivent. C'est lui qui sélectionne les bons canaux au bon moment sans que l'utilisateur ne s'en rende compte. L'utilisateur a donc l'impression d'utiliser le téléphone tel qu'il le fait lorsqu'il est à la maison.

## 1.2 PROPAGATION MACROSCOPIQUE DES ONDES RADIO

### 1.2.1 Propagation dans l'atmosphère

La puissance reçue par une antenne séparée d'une certaine distance d'une antenne irradiant une puissance donnée, est inversement proportionnelle au carré de la distance séparant les deux antennes.

$$P_o = P_t \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 g_b g_m \quad (1)$$

avec  $P_o$  = puissance reçue,

$P_t$  = puissance transmise,

$\lambda$  = longueur d'onde du signal émis,

$g_b$  = gain de puissance de l'antenne irradiante,

$g_m$  = gain de puissance de l'antenne réceptrice.

Cette relation est exacte en autant qu'il n'existe aucun objet ou surface absorbant ou réfléchissant l'énergie irradiée.

A fréquence fixe, la puissance reçue décroît donc de 6 dB/octave de distance (20 dB/décade).

### 1.2.2 Propagation sur terrain plat à découvert (Rural)

La situation est telle que représentée à la figure 2.

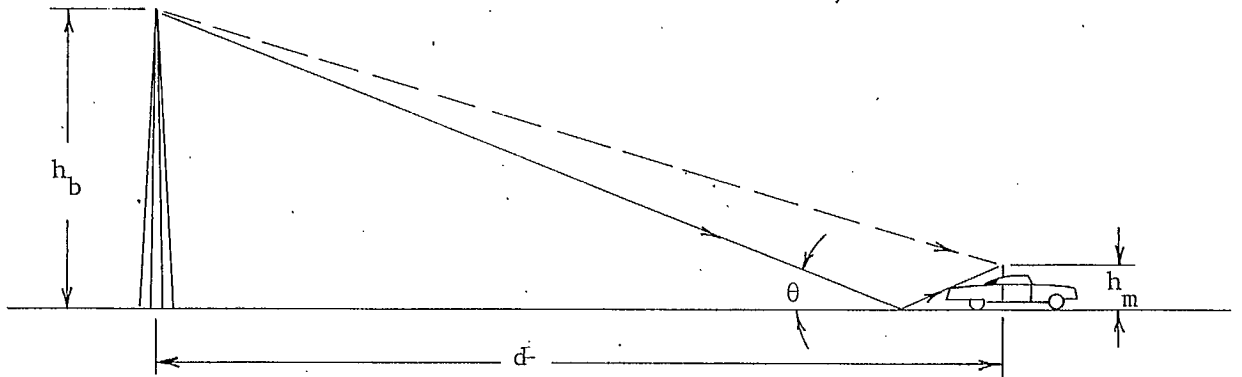


Fig. 2- Propagation en terrain plat à découvert.

Dans ce cas, la puissance reçue est donnée par:

$$P_r = 4P_o \sin^2 \left( \frac{2\pi h_b h_m}{\lambda d} \right) \quad (2)$$

où  $P_o$  = puissance reçue dans l'atmosphère donnée par la relation (1),

$h_b$  hauteur effective de l'antenne irradiante,

$h_m$  hauteur effective de l'antenne réceptrice.

Comme  $h_m \ll h_b$ ,  $\theta$  est très petit (sauf quand le mobile est très près de l'antenne irradiante) et la relation (2) peut être approximée comme suit:

$$P_r \approx P_t g_b g_m \left( \frac{h_b h_m}{d^2} \right)^2 \quad (3)$$

La puissance reçue décroît donc de façon inversement proportionnelle à la racine quatrième de la distance soit de 12 dB/octave de distance (40 dB/décade).

### 1.2.3 Propagation sur terrain plat de banlieue (Résidentiel)

Des mesures effectuées en Angleterre [A14], au Japon [06], et aux Etats-Unis [R11], il ressort qu'encore ici, l'atténuation en fonction de la distance est de l'ordre de 12 dB/octave.

Toutefois, pour une séparation transmetteur-récepteur donnée, il y a environ 10 dB d'atténuation de plus en banlieue qu'en terrain découvert.

### 1.2.4 Propagation sur terrain plat urbain

Des mesures effectuées à New-York [C22], à Philadelphie [B13,05], à Tokyo [06], à Birmingham [A14] ainsi qu'à Copenhague [M26], il ressort que l'intensité du signal reçue est inversement proportionnelle à une puissance  $n$  comprise entre 3 et 4 (majoritairement plus près de quatre) de la distance séparant les deux antennes.

Toutefois, pour une séparation transmetteur-récepteur donnée, il y a environ 10 dB d'atténuation de plus qu'en banlieue, donc, 20 dB d'atténuation de plus environ qu'en terrain découvert.

### 1.2.5 Propagation sur terrain en pente

Deux types de situations peuvent se présenter. L'antenne du mobile peut se trouver sur une pente plus haute que l'antenne de la station fixe (Type A) ou être sur terrain plat plus bas (Type B). Ces deux situations sont illustrées à la figure 3.

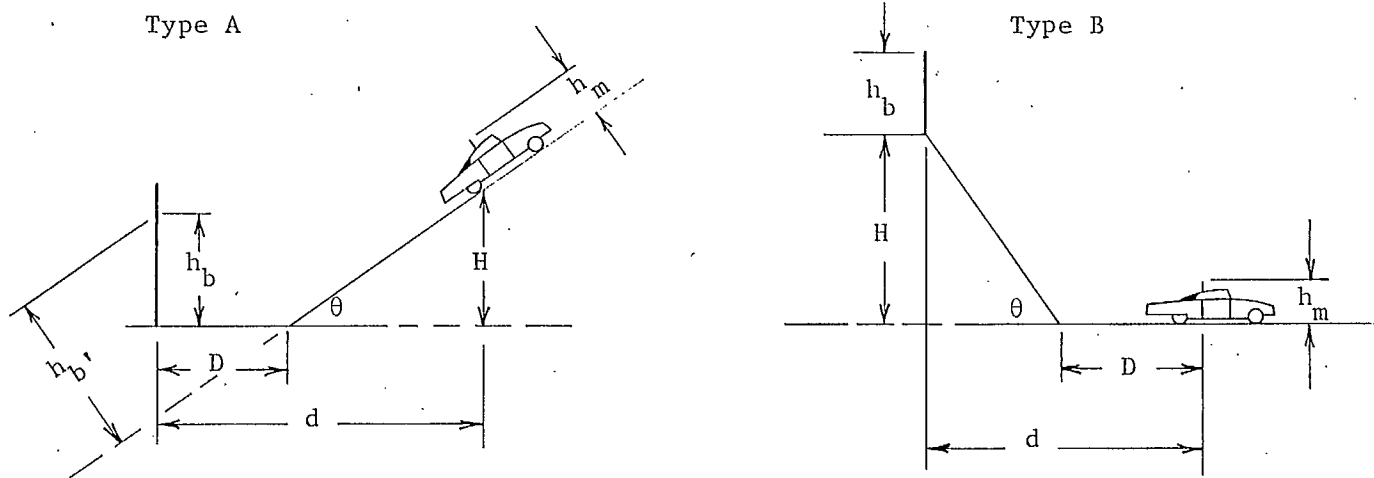


Fig. 3- Deux types de terrain en pente.

Lee [L6] a démontré qu'il était possible d'utiliser une formule similaire à (3), soit:

$$P_r \approx \alpha_o P_t g_b g_m \left( \frac{h_b' h_r}{d^2} \right)^2 \quad (4)$$

où  $\alpha_o$  tient compte du fait que nous sommes soit en milieu rural, résidentiel ou urbain,

$h_b'$  est la hauteur effective de l'antenne de la station fixe par rapport au plan où se situe le mobile.

$$\text{Pour } \theta \ll, \quad h_b' \approx h_b + \frac{DH}{d-H} \quad (\text{Type A})$$

$$\approx h_b + H \quad (\text{Type B})$$

### 1.2.6 Propagation sur terrain vallonneux [R11,A14]

L'intensité du signal reçu dépend, dans ce cas, de l'endroit où se situe le mobile et du degré de vallonnage. La figure 4 donne une idée

de l'atténuation supplémentaire encourue par rapport à un terrain plat en milieu urbain.

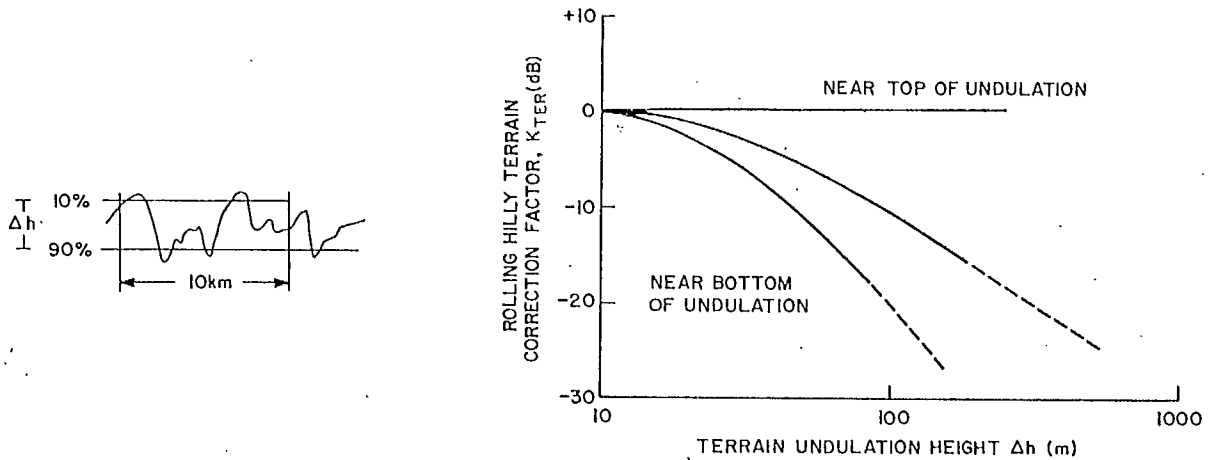


Fig. 4- Atténuation additionnelle sur terrain vallonneux.

### 1.2.7 Propagation sur terrains espacés d'étendue d'eau [R11]

Lorsqu'il y a une étendue d'eau entre les deux antennes, l'intensité du signal reçu est supérieure à celle obtenue lorsqu'il n'y a que du sol entre les deux. De plus, à étendue d'eau égale, l'intensité du signal est plus grande lorsque l'eau est près de l'antenne la moins haute. La figure 5 illustre ce fait.

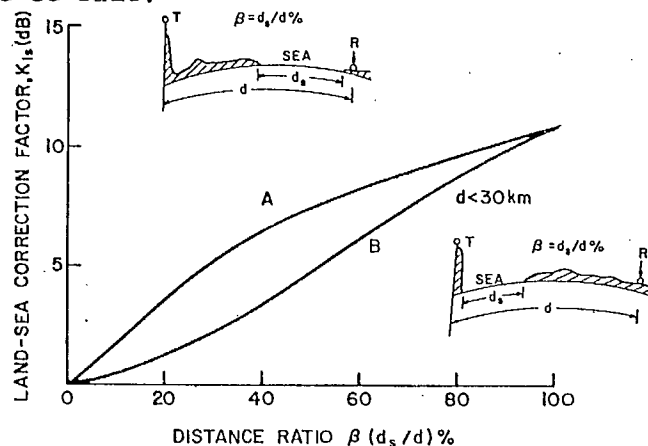


Fig. 5- Gain additionnel dû à la présence d'étendue d'eau.

### 1.2.8 Propagation sur terrain semi-boisé

Des mesures prises dans un quartier résidentiel de Holmdel [R10] durant l'hiver alors que les arbres n'ont plus de feuilles et durant l'été alors que les feuilles ont atteintes leur pleine croissance, indiquent une atténuation additionnelle du signal moyen reçu d'environ 10 dB typique à 836 MHz, dans le second cas.

### 1.2.9 Formulation mathématique des pertes

Masaharu Hata [H14] a récemment formulé des expressions mathématiques empiriques des pertes de propagation en se servant des courbes expérimentales tracées par Okumura [06]. Ces expressions se rapportent à des antennes isotropiques sur terrain ne présentant pas de grosses irrégularités. Le tableau suivant liste les formules ainsi déduites.

|  |   |
|--|---|
| Territoire urbain  | $L_p \text{ (dB)} = 69.55 + 26.16 \text{ Log}_{10} f_c - 13.82 \text{ Log}_{10} h_b$ $- a(h_m) + (44.9 - 6.55 \text{ Log}_{10} h_b) \text{ Log}_{10} R$ <p><u>Petite ou moyenne cité:</u></p> $a(h_m) = (1.1 \text{ Log}_{10} f_c - 0.7) h_m - (1.56 \text{ Log}_{10} f_c - 0.8)$ <p><u>Grande cité:</u></p> $a(h_m) = 8.29 (\text{Log}_{10} 1.54 h_m)^2 - 1.10 \quad \text{si } f_c \leq 200 \text{ MHz}$ $= 3.2 (\text{Log}_{10} 11.75 h_m)^2 - 4.97 \quad \text{si } f_c \geq 400 \text{ MHz}$ |
| Banlieue   | $L_{P_s} = L_p \{\text{urbain}\} - 2 \{\text{Log}_{10} (f_c / 28)\}^2 - 5.4$  |
| Prairie  | $L_{P_o} = L_p \{\text{urbain}\} - 4.78 (\text{Log}_{10} f_c)^2 - 18.33 \text{ Log}_{10} f_c + 40.94$   |
| <p>où <math>f_c</math> = fréquence en MHz,</p> <p><math>h_b</math> = hauteur effective de l'antenne fixe en mètre<br/> <math>30\text{m} &lt; h_b &lt; 200\text{m}</math>,</p> <p><math>h_m</math> = hauteur effective de l'antenne mobile en mètre<br/> <math>1\text{m} &lt; h_m &lt; 10\text{m}</math>,</p> <p><math>R</math> = distance de séparation en Km<br/> <math>1\text{Km} &lt; R &lt; 20\text{Km}</math></p> |   |

Tableau 1- Formules empiriques des pertes de propagation.

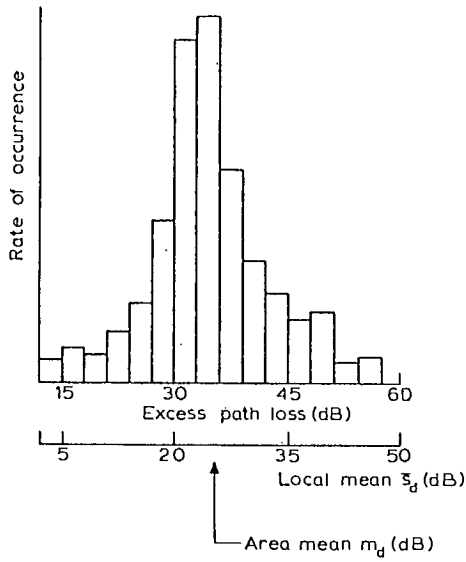
### 1.2.10 Distribution de la valeur moyenne du signal

Les valeurs de puissance reçue à l'antenne déduites dans les sous-sections précédentes sont basées principalement sur les résultats obtenus d'expériences. Elles représentent en fait des valeurs moyennes locales  $\bar{S}$ .

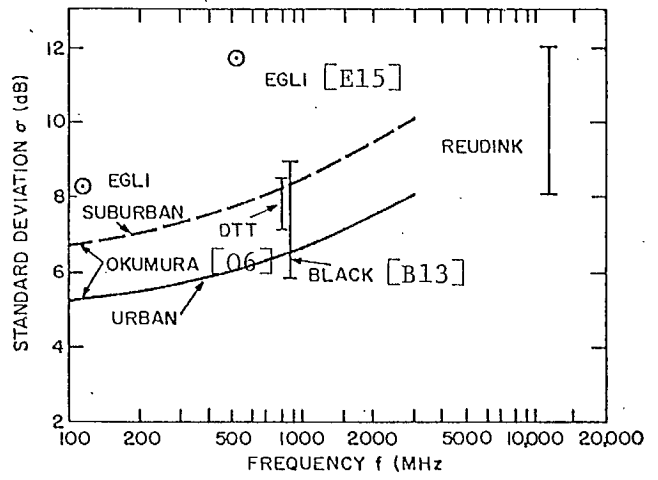
Sous des conditions de mesures identiques, il a été observé, de façon très consistante et par plusieurs chercheurs, que la distribution de cette valeur moyenne locale était de type Log-normal en deça d'un arc d'environ 500 mètres quasi équidistant du transmetteur. Par Log-normal, nous entendons que la valeur moyenne locale, exprimée en dB, et dénotée  $\bar{S}_d$ , est normalement distribuée autour de la valeur moyenne de la surface sous la courbe dénotée  $m_d$ ; cette valeur est, par définition, la valeur moyenne de  $\bar{S}_d$ , dénommée valeur médiane  $\hat{S}_d$ , c'est-à-dire valeur excédée 50% du temps. La figure 6a illustre, à titre d'exemple, un résultat type de mesure.

Dépendant de l'environnement, l'écart-type  $\sigma$  est voisine de 6 dB en milieu urbain et d'environ 8 dB en banlieue, comme l'indique la figure 6b, pour des fréquences de l'ordre de 900 MHz. Certains chercheurs [A13] en arrivent toutefois à la conclusion inverse, soit à une plus grande dispersion en milieu urbain.

Une façon simple de déterminer si le résultat de mesures relevées lors d'un test suit une distribution de type Log-normal consiste à en tracer la distribution cumulative sur du papier graphique à échelle de Gauss. Si la distribution est de type Log-normal, la courbe ainsi tracée est une droite. De plus, la valeur médiane  $\hat{S}_d$  et la variance  $\sigma^2$  se trouvent très facilement. La figure 7 illustre un tel graphique.



(a)



(b)

Fig. 6- (a) Histogramme typique du niveau de signal moyen.  
 (b) Ecart-type  $\sigma$  du niveau de signal moyen mesurée par divers chercheurs.

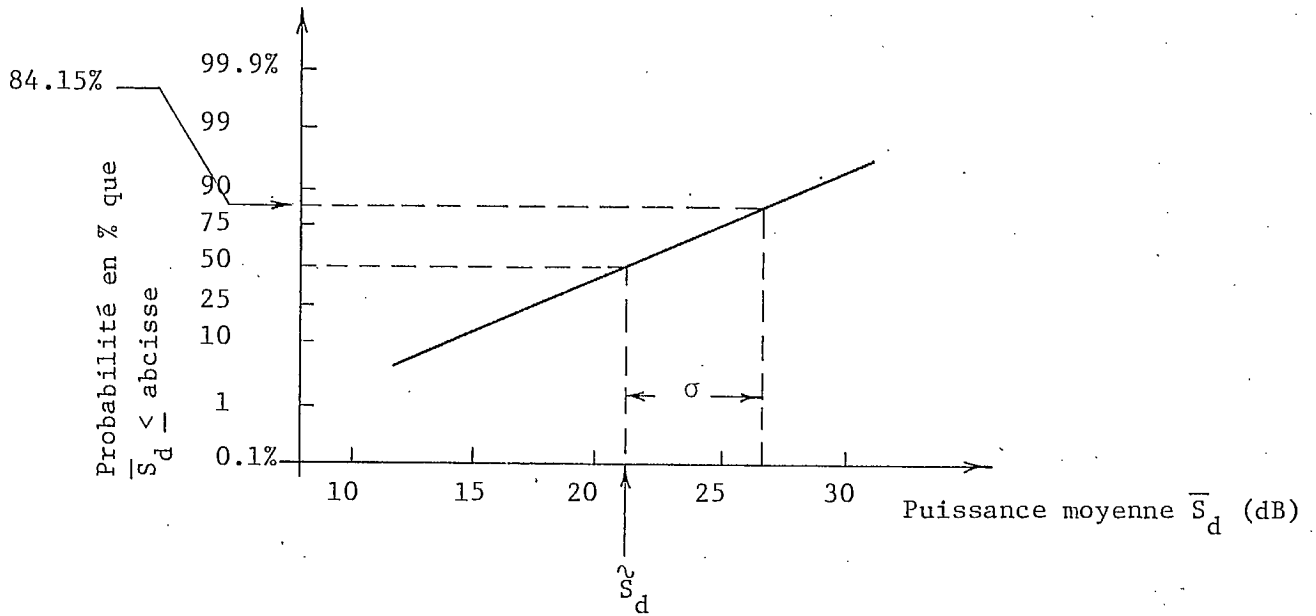


Fig. 7- Exemple d'utilisation du papier graphique de Gauss.



L'expression mathématique de la densité de probabilité  $P(\bar{S}_d)$  de la puissance moyenne  $\bar{S}_d$  est donnée par:

$$P(\bar{S}_d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{(\bar{S}_d - \bar{S}_d)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (5)$$

où  $\sigma$  est la déviation standard en dB.

### 1.3 PROPAGATION MICROSCOPIQUE DES ONDES RADIO

Jusqu'à maintenant, nous nous sommes intéressés uniquement à la valeur moyenne de la puissance reçue, moyenne prise sur des distances assez grandes. Dans les sections qui vont suivre, nous nous pencherons plus particulièrement sur les caractéristiques quasi instantanées du signal reçu observé sur de courtes distances de déplacement du mobile.

#### 1.3.1 Affaiblissement de type Rayleigh

La figure 8 illustre de quelle façon fluctue l'enveloppe d'un signal de 850 MHz reçu par une antenne mobile se déplaçant à une vitesse de 12 MPH.

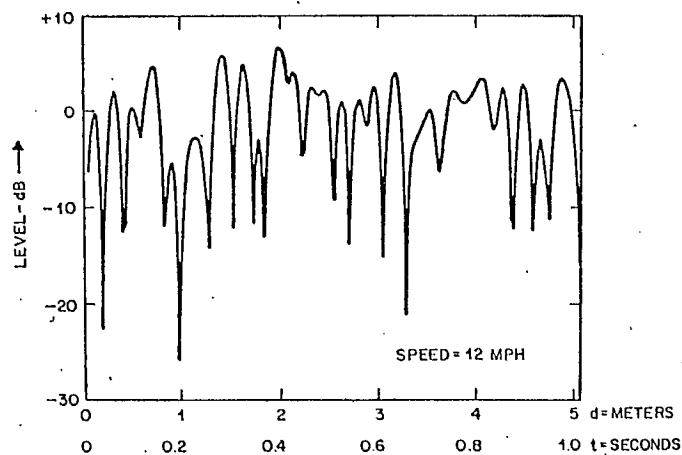


Fig. 8- Exemple d'enveloppe reçue.

Les affaiblissements sont espacés d'une distance à peu près égale à la demi-longueur d'onde de la porteuse. L'affaiblissement du signal en dB est référencé par rapport à la valeur moyenne locale de la puissance reçue.

Les statistiques de ces affaiblissements de signal sont telles que 10% du temps, le signal est 10 dB plus bas que la valeur locale moyenne, 1% du temps, 20 dB en-dessous et ainsi de suite tel qu'illustré à la figure 9. Par contre, la probabilité que le signal soit supérieur à la valeur locale moyenne est faible.

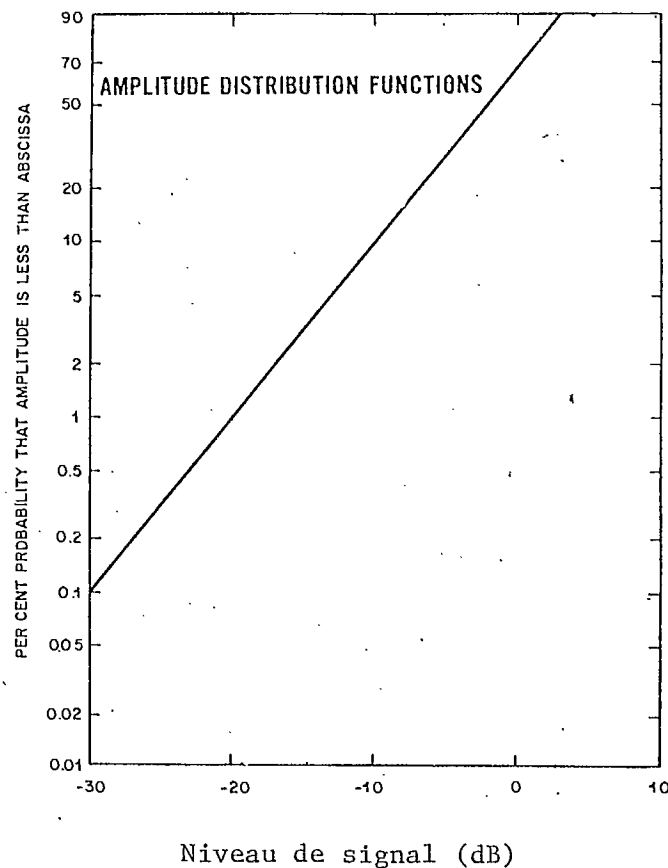


Fig. 9- Fonction de distribution cumulative de l'amplitude du signal par rapport à la valeur moyenne locale.

Une telle distribution porte le nom de Rayleigh. Le modèle mathématique résultant est celui correspondant au cas où le signal reçu par l'antenne mobile est constitué d'un nombre infini d'ondes voyageant à l'horizontale. La figure 10 illustre une de ces ondes arrivant à l'antenne.

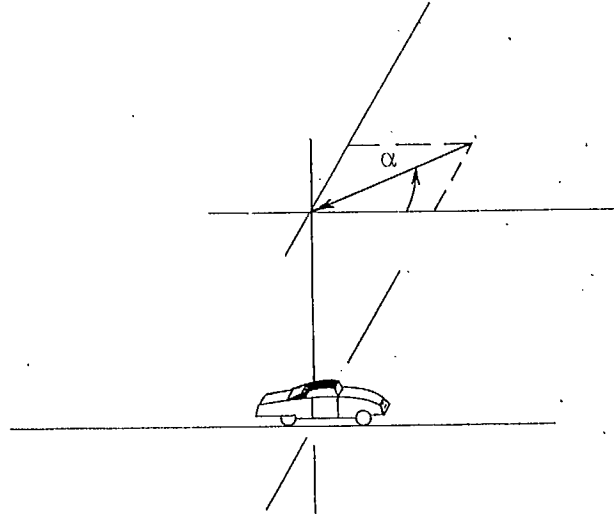


Fig. 10- Onde typique incidente sur une antenne mobile.

Lee et Brandt [L7] ont effectué une série de mesures démontrant qu'en terrain à découvert, pour des séparations d'environ 1.5 à 3 milles, les ondes reçues sont pratiquement à l'horizontale alors qu'en milieu résidentiel et urbain (édifice de 2 à 3 étages), les ondes sont confinées dans une ouverture d'environ  $16^\circ$  par rapport à l'horizontale. En première approximation, le modèle mathématique de Rayleigh peut donc être appliqué avec une assez bonne fiabilité sur les résultats obtenus.

Une façon simple de déterminer si le résultat de mesures prises lors d'un test suit une distribution de type Rayleigh, consiste à tracer la distribution cumulative sur du papier graphique à échelle de Weibull. Si la distribution est de type Rayleigh, la courbe ainsi tracée est une droite. De plus, la valeur médiane  $\tilde{x}$  du signal est d'environ 10 dB inférieure à la valeur du signal maximum (@ 99.9%). Le niveau moyen de signal  $\bar{x}$ , pour sa part, se situe à 1.59 dB au-dessus de la valeur médiane. La figure 11 illustre la simplicité d'utilisation d'un tel papier graphique.

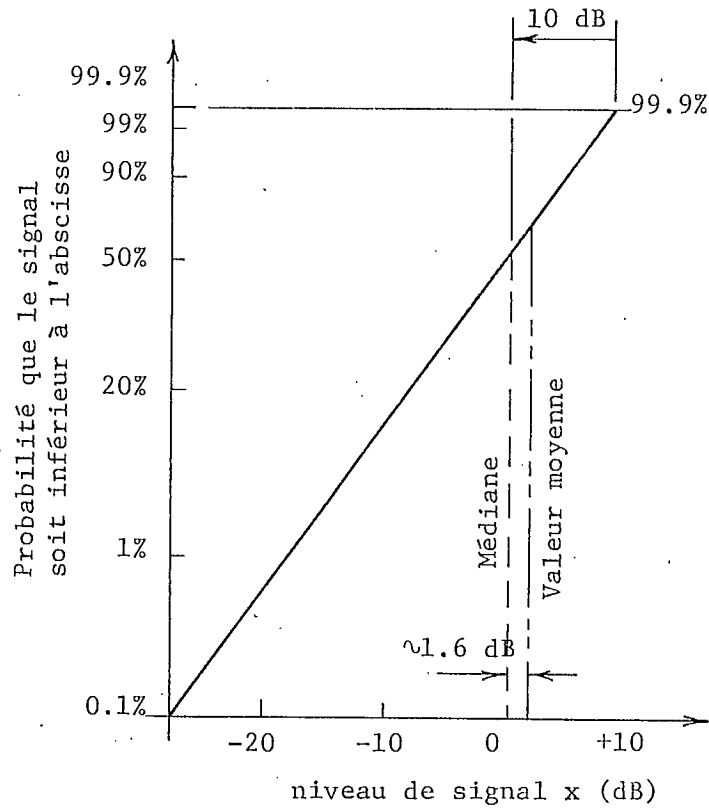


Fig.11- Exemple d'utilisation du papier graphique à échelle de Weibull.

L'expression mathématique de la densité de probabilité  $P(x)$  est donnée par :

$$P(x) = \begin{cases} \frac{x}{\alpha^2} \exp[-x^2/2\alpha^2] & 0 \leq x \leq \infty \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (6)$$

La valeur maximale de  $P(x)$  est  $1/(\alpha\sqrt{e})$  et elle est atteinte pour  $x = \alpha$ . La valeur moyenne de  $\bar{x}$  est donnée par :

$$E\{x\} = \int_0^{\infty} x P(x) dx = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \alpha \quad (7)$$

alors que la valeur RMS au carré est donnée par

$$E\{x^2\} = \int_0^{\infty} x^2 P(x) dx = 2\alpha^2 \quad (8)$$

Enfin, la variance est égale à  $(2 - \frac{\pi}{2}) \alpha^2$ .

Comme nous pouvons le constater, c'est la valeur de  $\alpha$  qui caractérise complètement cette fonction. Il est possible d'obtenir un estimé  $\hat{\alpha}$  de la valeur de  $\alpha$  partant d'un relevé de  $n$  échantillons indépendants. Cet estimé est donné par:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sum_{k=1}^n x_k \quad (9)$$

Ott et Plitkins [05] ont démontré que la variance de cet estimé  $\hat{\alpha}$  par rapport à sa valeur véritable  $\alpha$  était donnée par:

$$\sigma^2 = \frac{4-\pi}{\pi n} \alpha^2 \quad (10)$$

Utilisant ce résultat, il est possible de calculer un intervalle de confiance sur le résultat des mesures.

Pour être en mesure d'évaluer les performances du système, il est important également de connaître le taux d'affaiblissement du signal en dessous d'un certain seuil de même que la durée de ces affaiblissements. Comme ces affaiblissements sont causés par le déplacement de l'antenne, ces deux paramètres sont fonctions de la vitesse de déplacement du mobile ainsi que l'indique les figures 12 et 13 extraites de la référence [A1].

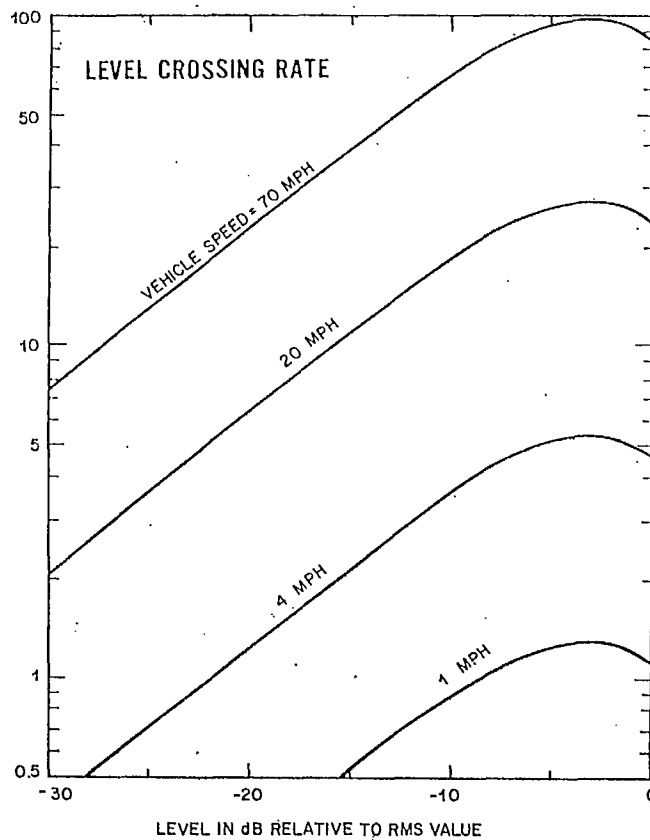


Fig. 12- Taux d'affaiblissement du signal de 850 MHz en-dessous d'un certain seuil.

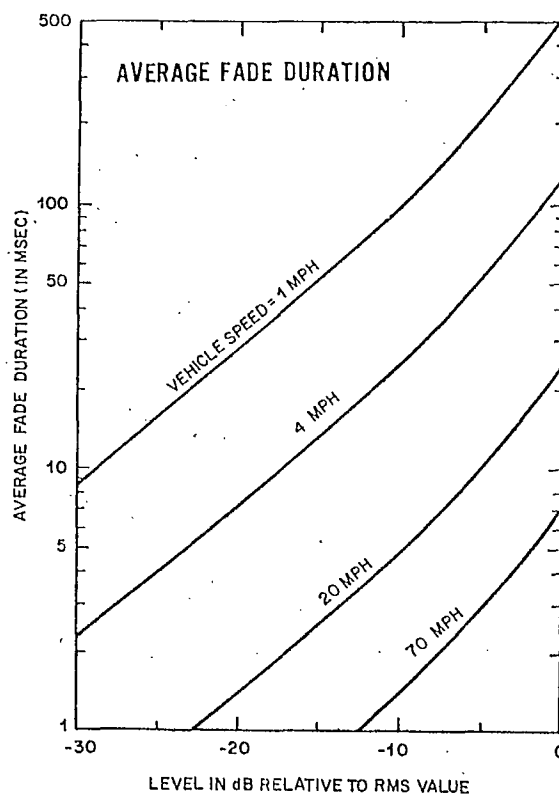


Fig. 13- Durée moyenne des affaiblissements en-dessous d'un certain seuil.

### 1.3.2 Affaiblissement de type quasi Rayleigh

Formellement, pour que les statistiques du signal reçu suivent une distribution de type Rayleigh, il faudrait, comme nous l'avons souligné dans la section précédente, que le signal reçu à l'antenne soit formé d'un nombre infini d'ondes voyageant à l'horizontale, d'amplitudes aléatoires et d'angles d'arrivée uniformément répartis entre 0 et  $2\pi$ . En pratique, il n'existe qu'un nombre fini d'ondes arrivant à l'antenne. Il devient donc intéressant de savoir combien il en faut pour que le modèle mathématique de Rayleigh puisse être utilisé en toute confiance.

Supposant que le signal reçu est formé de la somme de  $n$  phaseurs d'amplitude  $A_j$  et de phases  $\theta_j$  aléatoires. La fonction de distribution de l'amplitude du signal reçu,  $r$ , normalisée par rapport à sa valeur RMS au carré  $R_{\text{RMS}}^2$  est donnée par [M26]:

$$P(r) = 2r \exp[-r^2] \left\{ 1 + \frac{3}{8n} \left[ \frac{\langle A^4 \rangle}{\langle A^2 \rangle^2} - 2 \right] \left[ \frac{1}{4} r^4 - 2r^2 + 1 \right] \right\} \quad (11)$$

où  $n$  = nombre de termes,

$$R_{\text{RMS}}^2 = n \langle A_j^2 \rangle,$$

$\langle A \rangle$  = moyenne de tous les  $A$ .

Comparant (11) à (6), il ressort que la distribution de Rayleigh est une bonne approximation du cas réel dans la mesure où le second membre à l'intérieur des accolades est beaucoup plus petit que l'unité.

Si  $r \ll 1$ , il faut donc que

$$n \gg \frac{3}{8} \left[ \frac{\langle A^4 \rangle}{\langle A^2 \rangle^2} - 2 \right] \quad (12)$$

Si nous assumons que la distribution de l'amplitude des phaseurs est de type Log-normale,

$$\frac{\langle A^4 \rangle}{\langle A \rangle^2} = \exp[4\sigma^2] \quad (13)$$

Reportant (13) dans (12), il devient donc possible de déterminer la valeur de  $n$  minimale requise. La figure 14 illustre ce  $n$  de façon graphique.

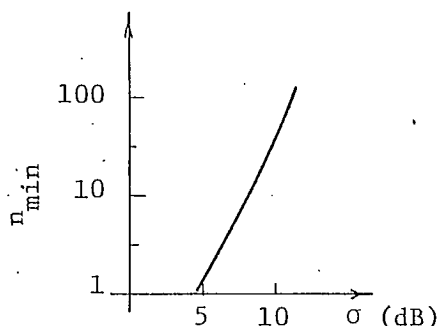


Fig. 14-- Nombre minimum de termes requis en fonction de  $\sigma$ .

La distribution de type Rayleigh donnera donc souvent une bonne approximation de la réalité pour de faibles signaux ( $r \ll 1$ ) et pour des déviations standards assez faibles de la distribution Log-normale. Les statistiques d'un signal formé d'un nombre limité de phaseurs d'amplitudes aléatoires vont dévier davantage de la distribution de Rayleigh pour des niveaux de signal au-dessus de la valeur médiane qu'en-dessous.

Si le signal reçu provient d'un certain nombre de phaseurs d'amplitudes égales et de phases aléatoires, l'affaiblissement est de type "arcsinus" [M26]. Dans ce cas, la valeur moyenne du signal résultant est égale à la valeur médiane par opposition au cas purement Rayleigh où il existe une différence de 1.6 dB environ. De même, la différence entre la valeur maximale du signal reçu et la valeur médiane n'est plus de 10 dB environ mais dépend de  $n$  de la façon suivante:



$$X_o = \frac{n}{2} \cdot a^2 \quad (14)$$

$$X_{Max} = \frac{n^2}{2} \cdot a^2 \quad (15)$$

$$(X_{Max} - X_o)_{dB} = 10 \text{ Log } n \quad (16)$$

où  $n$  = nombre de phaseurs,

$a$  = amplitude des phaseurs,

$1/2 a^2$  = puissance moyenne par phaseur,

$X_o$  = puissance moyenne du signal résultant,

$X_{Max}$  = puissance maximale du signal résultant.

Le tableau suivant donne une idée de la différence ainsi obtenue pour diverses valeurs de  $n$ .

| $n$ | $(X_{Max} - X_o)_{dB}$ |
|-----|------------------------|
| 2   | 3.01 dB                |
| 3   | 4.77 dB                |
| 4   | 6.02 dB                |
| 5   | 6.99 dB                |
| 6   | 7.78 dB                |
| 7   | 8.45 dB                |
| 8   | 9.03 dB                |
| 9   | 9.54 dB                |
| 10  | 10 dB                  |

Tableau 2- Variation de  $(X_{Max} - X_o)_{dB}$  en fonction de  $n$ .

Dans les terrains boisés et en milieu urbain, une différence de 10 dB est très souvent notée alors qu'en terrain plus à découvert, une différence plus faible est notée soit de l'ordre de 5 à 6 dB. Ceci indiquerait donc, dans ce dernier cas, qu'un modèle à 3 ou 4 phaseurs conviendrait mieux qu'un modèle de type purement Rayleigh.

### 1.3.3 Affaiblissement de type Rayleigh combiné à la distribution Log-normale

Si le résultat de mesures effectuées lors d'une expérience conduit à une distribution cumulative ne correspondant pas parfaitement à une droite sur du papier graphique, à l'échelle de Weibull, il ne faut pas en conclure immédiatement que la distribution n'est pas de type Rayleigh. Ceci peut provenir du fait que la distance d'essai était suffisamment longue pour qu'on ne puisse plus considérer la valeur moyenne "locale" du signal comme étant constante mais plutôt distribuée de façon Log-normale tel que discuté à la section 1.2.10 [H17].

French [F12, F13] a trouvé que la densité de probabilité résultant de l'effet combiné de l'affaiblissement de type Rayleigh et d'une variation de type Log-normale de la valeur moyenne locale, était donnée par la relation suivante:

$$P(S) = \sqrt{\frac{\pi}{8\sigma^2}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S}{10^{\bar{S}_d/10}} \exp \left[ -\frac{\pi S^2}{4 \cdot 10^{\bar{S}_d/10}} \right] \cdot \exp \left[ -\frac{(\bar{S}_d - m_d)^2}{2\sigma^2} \right] d\bar{S}_d \quad (17)$$

où  $\bar{S}_d$  = valeur moyenne de S en dB,  
 $m_d$  = valeur moyenne de  $\bar{S}_d$  en dB,  
 $\sigma$  = déviation standard.

Les figures 15 et 16 représentent respectivement la fonction et la distribution de probabilité d'un tel signal.

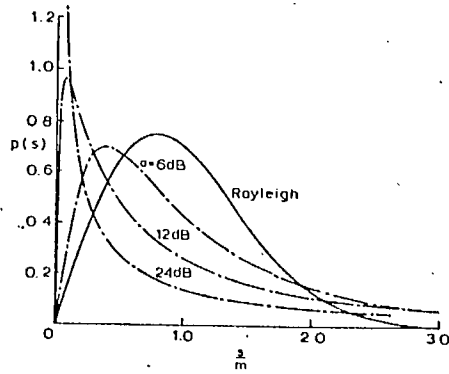


Fig. 15- Fonction de probabilité résultante.

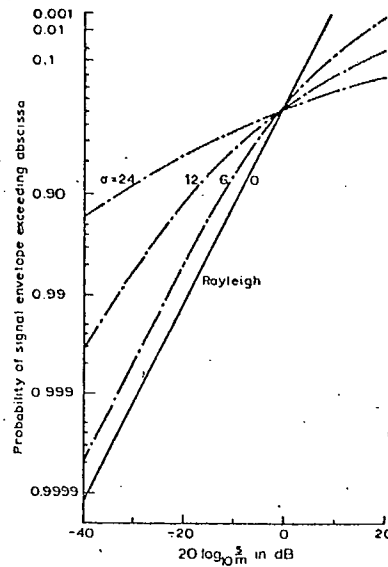


Fig. 16- Distribution de propabilité résultante.

#### 1.3.4 Eparpillement temporel du signal et largeur de bande de cohérence

Comme nous l'avons déjà mentionné, le signal reçu par l'antenne mobile est formé de la superposition de plusieurs composantes ayant subi une diffraction, une dispersion et/ou une réflexion par les obstacles entourant le récepteur. Ayant une longueur de trajet différent, chacun des signaux arrivera au récepteur en des temps différents bien qu'issu si-

multanément de l'antenne de transmission. Ce phénomène porte le nom "d'éparpillement temporel" (delay-spread) du signal reçu.

Des mesures effectuées par Cox et Leck [C23], à 910 MHz, donnent une idée de l'allure d'un profil de délai typique encouru dans une rue d'un centre ville. Un de ces profils apparaît à la figure 17. Il est le résultat d'une moyenne effectuée sur 50 profils.

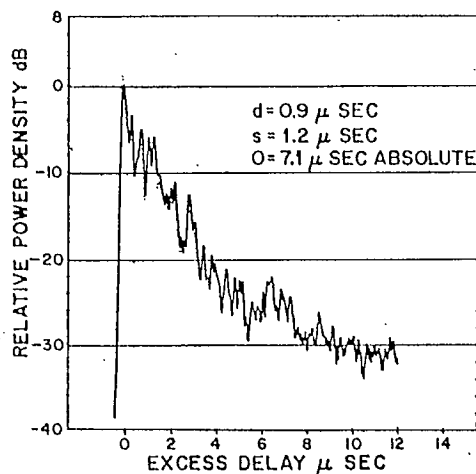


Fig. 17- Profil type du délai moyen.

Le signal transmis était équivalent à une impulsion triangulaire de durée égale à  $0.2 \mu\text{s}$ , avec un taux de répétition de 20 KHz. Pour ce graphe, la valeur moyenne  $d$  calculée était de  $0.9 \mu\text{sec}$  alors que la largeur RMS du profil, soit  $S$  (delay spread), était de  $1.2 \mu\text{sec}$ . Ce paramètre est important; c'est de lui que viennent en grande partie les limites imposées sur les performances maximales possibles d'un système de communication. Le délai absolu de propagation était dans ce cas de  $7.1 \mu\text{sec}$ .

La figure 18 donne l'histogramme de l'éparpillement temporel  $S$  mesuré alors que la figure 19 en donne la distribution résultante sur du papier à échelle de Gauss.

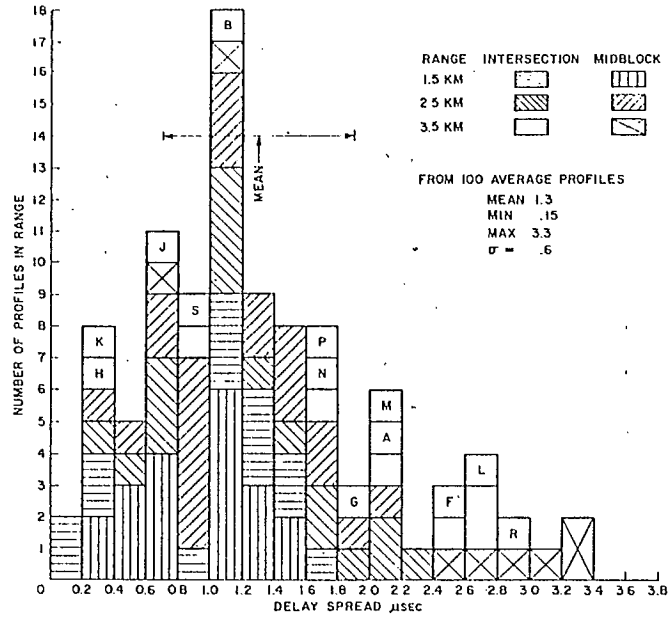


Fig. 18- Histogramme de l'éparpillement temporel S.

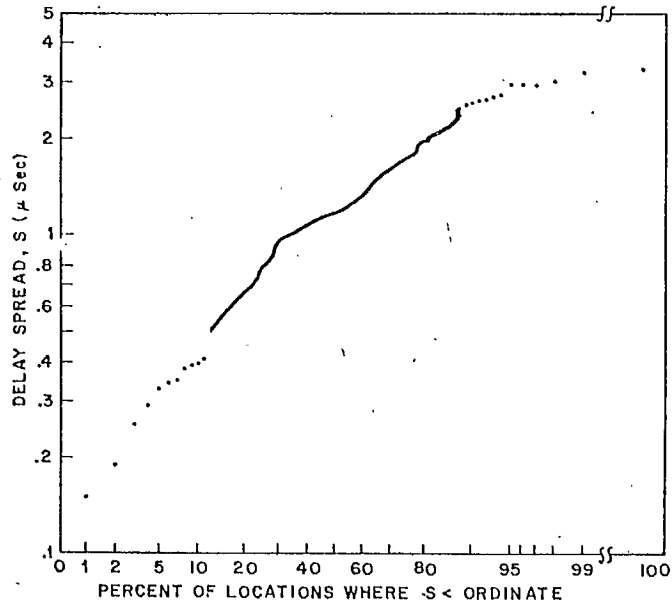


Fig. 19- Distribution cumulative de l'éparpillement temporel S.

La largeur de bande de cohérence est la largeur de bande maximale en dedans de laquelle les statistiques de deux sinusoides de fréquences différentes sont fortement corrélées. En d'autres mots, il s'agit de la bande de fréquence à l'intérieur de laquelle doit se trouver le signal transmis (un signal FM, par exemple), pour que nous puissions, au récepteur, le détecter convenablement à l'aide d'une seule méthode de traitement appliquée sur toute la bande du signal reçu [G4].

Une mesure de la bande de cohérence correspond à la valeur de la séparation en fréquences pour laquelle le facteur de corrélation des enveloppes des deux signaux de fréquences différentes est égal à 0.5. Cette valeur est donnée par  $1/(2\pi S)$  [J7, p. 51] où S est l'éparpillement temporel discuté précédemment.

Une autre mesure possible correspond à celle pour laquelle le facteur de corrélation des phases des deux signaux est égal à 0.5. Cette valeur est égale à  $1/(4\pi S)$  soit la moitié de la précédente [J7, p. 54].

A 900 MHz, suivant divers relevés, cette largeur de bande serait plus grande que 40 KHz en milieu urbain et plus grande que 250 KHz en milieu résidentiel.

### 1.3.5 Eparpillement fréquentiel (Effet Doppler)

Comme l'antenne du mobile en mouvement se déplace dans un milieu présentant des propagations multiples d'ondes de phase différentes, il en résulte une variation de phase avec le temps. Ces variations de phase, par rapport au temps, sont équivalentes à une variation apparente de la fréquence du signal reçu. Cette modulation en fréquence porte le nom de "signal FM aléatoire" (Random FM).

L'écart maximum entre la fréquence apparente du signal reçu par rapport à la fréquence véritable du signal émis est donné par:

$$f_m = \frac{v}{\lambda} \quad (18)$$

où  $v$  = vitesse de déplacement du mobile,

$\lambda$  = longueur d'onde du signal émis.

$$\text{A } 850 \text{ MHz, } f_m [\text{Hz}] \approx 1.25 v [\text{MPH}] \quad (19)$$

Le spectre de puissance RF résultant, vu par un récepteur, dépend de la composante du champ captée par l'antenne. Si nous assumons par exemple que le signal transmis est polarisé à la verticale, une antenne, genre fouet vertical, captera le champ électrique résultant  $E_z$  présent dans la direction verticale. Par contre, une antenne, genre cerceau, captera le champ magnétique  $H_x$  tangent au sens de déplacement du véhicule, si elle est orientée perpendiculairement à cet axe ou vice versa. La figure 20 donne l'allure des spectres RF ainsi captés [G4].

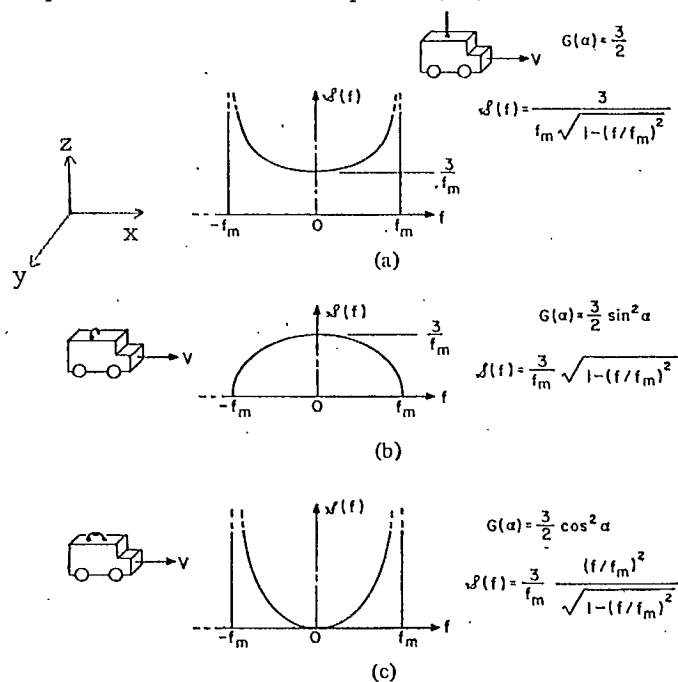


Fig. 20- Spectres de puissance reçue par une antenne.

(a) Spectre de  $E_z$  reçu par un monopole vertical

(b) Spectre de  $H_x$  reçu par un cerceau perpendiculaire

(c) Spectre de  $H_y$  reçu par un cerceau parallèle.

Utilisant un monopole vertical, le spectre résultant, en bande de base, présent à la sortie du démodulateur d'un récepteur FM est d'allure représenté à la figure 21 [G4].

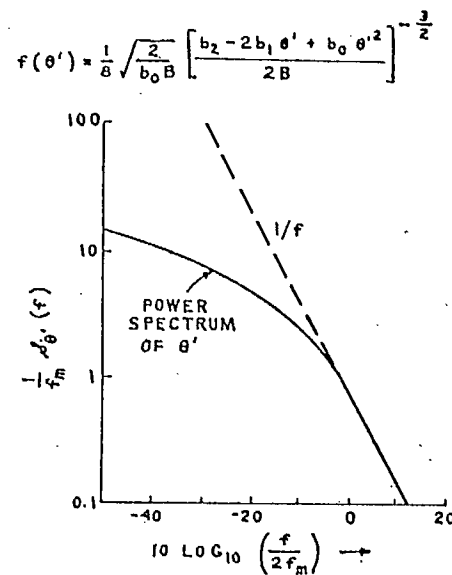


Fig. 21- Spectre bande de base du signal FM aléatoire capté par un monopole vertical.

Même en absence de toute autre forme de bruit, ce type de bruit résultant du déplacement de l'antenne mobile de réception, vient imposer une borne supérieure sur la valeur du rapport signal sur bruit dans un système de télécommunication FM.

#### 1.4 QUALITE DU SIGNAL A LA SORTIE DU DEMODULATEUR

##### 1.4.1 Rapport signal sur bruit du signal audio

En présence uniquement de bruit blanc gaussien sur le canal de transmission, le rapport signal sur bruit  $SNR_0$ , à la sortie d'un démodulateur FM, est supérieur à celui présent à la sortie d'un démodulateur cohérent d'un signal AM-DSB ou SSB comme l'indique la figure 22.



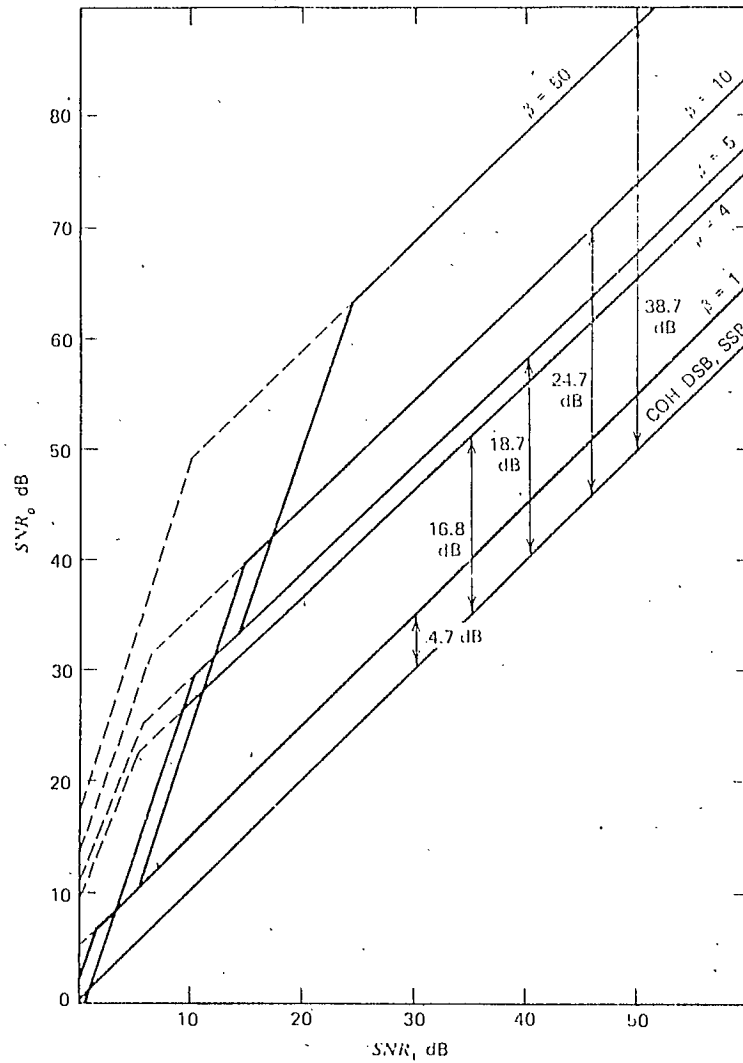


Fig. 22- Rapport signal sur bruit à la sortie du démodulateur en fonction du rapport signal sur bruit à l'entrée du récepteur.

A puissance d'émission fixe, la façon d'augmenter le rapport signal sur bruit de sortie, consiste à augmenter l'indice de modulation  $\beta$ , c'est-à-dire, à utiliser plus de largeur de bande pour transmettre le signal. Cela, au détriment d'un seuil de détectabilité de plus en plus élevé.

En présence d'affaiblissement de type Rayleigh sur le canal, le AM et le SSB deviennent à toutes fins pratiques inutilisables [J7], bien

que certains soutiennent le contraire [W9]. Pour notre part, nous retiendrons uniquement le FM étant donné que c'est ce dernier mode de modulation qui a été retenu dans les divers systèmes actuellement à l'essai à travers le monde.

Comme l'indique la figure 23, l'effet de seuil disparaît lorsque le canal présente des affaiblissements de type Rayleigh [D10].

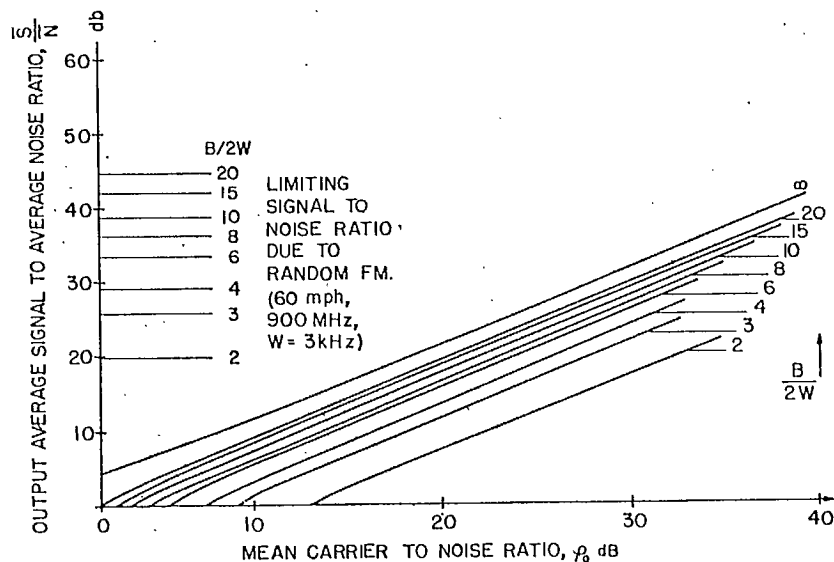


Fig. 23- Rapport signal sur bruit à la sortie du démodulateur en fonction du rapport signal sur bruit à l'entrée du récepteur pour divers rapports  $B/2W$  où  $B$  = largeur de bande du signal IF et  $W$  = largeur de bande du signal audio.

De plus, même en absence totale de bruit blanc gaussien, le bruit FM aléatoire, généré par effet doppler (voir section 1.3.5), impose une borne supérieure de rapport signal sur bruit de sortie qu'il n'est pas possible de dépasser et cela, indépendamment de la puissance utilisée au transmetteur. Cette limite est donnée par [J7]:

$$\frac{S}{N_0} = \frac{(B-2W)^2}{20 f_m^2 \text{Log } 10} \quad (20)$$

où  $B$  = largeur de bande du signal IF,  
 $W$  = largeur de bande du signal audio,  
 $f_m$  = fréquence d'étalement définie en (18).

Cette borne est donc fonction de la vitesse de déplacement du véhicule par le paramètre  $f_m$  ainsi que de la déviation de fréquence effectuée sur la porteuse par le paramètre  $W$ . La figure 24 illustre de façon plus explicite cette relation pour deux vitesses de déplacement; le signal audio étant borné à 3 KHz [A1].

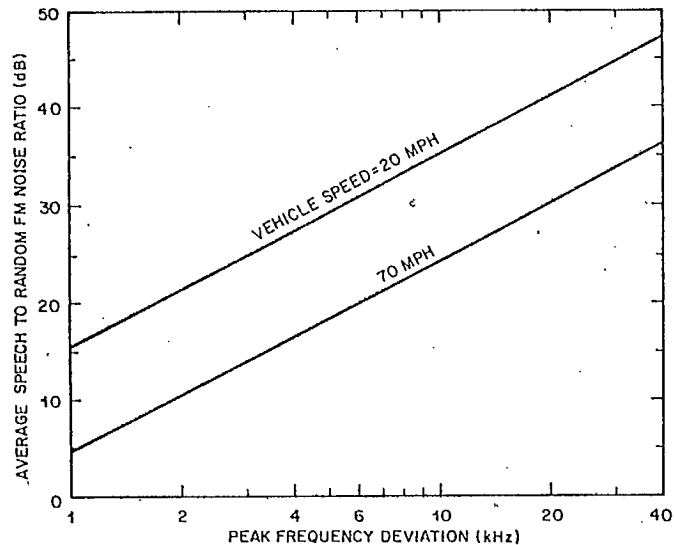


Fig. 24-- Borne supérieure de rapport signal sur bruit maximum possible en présence d'affaiblissement de type Rayleigh.

Prenant comme cas typique un signal FM à 900 MHz, subissant des déviations maximales de  $\pm 12$  KHz, par un signal audio limité à 3 KHz ( $\beta = 4$ ;  $B \approx 30$  KHz;  $2W = 6$  KHz). Pour un  $SNR_i$  d'entrée de 20 dB, en l'absence d'affaiblissement de type Rayleigh, le  $SNR_o$ , à la sortie du démodulateur, est de l'ordre de 36 dB (figure 22), alors qu'il n'est plus que de 15 dB environ (figure 23) en présence d'affaiblissement de type

Rayleigh (60 MPH), Ceci représente donc une dégradation de l'ordre de 20 dB environ.

#### 1.4.2 Taux d'erreur sur les données

Comme il a été choisi de transmettre en FM la voix, la façon la plus économique de transmettre des données consiste également à utiliser du FM. Ce mode de modulation se nomme FSK (Frequency Shift Keying). Il est également possible de démoduler ce signal FSK en se servant du même discriminateur que celui employé pour la voix.

Le taux d'erreur résultant est assez élevé toutefois, en comparaison avec celui obtenu par un même système n'étant pas affecté d'affaiblissement de type Rayleigh. La figure 25 illustre ce fait.

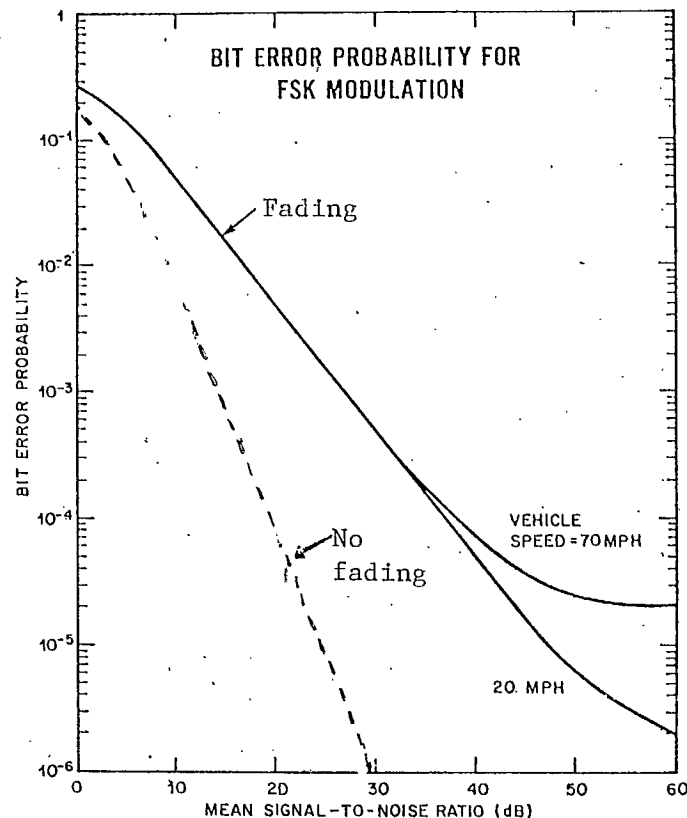


Fig. 25- Taux d'erreur pour une modulation FSK avec démodulation par discriminateur dans un canal de type Rayleigh.

Comme nous pouvons le constater, les performances varient d'environ une décade pour chaque 10 dB de rapport signal sur bruit à l'entrée; elles sont de  $10^{-2}$  à 20 dB,  $10^{-3}$  à 30 dB et d'environ  $10^{-4}$  à 40 dB.

Si nous tenons compte, en plus, du fait que la valeur moyenne du signal reçu est distribuée de façon log-normale, avec une déviation standard, pouvant atteindre jusqu'à 12 dB, les performances escomptées sont encore plus faibles comme l'indique la figure 26 [F13].

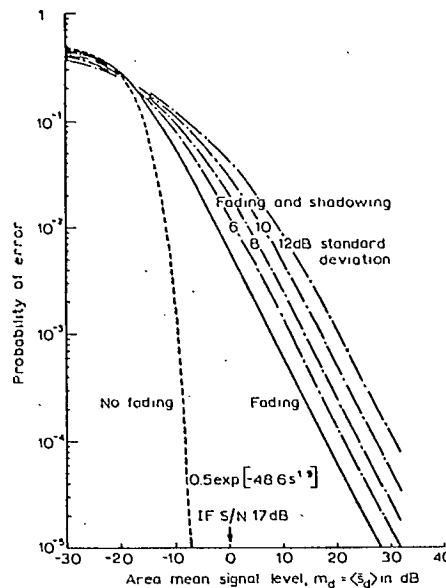


Fig. 26- Taux d'erreur d'un signal FSK en présence d'affaiblissement de type Rayleigh et de distribution log-normale.

Encore ici, les performances varient d'environ une décade par 10 dB de rapport signal sur bruit. Une dégradation supplémentaire de 4 à 13 dB est toutefois encourue par la présence additionnelle d'une déviation standard de 6 à 12 dB.

Il est également possible de démoduler ce signal FSK à l'aide d'un détecteur différentiel [H18]. Les performances résultantes sont alors légèrement supérieures à celles obtenues par discriminateur. La figure 27 donne une idée des performances ainsi obtenues, calculées pour divers indices de modulation et diverses valeurs du produit  $f_D T$  où  $f_D$  est la fréquence maximale d'étalement due à l'effet doppler et  $T$  est l'intervalle de signalisation.

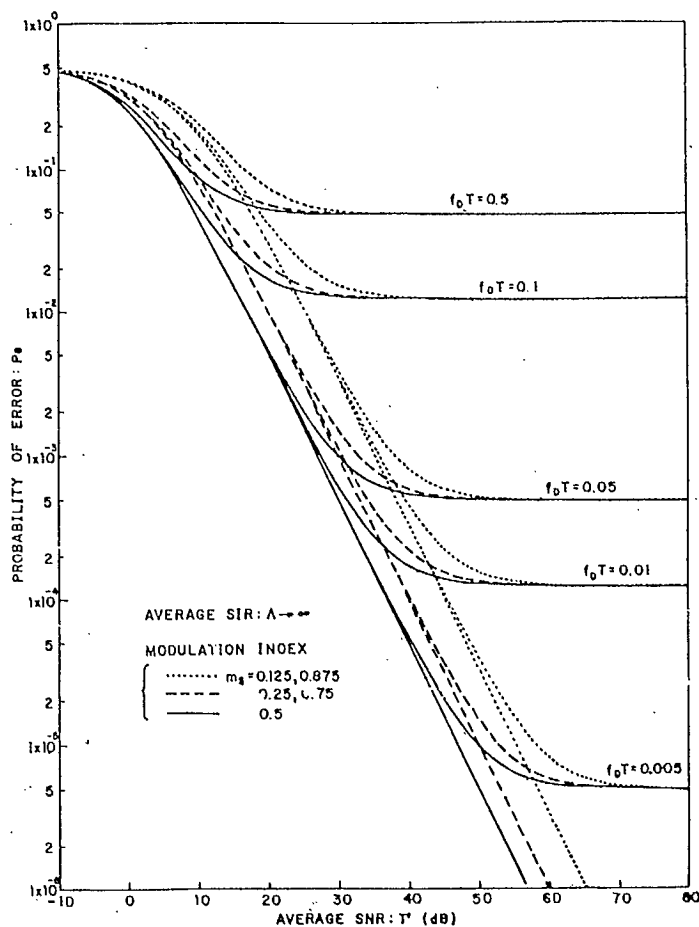


Fig. 27- Taux d'erreur pour une modulation FSK avec démodulateur différentielle.

D'après les figures 25 et 27, nous constatons qu'il existe un taux d'erreur irréductible dû, encore ici, à la présence du bruit FM

aléatoire généré par effet doppler. La figure 28 illustre cette valeur de taux d'erreur irréductible en fonction de l'indice de modulation pour diverses valeurs de produit  $f_D T$ .

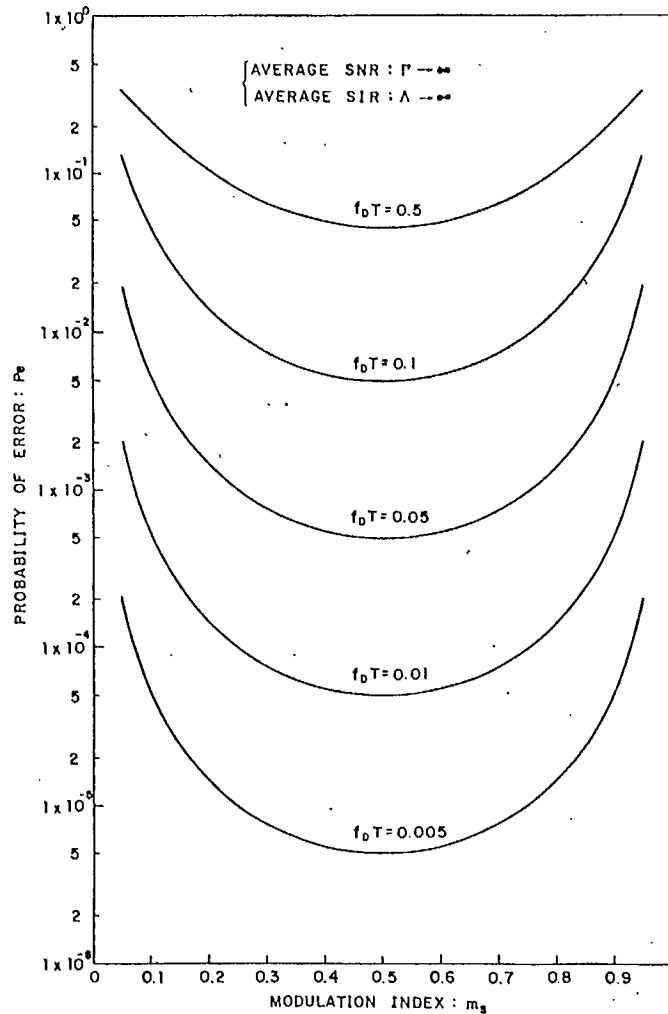


Fig. 28- Taux d'erreur irréductible.

Un indice de modulation de 0.5 serait donc optimum [H18]. Il est bon de noter que ceci correspond à un signal MSK (Minimum Shift Keying). En pratique, le produit  $f_D T$  est inférieur à 0.01. Le bruit FM aléatoire ne vient donc pas imposer des restrictions trop sévères sur la qualité de la transmission des données.

## 2. PARTICULARITES DE CHAQUE SYSTEME

Nous passerons en revue les principales caractéristiques des divers systèmes cellulaires de télécommunication type radio-téléphone pour usagers mobiles portés à notre connaissance.

### 2.1 LE SYSTEME AMPS

Il s'agit, de loin, du système le plus abondamment discuté dans la littérature.

#### 2.1.1 Historique [W10]

Le tableau 3 résume les principales étapes historiques franchies par ce système.

| Date          | EVENEMENT   |
|---------------|---|
| 1968          | Ouverture du dossier #18262 par la FCC, invitant des propositions de systèmes pour l'utilisation efficace d'une nouvelle portion du spectre.  |
| Décembre 1971 | Soumission par Bell System d'une description détaillée d'un nouveau système mobile à grande capacité de type cellulaire nommé "High Capacity Mobile Communications Services" (HCMTS), rebaptisé plus tard "Advanced Mobile Phone Service" (AMPS). |
| Juillet 1975  | Soumission par Illinois Bell d'une demande à la FCC en vue d'entreprendre un essai du système AMPS à Chicago.   |

... suite



|              |   |
|--------------|---|
| Mars 1977    | Approbation du FCC accordée.  |
| Juillet 1978 | Début de la phase dite "technique". 100 unités mobiles sont mises à l'essai par les employés du Bell.                                   |
| Début 1979   | Début de la phase dite "de service". Environ 1400 hommes d'affaires et membres de professions libérales de Chicago essaient le système. |

Tableau 3

Comme de par la loi, Bell ne peut manufacturer les produits de sa conception, Bell a offert à diverses compagnies manufacturières l'opportunité d'essayer leur matériel dans le cadre du système expérimental à Chicago. Fujitsu, Hitachi, Nippon Electric Co. Ltd (NEC) et Mitsubishi ont répondu à l'invitation. Les fournisseurs des appareils mobiles utilisés pour l'essai de Chicago sont pour leurs parts OKI, E.J. Johnson et Motorola.

### 2.1.2 Allocation des fréquences

Le tableau 4 résume la situation.

|   |   |  |
|---|---|--|
| Nombre de canaux maximum  | = | 666 paires de canaux                           |
| Largeur de bande de chaque canal                                      | = | 30 KHz   |
| Bande de fréquence de transmission des unités mobiles                 | = | 825 MHz (canal #133) @<br>845 MHz (canal #799) |
| Bande de fréquence de transmission des postes cellules                | = | 870 MHz (canal #133) @<br>890 MHz (canal #799) |
| Espacement entre même numéro de canal de transmission et de réception | = | 45 MHz   |

Tableau 4

### 2.1.3 Subdivision des canaux

Parmi les 666 canaux, certains sont spécifiquement réservés pour la transmission d'information numérique; ce sont les "canaux de service" (set-up channels). Ce sont par eux que tous les postes de cellule tentent de rejoindre un abonné mobile (paging). C'est également par l'un deux qu'un abonné mobile demande l'accès au réseau (Access). Les autres canaux sont utilisés pour transmettre les conversations (voice channels).

Comme l'indique la figure 29, la répartition des canaux est fonction du stade de croissance du système. Plus il y a d'abonnés, plus il doit y avoir de canaux de service.

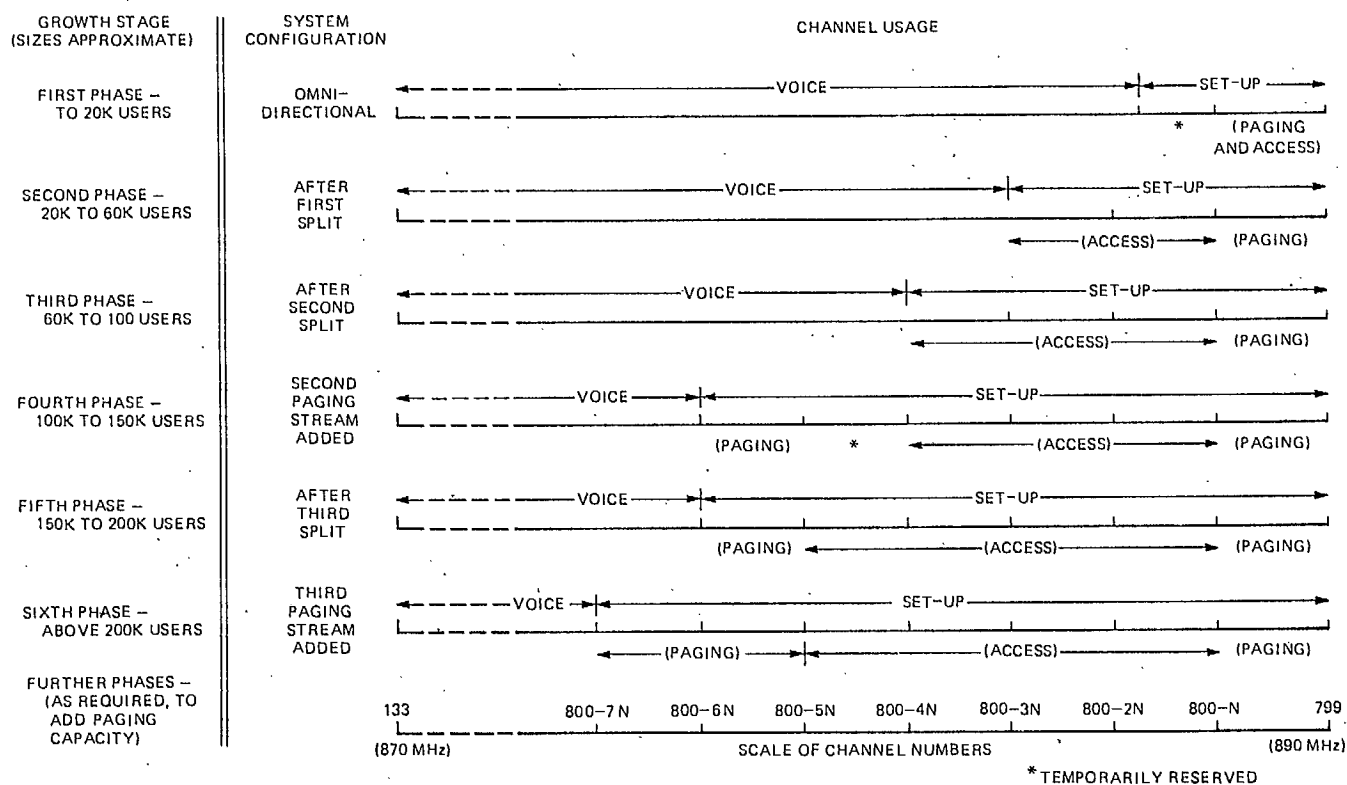


Fig. 29- Subdivision des canaux en fonction du stade de croissance.

### 2.1.4 Format de transmission des données sur les canaux de service

Comme l'indique la figure 29, les 21 canaux de fréquence les plus hautes sont réservés en tout temps pour la transmission de données nécessaires au bon fonctionnement du système.

Que la transmission soit dans le sens direct (forward set-up), c'est-à-dire des postes de cellule vers les mobiles ou dans le sens inverse (reverse set-up), c'est-à-dire des mobiles vers les postes de cellule, les points suivants demeurent communs:

- 1) Débit numérique = 10 Kbits/sec
- 2) Signalisation = code Manchester (biphase)
- 3) Spectre bande de base résultant:

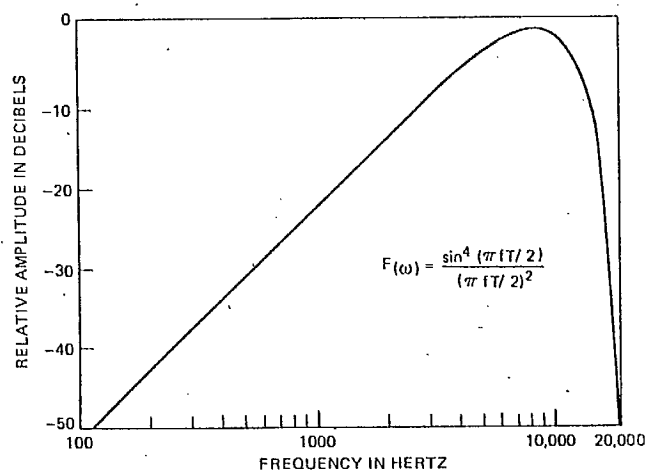


Fig. 30- Spectre bande de base d'un signal aléatoire équiprobable codé en biphase de débit de 10 Kbits/sec.

- 4) Type de filtre employé = passe-bas, Bessel
- 5) Type de modulation = FSK
- 6) Déviation maximale =  $\pm 8$  KHz

## 7) Spectre du signal FSK résultant:

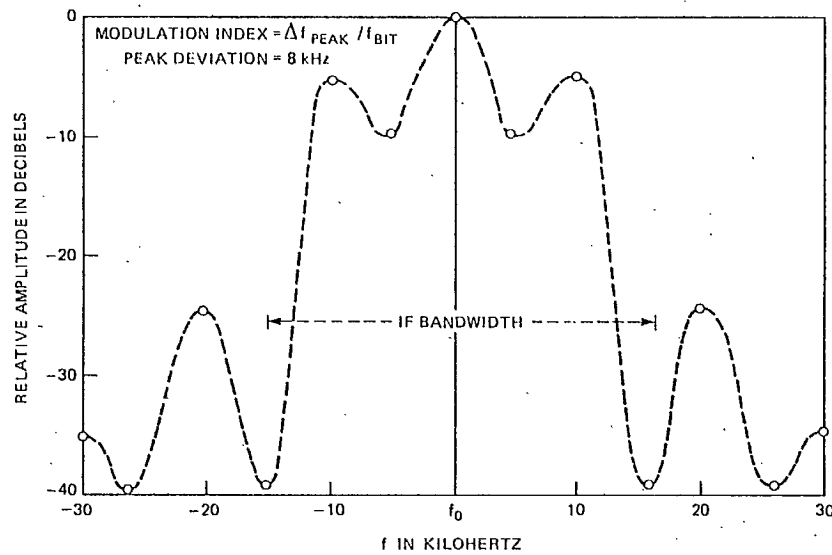


Fig. 31- Spectre du signal FSK:

- 8) Implantation physique = Intégrateur suivi d'un modulateur de phase.  
 Cette technique est préférée à une modulation de fréquence directe car elle permet de contrôler avec une plus grande précision la valeur nominale de la fréquence porteuse.
- Cette technique est possible ici car le spectre bande de base (fig. 28) d'un signal biphasé ne contient pas d'énergie à la fréquence zéro.

La figure 32 résume la discussion alors que les figures 33 et 34 représentent les schémas bloc respectifs des transmetteurs des postes de cellules et des mobiles. On y note quelques différences mais l'idée de base y est la même.

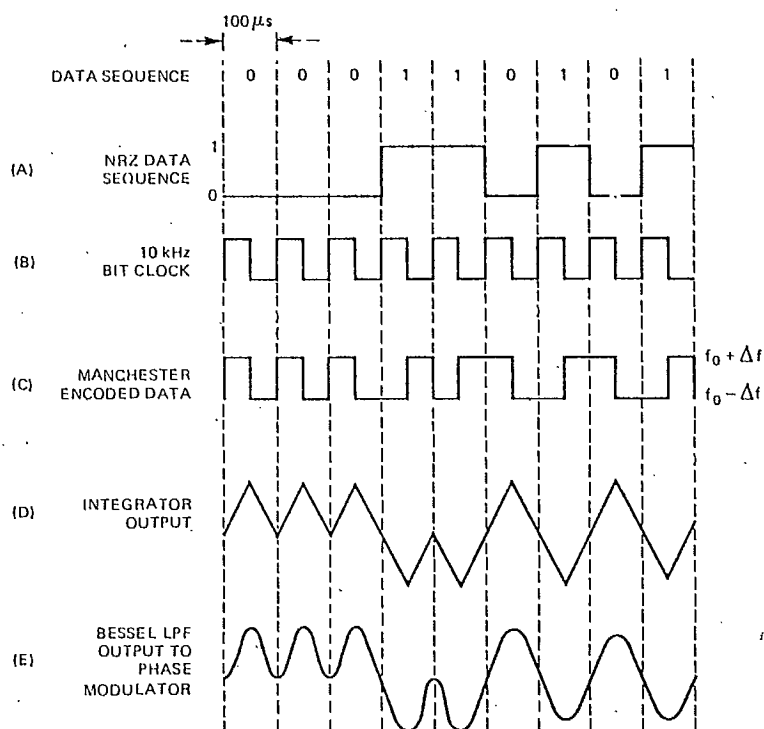
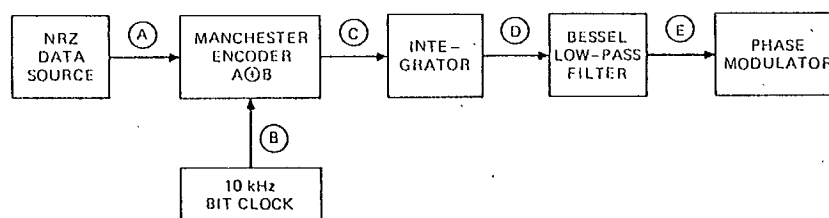


Fig. 32-- Schéma bloc du système de transmission de données.

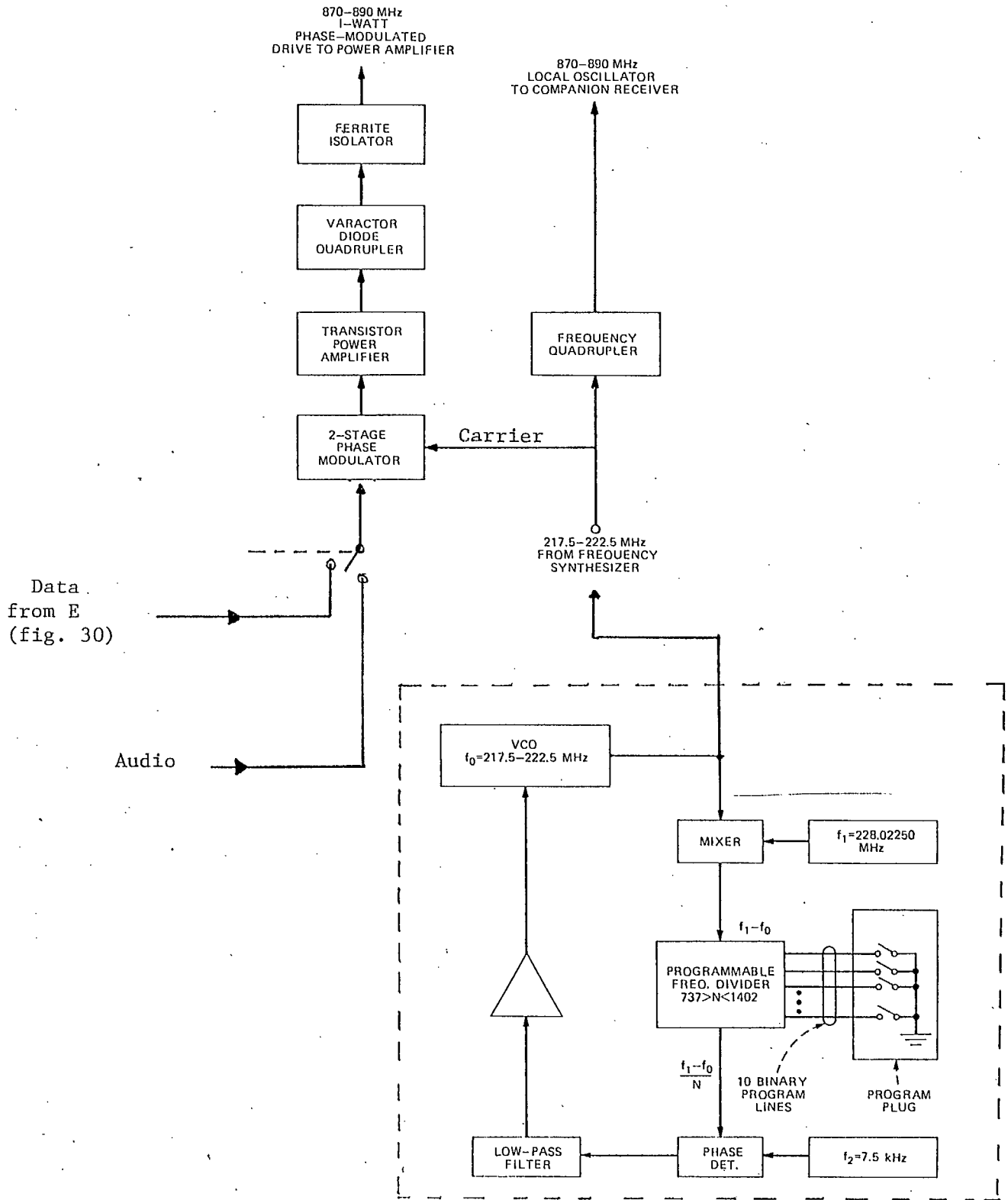


Fig. 33- Schéma bloc d'un transmetteur d'un poste de cellules.

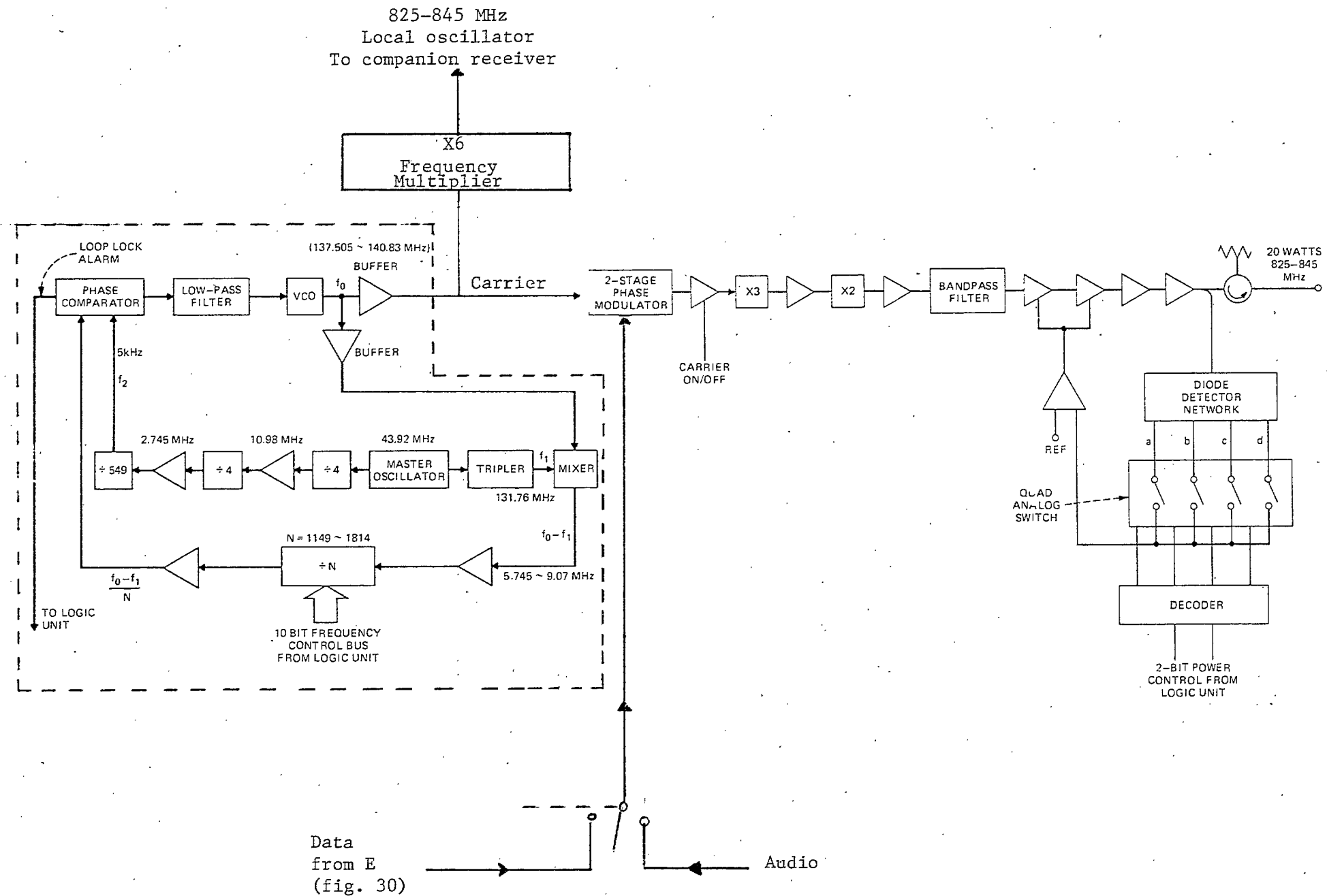


Fig. 34- Schéma bloc de transmetteur d'un mobile.

### 2.1.4.1 Signalisation dans le sens direct

La transmission des données sur les canaux de services est effectuée de façon synchrone par chacun des postes de cellule. Ceci facilite la synchronisation des postes mobiles à l'écoute. La périodicité de base de l'information ainsi transmise est de 463 bits formatée tel qu'illustré à la figure 35.

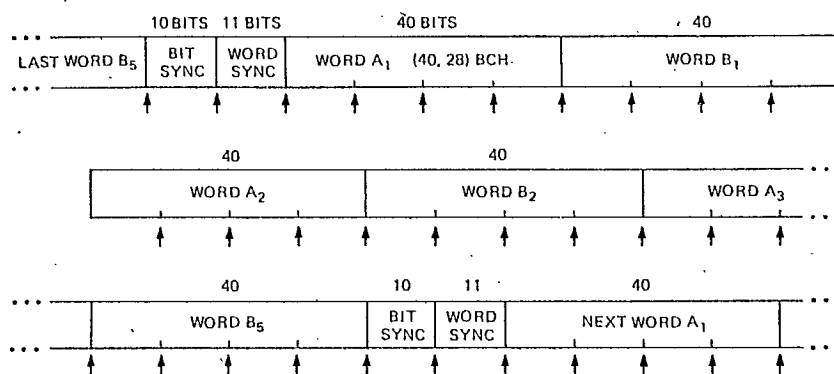


Fig. 35- Format de signalisation émis par les postes de cellule sur chacun des canaux de services.

Les flèches apparaissant sur cette figure indiquent la présence d'un bit inséré après chaque bloc de 10 bits à l'intérieur des mots A et B ainsi qu'à la fin des séquences de synchronisation de bits et de mots. Ces bits portent le nom de "busy-idle" bits. Lorsque ce bit est à un niveau logique 0, ceci indique que le canal de service n'est présentement pas disponible pour recevoir une demande d'appel et inversement, qu'il est disponible s'il est dans l'état 1.



Les mots A et B, en plus d'être encodés à l'aide d'un code correcteur d'erreur de type BCH<sup>(1)</sup>, sont répétés 5 fois et entrelacés l'un avec l'autre. Le contenu de ces mots dépend de l'état du système. Il peut informer un mobile d'une demande d'appel, d'un numéro de canal à utiliser; contenir de l'information de gérance ou tout simplement des bits bidons durant des périodes d'inactivité pour maintenir le caractère synchrone de la transmission.

Chacun des mobiles à l'écoute du canal de service qui fournit le signal le plus intense décode uniquement un des mots qui pourrait possiblement lui être destiné. Si le dernier chiffre de son numéro de téléphone est paire, il décode uniquement les mots A, s'il est impair, les mots B.

#### 2.1.4.2 Signalisation dans le sens inverse

Les mobiles transmettent des données sur les canaux de services de façon asynchrone. Chacun entre en action à des temps aléatoires. Tous sont en compétition les uns avec les autres. La figure 36 illustre le format de transmission utilisé.

Chaque paquet contient de 1 à 5 mots de 48 bits répété 5 fois. Un précurseur de 48 bits aide les postes de cellules à se synchroniser sur le paquet reçu de façon asynchrone et à détecter si le message qui suit leur est destiné (identification de 7 bits dénotée par un astérisque sur la figure 36). La détection des mots de 48 bits est effectuée par comparaison bit à bit. Un vote majoritaire 3 sur 5 en détermine ainsi la valeur. Le mot, encodé en BCH, est ensuite décodé et une décision est prise à savoir s'il est recevable ou non.

---

(1) (40,28) BCH signifie que le mot comprend 40 bits dont 28 bits d'information réelle, le restant étant redondant.

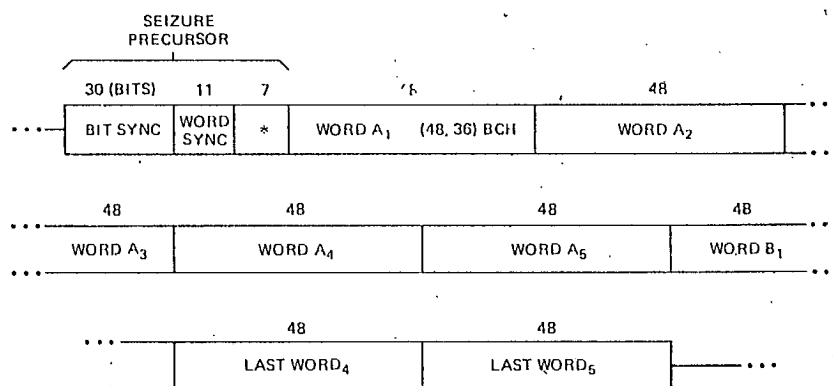


Fig. 36- Format d'un paquet d'information transmis par les mobiles.

### 2.1.5 Format de transmission des données sur les lignes téléphoniques

La liaison entre le MTSO et chacun des postes de cellules est assurée par une ou deux lignes téléphoniques sur lesquelles sont acheminées les données. Les données sont transmises à la demande, de façon asynchrone, à un taux de 2,400 bits/sec par l'entremise de modems PSK 4 phases, type 201D de la Western Electric. La figure 37 en donne le format de transmission.

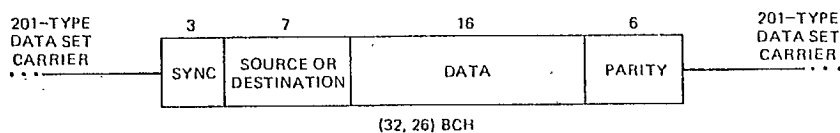


Fig. 37- Format d'un paquet d'information transmis sur ligne téléphonique entre le MTSO et les postes de cellules.

Au début de chaque paquet, des bits de synchronisation sont encore ici transmis afin de diminuer le temps de synchronisation du récepteur. Le message comprend 16 bits. Il s'agit soit de commandes spécifiques, de nombres, ou des résultats de mesures de localisation. Ces 16 bits sont précédés d'un mot de 7 bits servant à identifier la source ou le destinataire ou encore à signaler que d'autres mots d'instruction sont à venir.

### 2.1.6 Format de transmission des conversations sur les canaux hertziens vocaux

#### 2.1.6.1 Companding du signal

Comme il existe une très grosse variation possible d'intensité dans le volume d'un interlocuteur à l'autre, il a été décidé d'intercaler un compresseur de rapport 2:1 entre le microphone et le modulateur. Les caractéristiques de ce compresseur sont conformes aux normes du CCITT; des temps d'attaque et de recouvrement respectivement de 3 et 13.5 ms y sont utilisés. Avec ces caractéristiques, les variations dans l'amplitude du signal à la sortie du compresseur sont réduites d'un facteur 2 (en dB) par rapport à celles présentes à l'entrée. Au récepteur, un expenseur à caractéristiques inverses est employé.

#### 2.1.6.2 Technique de modulation

Le signal audio sortant du compresseur attaque un modulateur de phase après avoir subit auparavant une pré-accentuation des hautes fréquences. La déviation de phase totale produite est de  $\pm 12$  radians. La déviation de fréquence résultante est de  $\pm 12$  KHz maximum. Due à l'action du compresseur, discuté à la section précédente, la valeur RMS au carré de la déviation de la fréquence de la porteuse, soit  $f_{\text{RMS}}^2$ , est limitée à 2 KHz.

### 2.1.7 Format de transmission des données intercallées avec la voix

Certaines données numériques doivent nécessairement être acheminées sur le canal utilisé pour la voix, car c'est la seule façon économique de transmettre de l'information durant un appel. Le procédé employé est de type "interruption-et-paquet" (blank-and-burst), c'est-à-dire que la conversation téléphonique est momentanément interrompue et qu'un paquet d'information numérique, à un taux de 10 Kbits/sec, est envoyé. Le format de transmission utilisé est représenté à la figure 38.

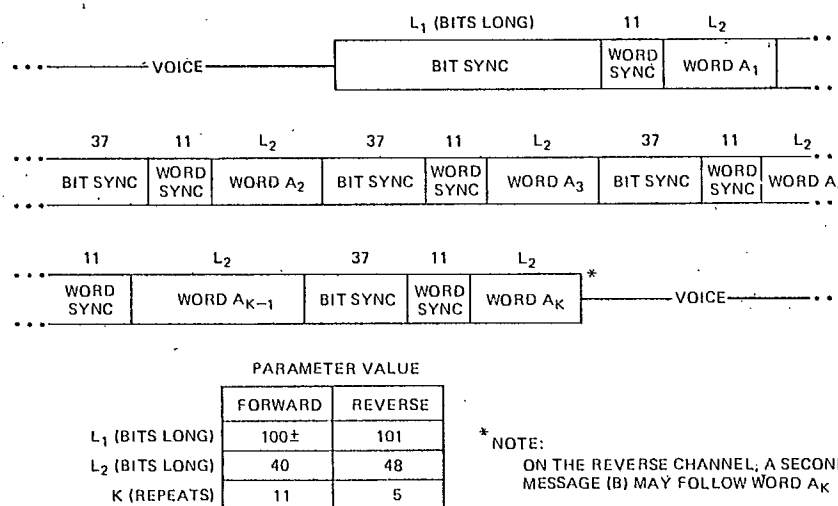


Fig. 38- Format de transmission des données intercallées avec la voix.

### 2.1.8 Déroulement type des diverses séquences d'appel [F10]

Afin de mieux saisir l'inter-action existant entre le MTSO, chacun des postes de cellules et les mobiles, nous avons cru utile de décrire brièvement le déroulement type des diverses séquences d'appel.

1- Réception d'un appel par un mobile:

- (a) - Un abonné du réseau terrestre compose le numéro de téléphone du mobile qu'il veut rejoindre.
  - Sa demande est acheminée au MTSO qui vérifie la validité du numéro demandé.
  - Le MTSO envoie à tous les postes de cellules actifs un message leur demandant d'appeler le numéro du mobile en question.
  - Chaque poste de cellule transmet sur son canal de service le numéro du mobile à rejoindre.
- (b) - Le mobile, à l'écoute d'un des canaux de service, reconnaît son numéro.
  - Le mobile sélectionne alors le canal de service offrant le signal le plus intense.
- (c) - Le mobile envoie au poste de cellule retenu un accusé réception par l'entremise du canal de service.
  - Le poste de cellule rapporte au MTSO que le mobile appelé est présentement à l'écoute dans sa cellule.
- (d) - Si le MTSO n'avait pas reçu de réponse d'un des postes de cellules, il aurait reformuler sa demande. S'il n'avait pas obtenu de réponse une seconde fois, il en aurait conclu que le mobile n'était pas à l'écoute. Dans ce cas, il aurait branché l'abonné désirant rejoindre ce mobile sur un message enregistré. Dans le cas où plus d'un poste de cellule répond, il y a erreur; le MTSO établit la liaison avec le premier poste qui a répondu.
  - Le MTSO sélectionne alors une ligne téléphonique disponible entre lui et le poste de cellule retenu ainsi qu'un canal de voix à utiliser entre le poste de cellule et le mobile.
  - Le MTSO informe le poste de cellule de son choix.
  - Le poste de cellule informe le mobile du numéro de canal retenu et transmet sur ce canal de voix le SAT (supervisory audio tone) qui lui est propre.
  - Le mobile sélectionne ce canal, reçoit ce SAT et le retransmet.
  - Sur réception de sa tonalité émise, le poste de cellule décroche la ligne téléphonique entre lui et le MTSO, retenue plus tôt par ce dernier.

- (e) - Le MTSO perçoit cette manoeuvre et commande au poste de cellule d'alerter l'opérateur du mobile.
  - Le poste de cellule transmet un mot de commande au mobile sur le canal de voix retenu.
  - Le mobile détecte cette commande. L'opérateur du mobile est alerté par un signal sonore. Le mobile émet sur le canal de voix une tonalité de 10 KHz.
  - Le poste de cellule détecte cette tonalité et raccroche la ligne téléphonique entre lui et le MTSO.
  - Le MTSO détecte ce changement. Il envoie alors à l'abonné appelant une tonalité indiquant que sa demande a été acheminée au destinataire et qu'il attend qu'il décroche son combiné.
- (f) - Le propriétaire du mobile décroche le combiné. La tonalité de 10 KHz émise vers le poste de cellule cesse.
  - Le poste de cellule détecte cet arrêt et décroche à nouveau la ligne téléphonique entre lui et le MTSO.
  - Le MTSO détecte ce changement.
  - Le MTSO débranche le circuit d'émission de la tonalité de sonnerie vers l'abonné appelant et établit la liaison téléphonique entre l'abonné appelant et le poste de cellule.
  - La conversation téléphonique peut débuter.

2- Demande d'appel par un mobile:

- (a) - L'opérateur du mobile compose, à la vitesse qu'il lui convient, le numéro de téléphone de l'abonné qu'il désire rejoindre. Ce numéro est mis en mémoire et affiché. Il est ainsi à même de voir s'il a fait une erreur avant d'acheminer sa demande.
- (b) - Le mobile sélectionne le canal de service offrant le signal le plus intense et vérifie si le canal est libre d'accès ("busy-idle" bit = 1).
- (c) - Le numéro mis en mémoire ainsi que l'identification du mobile sont transmis sur le canal de service retenu.
  - Le poste de cellule détecte la demande.
  - Le poste de cellule envoie au MTSO cette demande en y incluant les trois informations suivantes: numéro du mobile appelant, numéro de l'abonné appelé, identification du poste de cellule.

- (d) - Le MTSO reçoit la demande et en vérifie sa validité.
- Le MTSO sélectionne une ligne téléphonique disponible entre lui et le poste de cellule ainsi qu'un canal de voie disponible entre le poste de cellule et le mobile.
- Le MTSO informe le poste de cellule concerné de son choix.
- Le poste de cellule reçoit cette information.
- Le poste de cellule informe le mobile du numéro de canal retenu et transmet sur ce canal de voie le SAT qui lui est propre.
- Le mobile sélectionne ce canal, reçoit ce SAT et le retransmet.
- Sur réception de sa tonalité émise, le poste de cellule décroche la ligne téléphonique entre lui et le MTSO, retenue plus tôt par ce dernier.
- Le MTSO détecte ce changement.
- Entré temps, le MTSO tente de rejoindre le destinataire comme le ferait une centrale téléphonique conventionnelle et s'occupe de la facturation.
- (e) - Lorsque l'appelé répond, le MTSO établit la liaison téléphonique avec le poste de cellule qui la relie au mobile par l'entremise du canal de voie retenu.

### 3- Relayage à un autre poste de cellule<sup>(1)</sup>:

- (a) - Pour assurer une qualité de signal convenable, tous les postes de cellules rendent compte, périodiquement, au MTSO, de l'état de la qualité du signal qu'ils reçoivent sur chacun de leur canaux de voix utilisés.
- Chaque poste de cellule est en effet équipé d'un radio à synthétiseur qui, sur commande d'un contrôleur, mesure et mémorise, environ à toutes les 5 secondes, l'intensité du signal reçu sur chaque canal de voix utilisés et envoie cette information codée en 8 bits au MTSO [F2].
- Chaque poste de cellule se sert également de la tonalité émise sur le canal de voix durant tout le temps que dure l'appel pour obtenir une information supplémentaire sur la distance la séparant du mobile. Les fréquences de ces tonalités sont 5,970 Hz,

---

(1) Dans tous les articles étudiés, il nous a semblé que les auteurs de chez Bell ont voulu volontairement être évasifs sur ce point. Il nous apparaît clairement qu'une concertation, visant à garder "secrets" certains détails, existe.

6,000 Hz et 6,030 Hz. Seulement une est utilisée par poste de cellule. Ces fréquences sont suffisamment hautes par rapport au signal audio de fréquences comprises entre 300 Hz et 3 KHz pour être facilement détectables.

- Ce SAT (supervisory audio tone) émis par le poste de cellule est retourné par le mobile. Une boucle à verrouillage de phase permet d'estimer la distance mobile-poste de cellule en comparant la phase du SAT reçu par rapport à celle transmise. La distance mobile-poste de cellule est une fonction linéaire de ce déphasage. Cette information, une fois codée en binaire est également transmise au MTSO.
- (b) - Le MTSO analyse tous ces renseignements et décide si ou non un relaiage à un autre poste de cellule pourrait améliorer la qualité d'une conversation en cours.
  - Si tel est le cas, le MTSO sélectionne un poste de cellule voisin le plus susceptible d'améliorer la qualité du signal et l'informe d'activer son récepteur radio sur le canal retenu.
- (c) - Entre temps, le MTSO envoie au poste de cellule déservant actuellement l'appel une notice l'informant de sa décision de relayer l'appel à un autre poste de cellule. Le MTSO lui communique alors le nouveau numéro de canal ainsi que le SAT du nouveau poste de cellule choisi.
  - Le poste de cellule communique ces deux renseignements au mobile par le canal de voix.
- (d) - Sur réception de ce message, le mobile envoie une tonalité de 10 KHz, accusant ainsi réception et ferme son transmetteur.
  - L'ancien poste de cellule détecte cette tonalité et raccroche la ligne téléphonique le reliant au MTSO.
  - Le mobile synthonise alors le nouveau canal retenu par le MTSO, y détecte le SAT et le retransmet au nouveau poste de cellule.
- (e) - Le nouveau poste de cellule détecte son propre SAT.
  - Le nouveau poste de cellule décroche la ligne téléphonique le reliant au MTSO.
- (f) - Le MTSO perçoit ce changement.
  - Le MTSO établit la liaison téléphonique.

#### 4- Terminaison d'un appel par un mobile:

- (a) - L'opérateur du mobile raccroche son combiné.
  - Le mobile transmet une tonalité de 10 KHz pendant 1.1 sec. puis ferme son transmetteur.



- (b) - Le poste de cellule détecte cette tonalité et raccroche la ligne téléphonique le reliant au MTSO.
- (c) - Le MTSO détecte ce changement.
  - Le MTSO transmet un signal d'interruption de service à l'autre interlocuteur.
  - Le MTSO ordonne au poste de cellule de fermer son transmetteur.

5- Terminaison d'un appel par l'autre partie:

- (a) - Le MTSO détecte la mise hors service de la ligne téléphonique le reliant au reste du réseau.
  - Le MTSO ordonne au poste de cellule de cesser le service.
- (b) - Le poste de cellule transmet cette commande au mobile par le canal de voix.
- (c) - Le mobile accuse réception de cette commande en effectuant la même séquence d'opération que celle effectuée à la section 4.
- (d) - Les opérations sont ensuite les mêmes que celles effectuées à la section 4 par le poste de cellule et le MTSO sauf que ce dernier ne transmet rien en direction de l'autre interlocuteur qui a déjà quitté le réseau.

2.1.9 Techniques de réception employées

2.1.9.1 Récepteur des postes de cellules

La technique employée est celle de la combinaison à pondération égale de deux signaux non corrélés (Two Branch, Equal Gain, Diversity Combiner) [H16].

Cette technique nécessite l'emploi de deux antennes de réception suffisamment éloignées l'une de l'autre pour qu'il y ait le moins possible de corrélation entre chacun des signaux ainsi captés. Dans le système AMPS, comme l'indique la figure 39, les deux antennes sont séparées d'environ dix pieds.

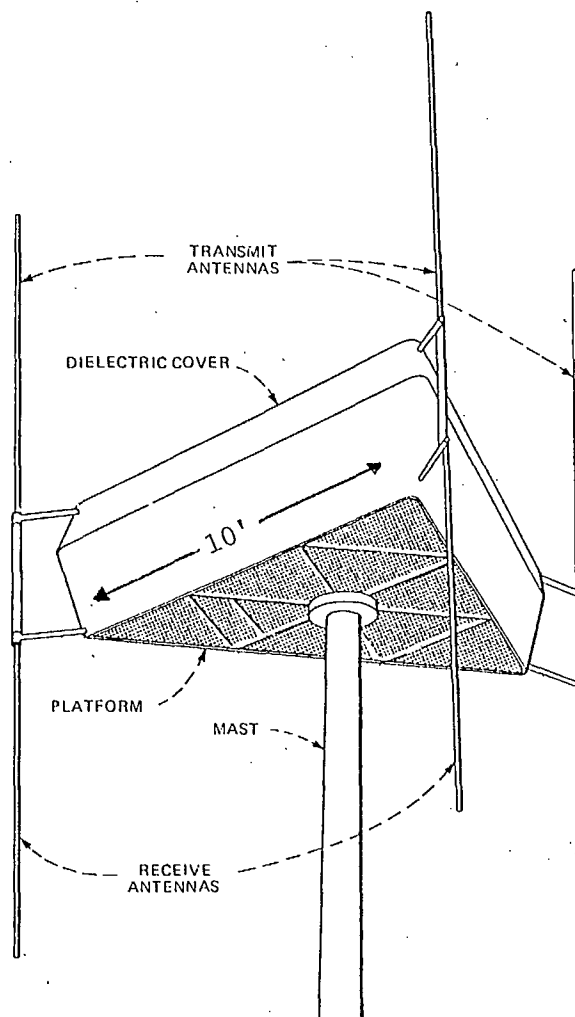


Fig. 39- Antennes des postes de cellules.

Les deux signaux ainsi captés sont acheminés, de façon indépendantes, à travers deux récepteurs superhétérodyne double conversion identiques comme l'indique la figure 40.

Chacun des signaux à fréquence intermédiaire de 1.8 MHz est ensuite injecté dans un circuit de combinaison à gain égal tel que représenté à la figure 41. Le rôle de ce circuit [H16, E14] est de ramener en phase les deux signaux y entrant pour ensuite les sommer ensemble. De son côté, le bruit présent y est aussi sommé mais de façon non corrélée. Ceci

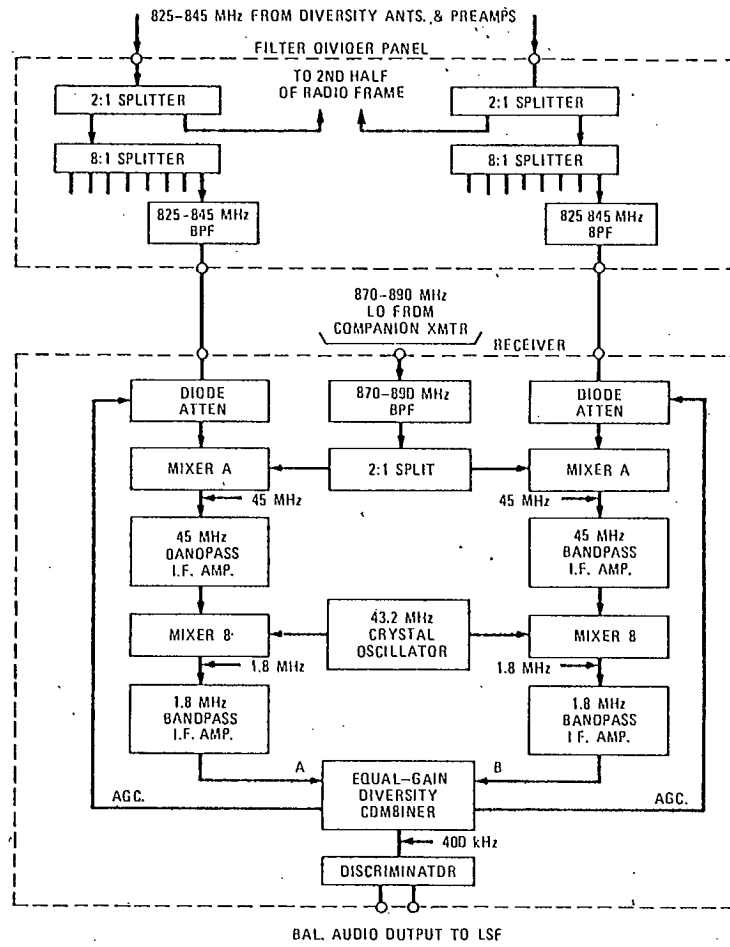


Fig. 40- Récepteurs des postes de cellules.

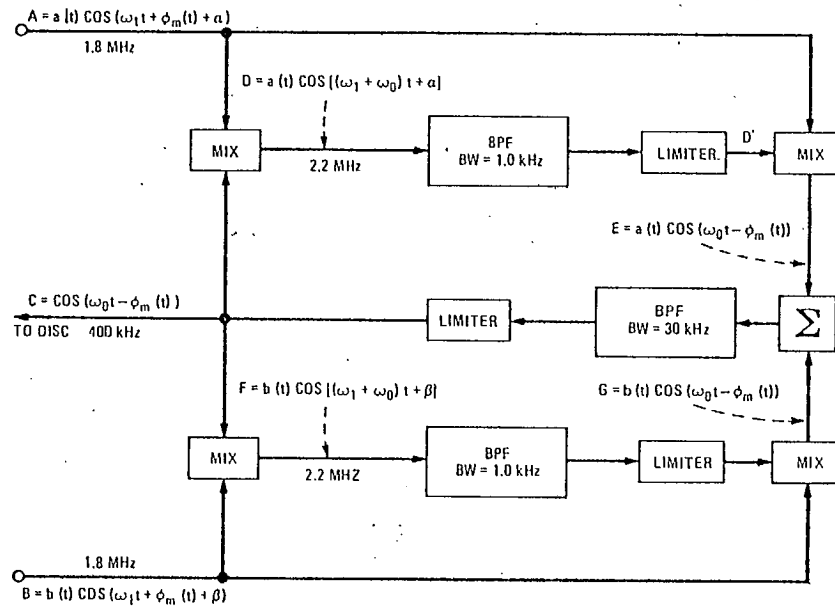


Fig. 41- Combinaison des signaux.

a pour effet d'augmenter le rapport C/N de  $1+\pi/4$  soit de 2.5 dB par rapport au cas où un seul récepteur serait employé.

L'amélioration de la qualité du rapport signal sur bruit à la sortie du discriminateur est d'environ 12 dB pour un C/N à l'antenne de 18 dB [A13]. La qualité du signal vocal ainsi récupéré est donc grandement améliorée par l'emploi de cette technique.

De même, le taux d'erreur sur les données reçues connaît une baisse très sensible comme l'indique la figure 42. Pour un C/N moyen de 18 dB à l'entrée, le taux d'erreur passe de  $8 \times 10^{-3}$  à  $1.5 \times 10^{-4}$ ; ce qui est, encore ici, un gain considérable.

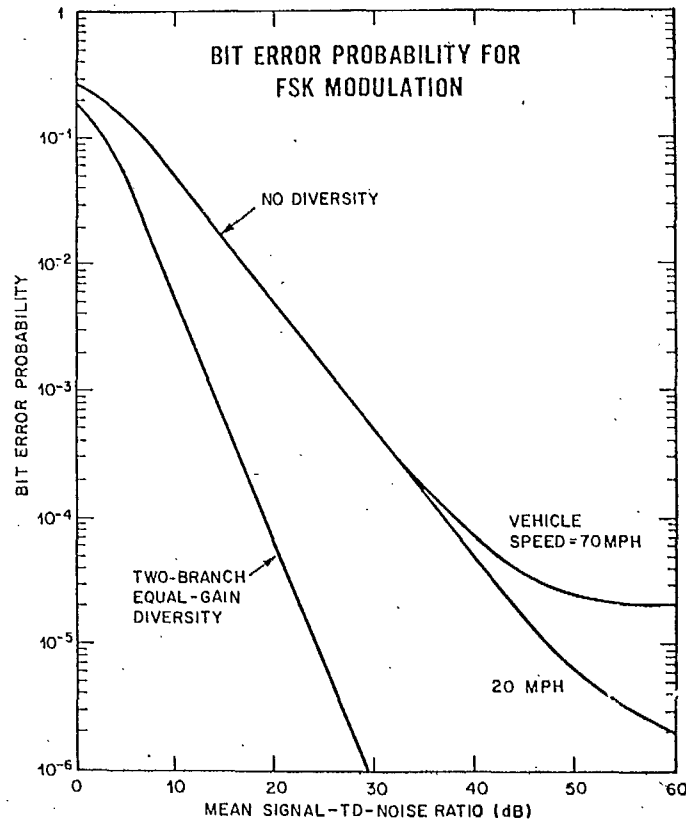


Fig. 42- Taux d'erreur d'un signal FSK.

### 2.1.9.2 Récepteur des mobiles

La technique précédente étant trop coûteuse pour être employée sur les unités mobiles, il a été décidé d'utiliser à la place une technique beaucoup plus simple mais nécessairement moins performante. Cette technique consiste à utiliser deux antennes de réception suffisamment éloignées l'une de l'autre pour recevoir des signaux corrélés le moins possible et à sélectionner l'antenne recevant le signal le plus intense [S18].

La figure 43 représente le schéma bloc du récepteur.

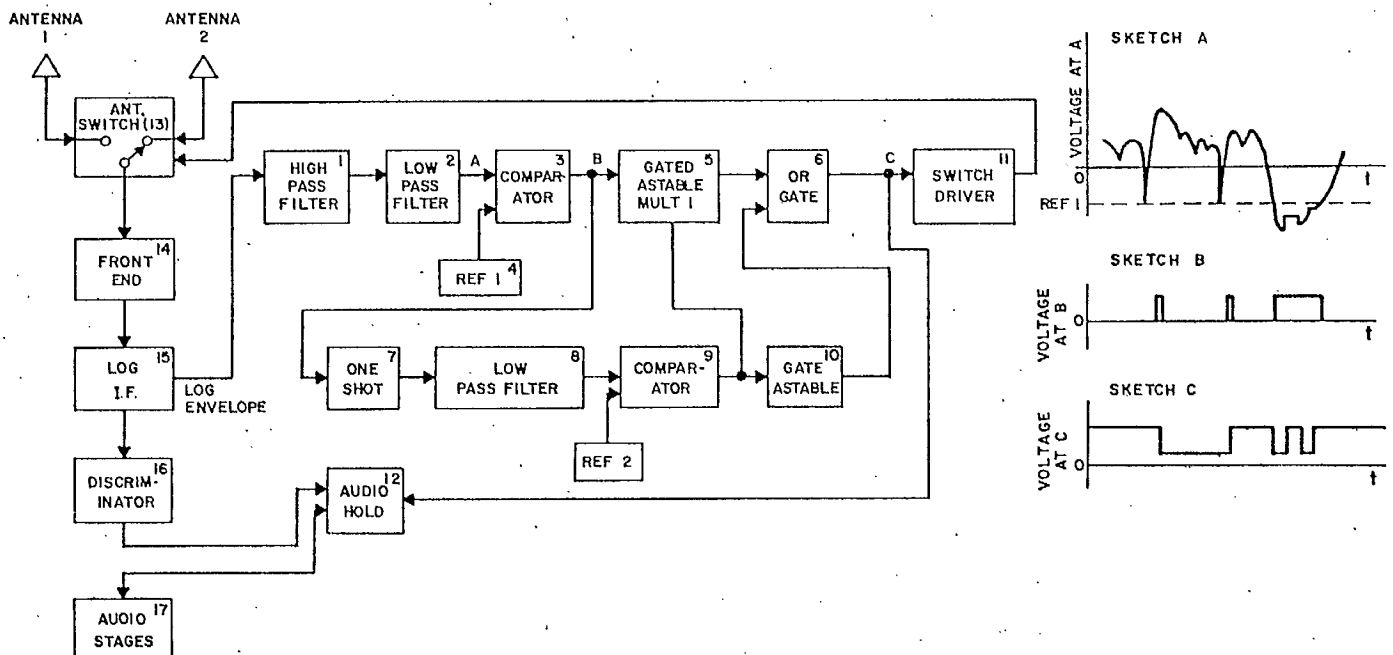


Fig. 43- Schéma bloc du récepteur mobile.

Dans le cas des mobiles, la séparation des antennes n'a besoin que d'être de l'ordre de quelques quart d'onde du signal reçu pour assurer une très haute décorrélation des deux signaux.

Un circuit logique additionnel à un récepteur conventionnel vérifie constamment le niveau de la porteuse reçue et le compare à sa valeur moyenne. Lorsque le niveau descend plus bas que 10 dB en-dessous de sa valeur moyenne, le circuit logique commute le récepteur sur l'autre antenne. Ce circuit essaie donc de brancher le récepteur sur l'antenne ayant le signal le plus intense.

La figure 44 donne une idée de l'amélioration possible du rapport signal sur bruit à la sortie du discriminateur en fonction du rapport C/N à l'entrée et cela, pour deux vitesses de déplacement du véhicule. Pour de hauts rapports C/N, le bruit prédominant est dû au signal FM aléatoire. L'amélioration est de 6 @ 8 dB. Pour des C/N moyens, l'amélioration est de 8 @ 10 dB alors que pour des C/N faibles, le circuit de commutation ne

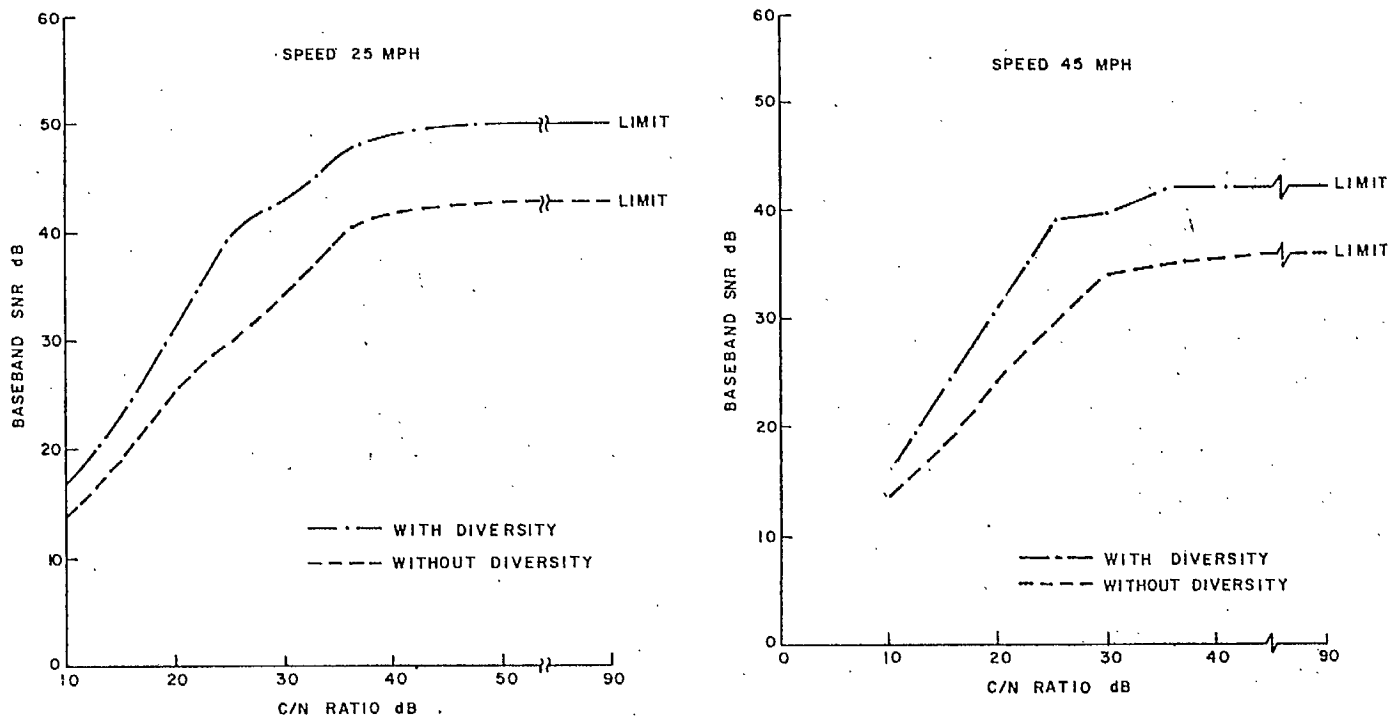


Fig. 44- Rapport S/N à la sortie du démodulateur vs rapport C/N à l'entrée pour deux vitesses de déplacement.

cesse de commuter d'une antenne à l'autre. Cette zone n'est pas rentable sur le plan rapport performance/prix.

La figure 45 montre l'effet produit sur le rapport S/N à la sortie du démodulateur d'un signal interférant dans la même bande. L'amélioration apportée sur le S/N varie de 4 dB ( $C/I = 10$  dB) à un maximum de 9 dB ( $C/I = 20$  dB) puis tombe à 7 dB ( $C/I = 30$  dB).

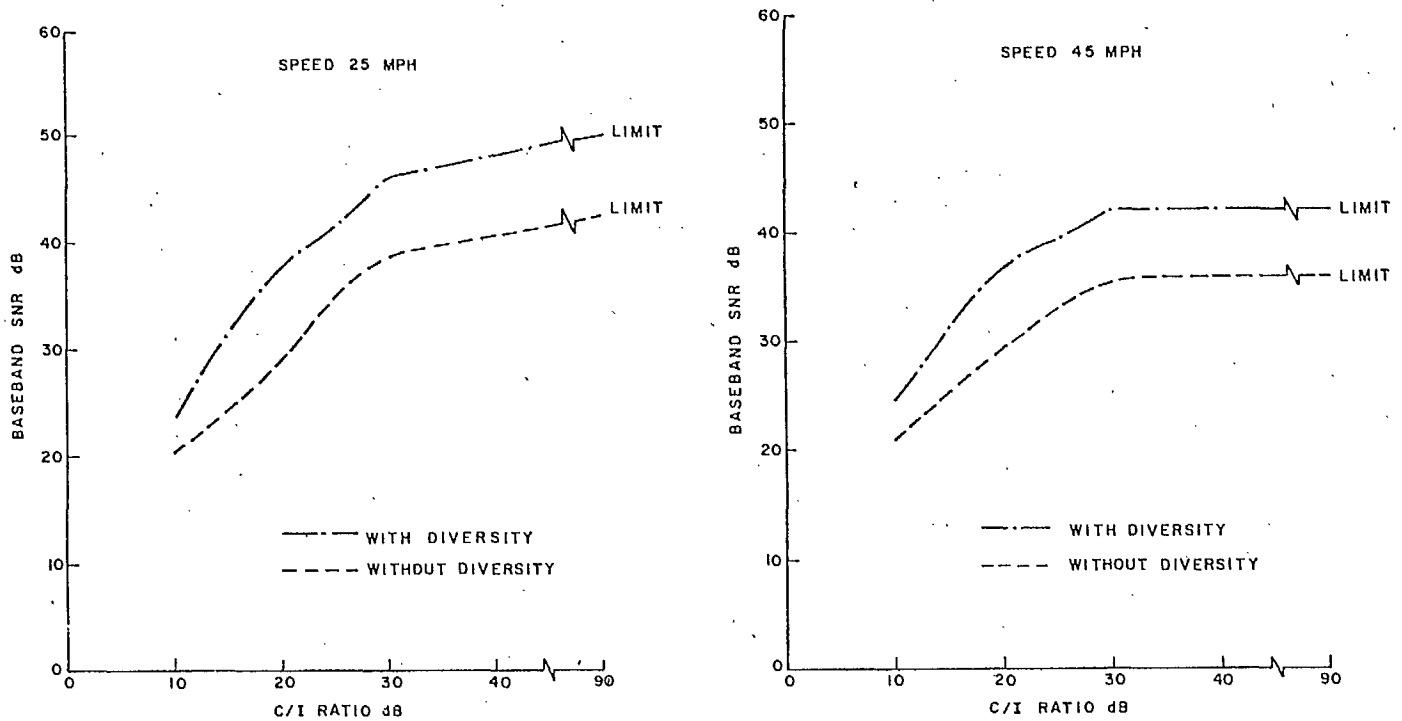


Fig. 45- Rapport S/N à la sortie du démodulateur vs rapport C/I à l'entrée pour deux vitesses de déplacement.

Comparant les figures 44 et 45, il est intéressant de noter qu'à rapports C/N et C/I identiques, le S/N résultant est à peu près 5 dB plus bas lorsque l'interférence est du bruit thermique plutôt qu'un signal d'interférence.

Très peu de résultats sont en fait disponibles quant à l'amélioration apportée par cette technique sur le taux d'erreur de la transmis-

sion des données à 10 Kbits/sec en FSK. Shortall [S18] a fait des essais à 100 b/s. Le résultat apparaît à la figure 46.

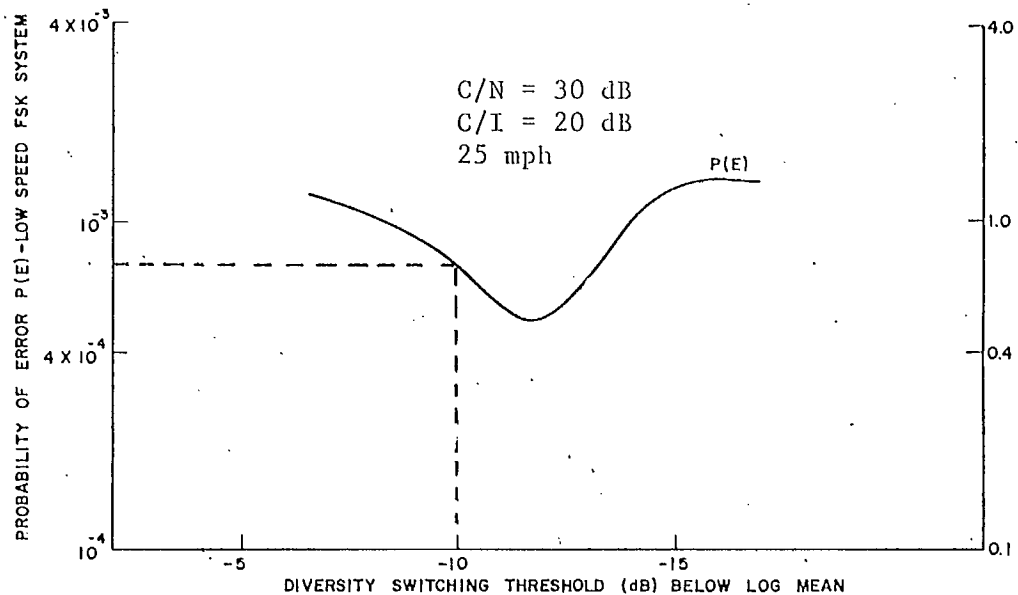


Fig. 46- Taux d'erreur d'un signal FSK vs seuil de décision.

Pour un seuil fixé à -10 dB, avec un  $C/N$  de 30 dB, le taux d'erreur serait du même ordre de grandeur que celui obtenu sans diversité! (Voir figure 42). Des tests effectués sur un signal PSK de 2400 b/s rapportent toutefois une amélioration importante des performances [S18]. La figure 47 illustre l'effet produit.

Un informateur nous a rapporté récemment que cette technique de réception au mobile ne serait pas retenue dans l'avenir, son coût étant trop élevé par rapport à l'amélioration apportée!



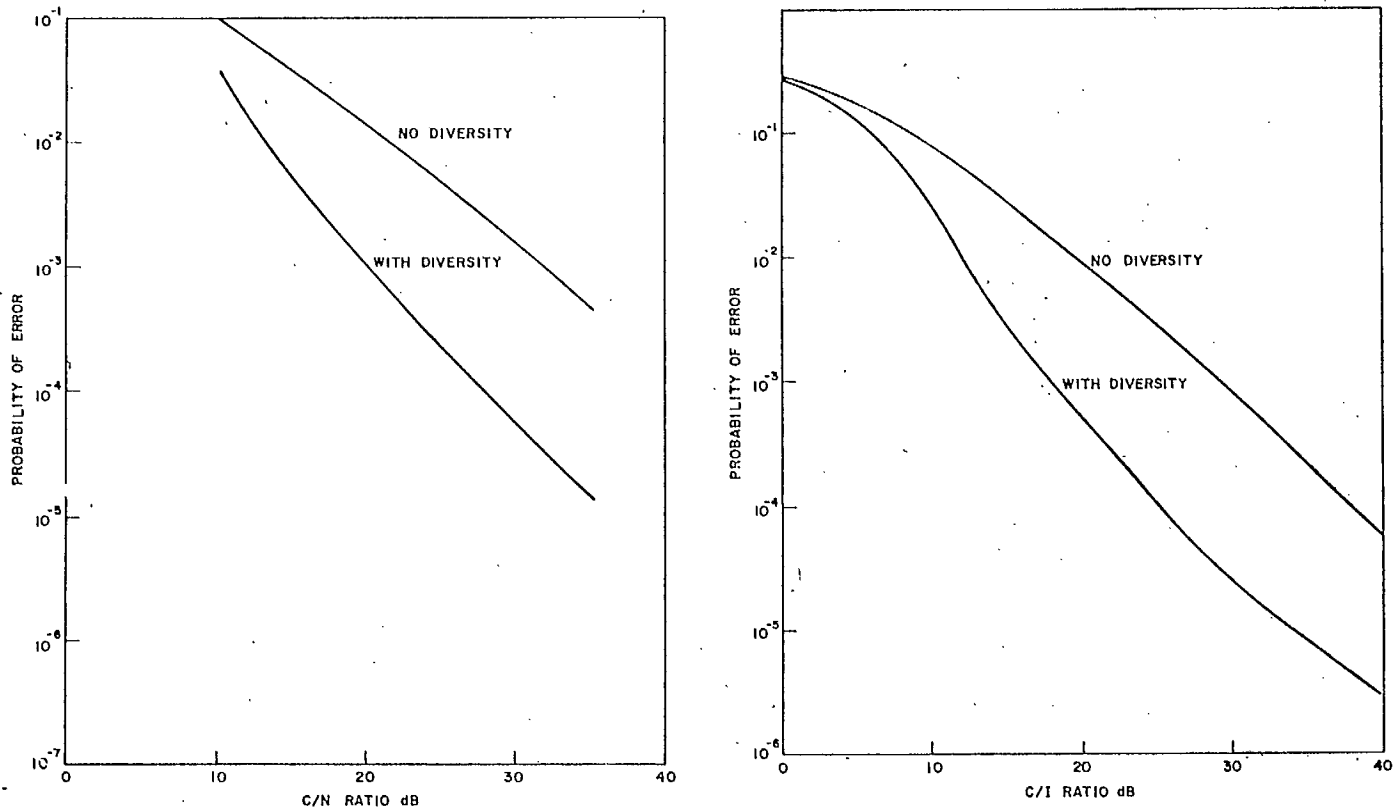


Fig. 47- Taux d'erreur d'un signal PSK à 2,400 b/s.

### 2.1.10 Performances du système

#### 1- Rapport signal sur bruit (S/N):

Des tests subjectifs ayant démontré que la qualité de transmission était de bonne à excellente, lorsque le rapport signal sur bruit (S/N) à l'antenne était de 18 dB ou plus, il a été décidé que le système devait présenter un tel rapport ou plus sur 90% de la zone couverte.

Utilisant des transmetteurs d'une puissance de 10 watts, tant aux postes de cellules que sur les mobiles, le rayon maximum d'une cellule fut ainsi fixé à 8 milles.

## 2- Rapport signal sur interférence (S/I)

Encore ici, partant de tests subjectifs, il a été décidé que le système devait présenter un rapport S/I de 17 dB ou plus sur 90% de la zone couverte.

Ceci fixe le taux de réutilisation des canaux. Utilisant une antenne omnidirectionnelle et des cellules de base de 8 milles de rayons, des réseaux de 12 cellules peuvent ainsi être formés. Si des antennes directionnelles de  $120^{\circ}$  sont employées, des réseaux de 7 cellules doivent être alors utilisés.

## 3- Taux d'erreur espéré:

- Taux des appels ratés:  $10^{-3}$  @ S/I = 15 dB. Moyenné sur toute la zone desservie par le MTSO, cela représente environ  $10^{-4}$  ce qui est consistant avec le taux existant sur le réseau domestique.
- Taux d'appels mal acheminés:  $10^{-7}$  pour un message. Ce taux doit être faible car avec 90,000 abonnés dont 45,000 à l'écoute, ceci correspond à une fausse réponse par 200 appels; cette fausse réponse devant être détectée et corrigée par le MTSO.
- Taux de mauvaise interprétation des messages acheminés sur les canaux de voies:  $10^{-5}$ . Ceci est équivalent à un mauvais acheminement d'un appel par le réseau et est consistant avec le taux existant sur le réseau domestique.

## 4- Trafic:

La saturation du système se produit pour les conditions suivantes:

- une demande d'accès/sec.,

- 0.6 demande d'accès/heure/usager,
- 0.8 recherche (page)/usager/heure dont la moitié restera sans réponse,
- 25 messages/sec/canal de service,
- 90,000 clients/canal de service.

## 2.2 LE SYSTEME DYNA TAC (Motorola)

Il s'agit d'un système cellulaire administré par l'American Radio Telephone Service Inc. (ARTS) présentement à l'essai dans la région de Baltimore, Washington. Motorola en est le concepteur ainsi que le fournisseur d'équipement.

Comme ce système ressemble beaucoup au AMPS décrit à la section précédente, nous nous bornerons uniquement à la description des différences majeures existant dans ce système.

### 2.2.1 Plan d'allocation des fréquences [M1]

La bande de fréquence allouée est partagée par trois groupes de canaux de 25 KHz de large; chacun des groupes étant décalé de  $8 \frac{1}{3}$  KHz par rapport aux deux autres, comme l'indique la figure 48.

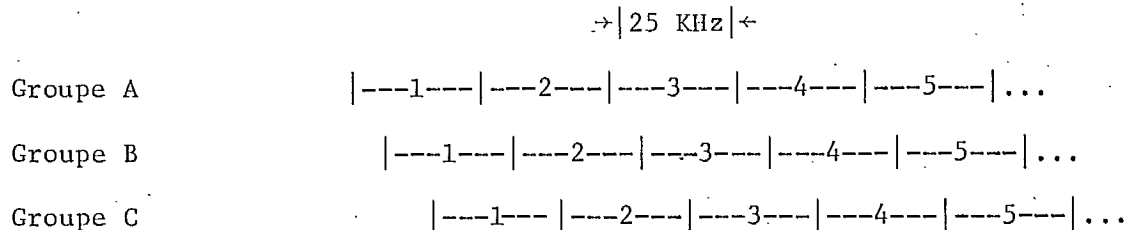


Fig. 48- Construction des groupes décalés.

Cette façon de faire permet d'éloigner beaucoup plus l'un de l'autre les canaux identiques d'un même groupe tout en utilisant la même largeur de bande totale. La figure 49 illustre à titre d'exemple, un réseau cellulaire formé d'agglomérations de 7 cellules. Nous constatons que l'emploi des trois groupes A, B et C décrits antérieurement, permet de remplacer les six transmetteurs ayant des canaux communs par six transmetteurs ayant des canaux adjacents.

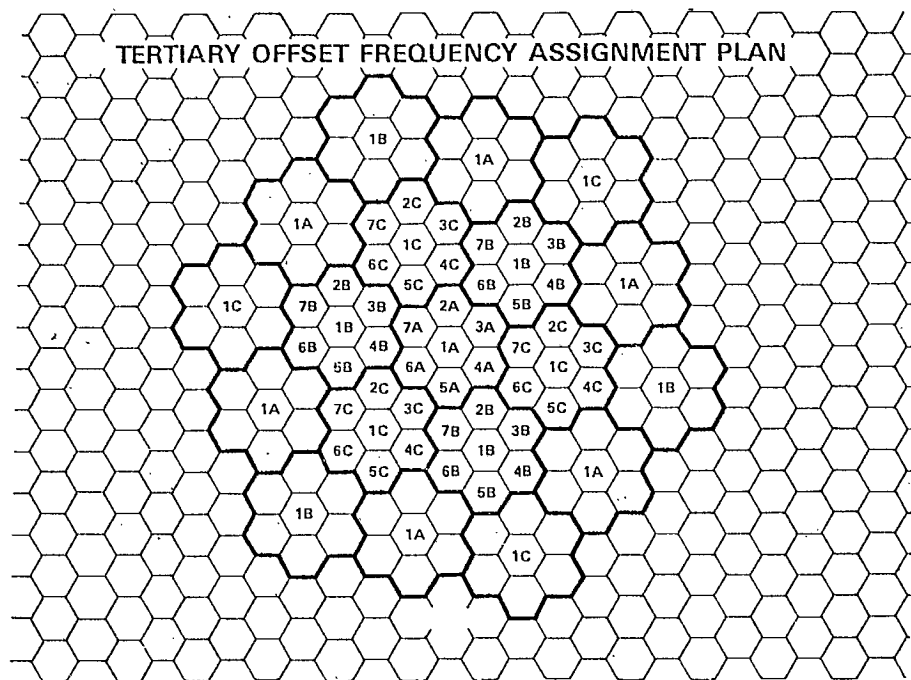


Fig. 49- Réseau cellulaire utilisant un plan tertiaire de décalage de fréquence.

### 2.2.2 Antenne directionnelle [S12]

Pour minimiser encore d'avantage l'effet de l'interférence en provenance des transmetteurs adjacents, la cellule hexagonale de base est subdivisée en 6 parties égales et desservie par 6 antennes directionnelles de  $60^\circ$ , localisées au centre (fig. 50).

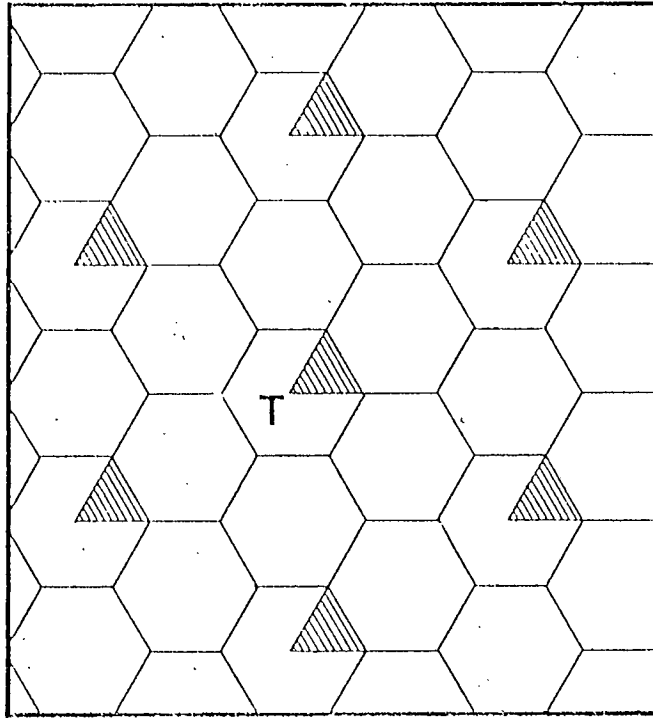


Fig. 50- Position des transmetteurs interférant.

### 2.2.3 Performances résultantes [M1]

Des simulations effectuées sur ordinateur ont permis de donner une idée des performances résultantes de l'utilisation d'un plan tertiaire d'allocation des fréquences. Les figures 51a et 51b illustrent les distributions cumulatives des niveaux S/I obtenues respectivement avec des cellules de base de 4 milles et de 2 milles de rayon. Quatre systèmes furent ainsi simulés:

- Système ayant un transmetteur central avec une antenne omnidirectionnelle.
- Système ayant des antennes directionnelles de  $120^{\circ}$  situées dans les coins.

Note: Ces deux systèmes correspondent au AMPS.

- Système ayant un transmetteur central avec une antenne omnidirectionnelle mais utilisant un plan tertiaire de réutilisation des fréquences.
- Même système mais dans lequel l'assignation des cellules s'effectue en tenant compte du niveau de signal reçu. Dans ce cas, le niveau d'interférence fut déterminé non seulement dans le sens base à mobile mais aussi dans le sens mobile à base.

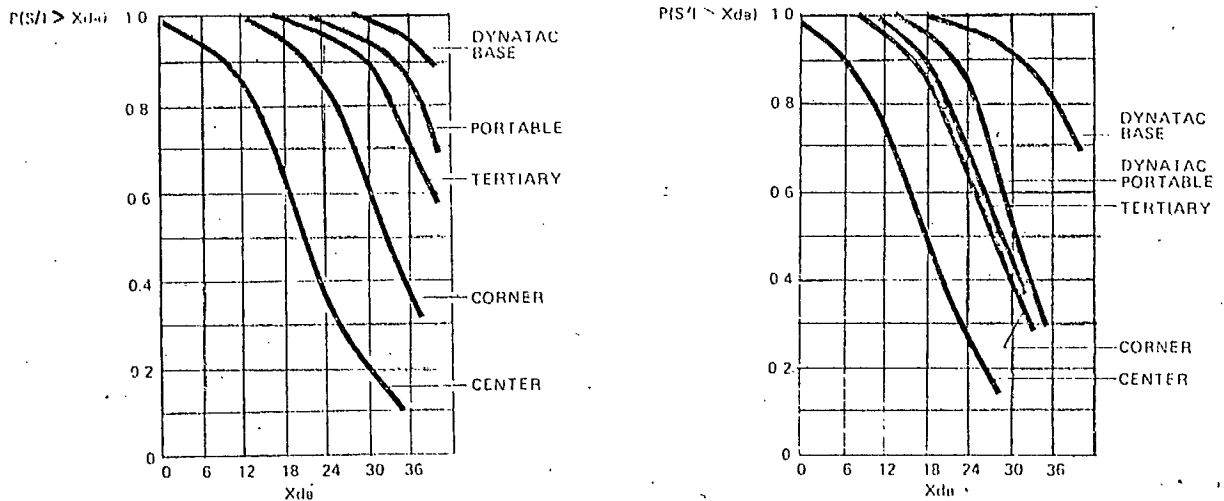


Fig. 51- Distribution cumulative des niveaux S/I.

#### 2.2.4 Réception par diversité [E8]

Encore ici, deux types différents de récepteurs à diversité sont à l'essai. Les postes de cellules utilisent des récepteurs à deux branches ( $m=2$ ) avec prédétection de rapport maximum alors que les récepteurs des unités mobiles utilisent deux antennes commutées comme dans le système AMPS. La figure 52 illustre le taux d'erreur résultant comparé au cas où un seul

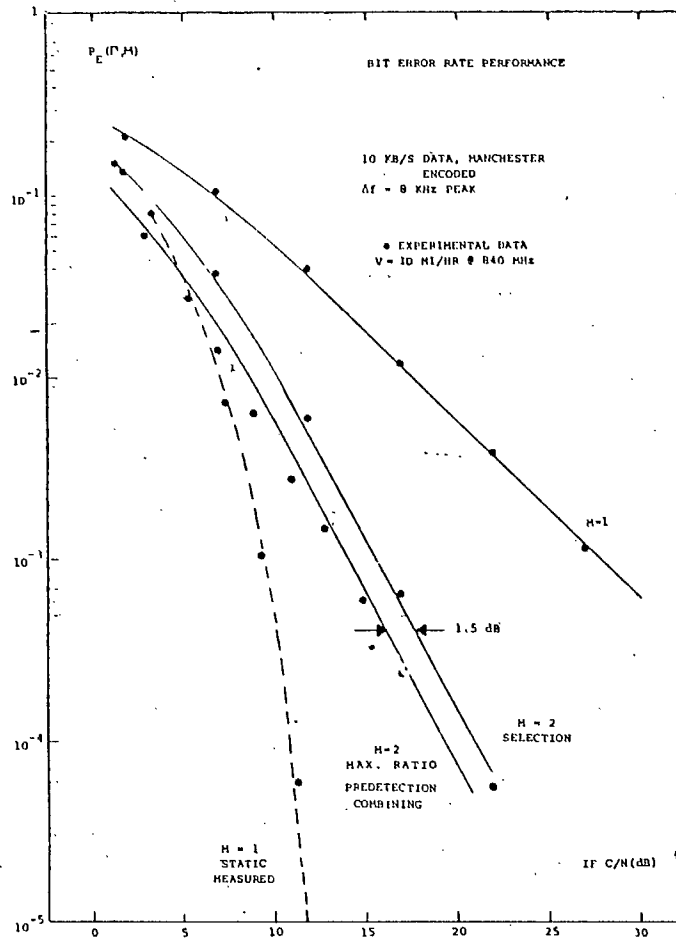


Fig. 52- Taux d'erreur résultant pour différents types de récepteurs.

récepteur est employé ( $M=1$ , trait plein) dans un canal de type Rayleigh ou dans un canal gaussien ( $M=1$ , train pointillé). La courbe "M=2 SELECTION" correspond à celle d'un récepteur dont le schéma bloc apparaît à la figure 53. Selon Motorola, ce type de récepteur serait à l'essai par l'A.T.& T. dans la région de Chicago!

Enfin, la figure 54 donne une idée du rapport S/N à la sortie du démodulateur pour divers types de récepteurs.

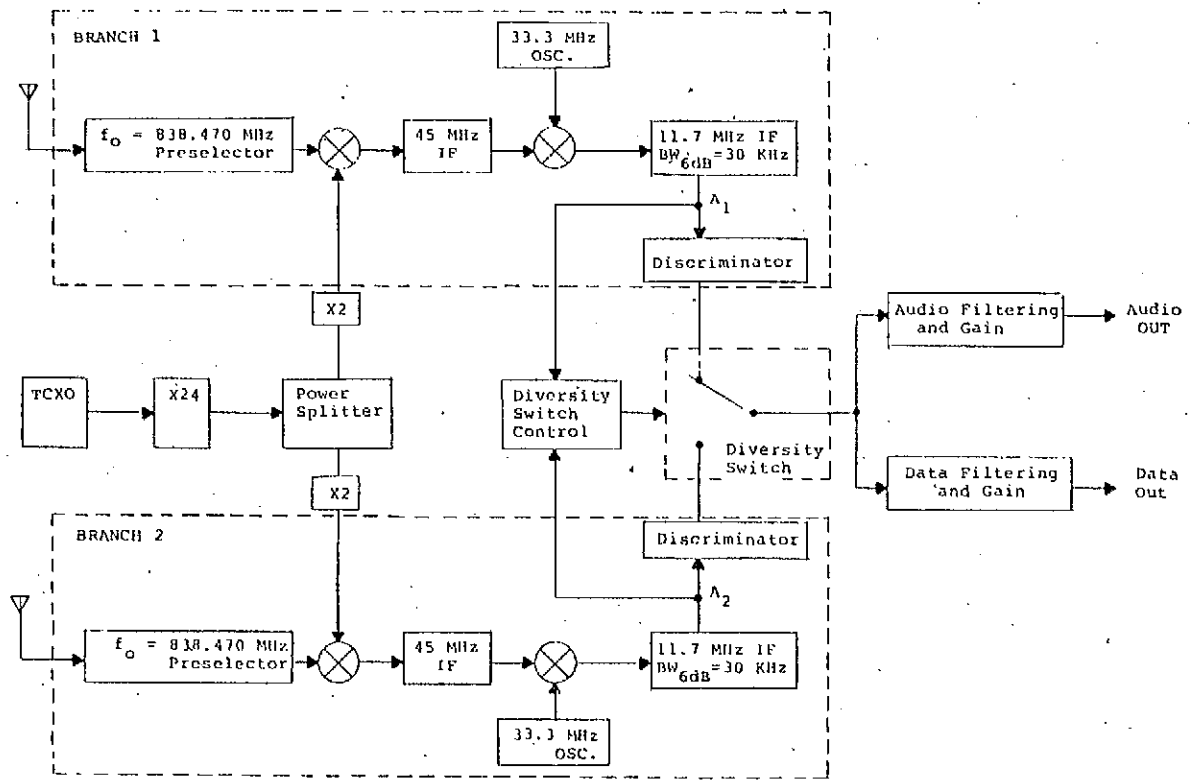


Fig. 53- Schéma bloc d'un récepteur à deux branches commutables.



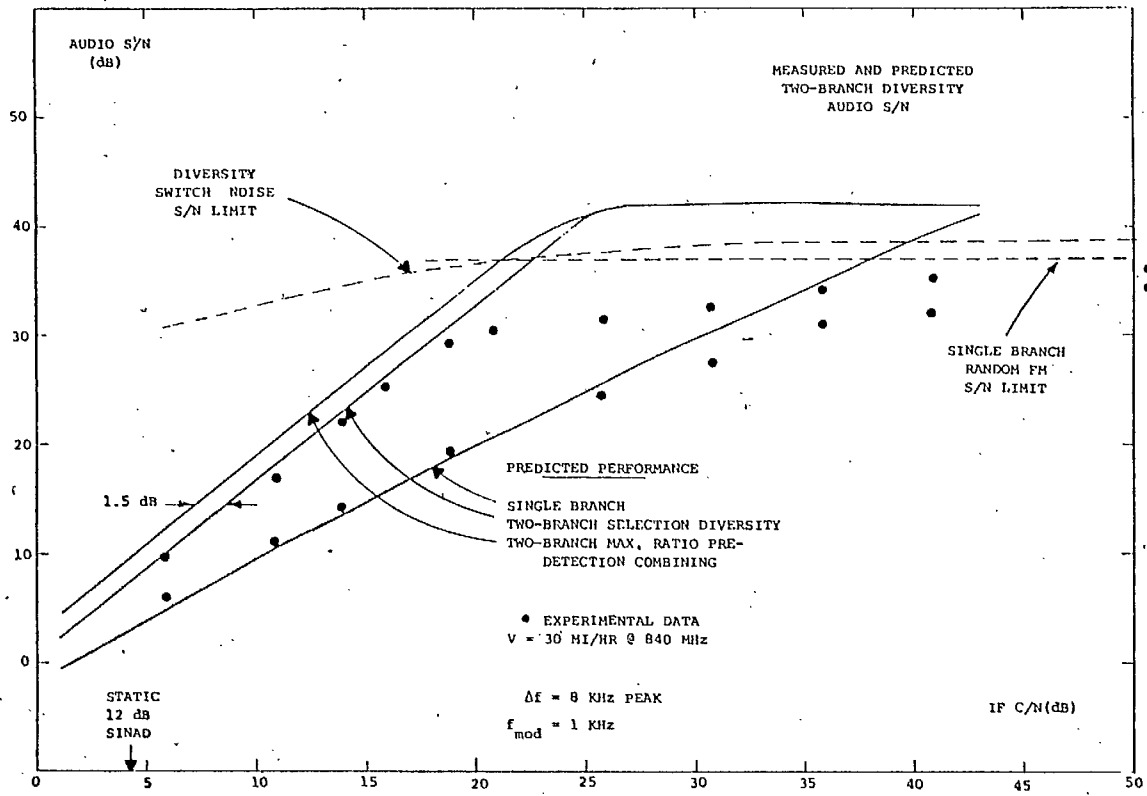


Fig. 54- Rapport S/N à la sortie du démodulateur en fonction du rapport C/N à la fréquence intermédiaire pour divers types de récepteurs.

### 2.3 LE SYSTEME MILLICOM [A12]

Selon nos premières informations, une compagnie new-yorkaise, Millicom, aurait fait application auprès du FCC pour l'obtention d'une licence lui permettant de développer un système de communication cellulaire dans la bande de 820 @ 880 MHz. Le système proposé nécessiterait initialement uniquement 12.5 MHz de largeur de bande sur les 40 MHz de disponibles. En plus de pouvoir être utilisé comme un téléphone conventionnel, il sera possible d'y transmettre des données à un rythme maximum de 8 Kbits/s.

Le coût prévu de l'équipement mobile est de \$1000.; les frais d'installation de \$100. Le coût du service serait de \$25. par mois pour les 120 premières minutes d'utilisation et de 10 cents la minute additionnelle.

### 2.4 LE SYSTEME LMTS (NTT, Japon)

Un système de télécommunication radio-mobile cellulaire terrestre existe également au Japon. Il est connu sous le nom de système LMTS (Land Mobile Telephone System). Il fut développé par le groupe ECL (Electrical Communication Laboratories), une des divisions de la NTT (Nippon Telegraph & Telephone).

#### 2.4.1 Historique

Le tableau 5 résume les principales étapes historiques franchies par ce système.

| DATE              | EVENEMENT   |
|-------------------|---|
| 1967<br>@<br>1970 | - Conception du système basé sur les résultats de mesures.<br>- Réalisation de l'équipement nécessaire à un premier test. |
| 1971              | - Test en laboratoire de l'équipement.<br>- Installation sur les sites de test dans la région métropolitaine de Tokyo.    |
| 1973              | - Premier essai sur le terrain.   |
| 1974<br>@<br>1975 | - Modification et seconde réalisation de l'équipement.<br>- Installation aux mêmes sites que lors des premiers essais.    |
| 1976              | - Deuxième essai avec 24 unités mobiles.  |
| Printemps<br>1979 | - Début du service commercial couvert par 13 cellules (600 Km <sup>2</sup> ) dans la région métropolitaine de Tokyo.      |

Tableau 5

#### 2.4.2 Vue d'ensemble du système

Comme le système diffère quelque peu de celui des américains, il nous a semblé opportun d'en décrire les grandes lignes.

La figure 55 donne une vue d'ensemble du système et de son interconnection avec le réseau téléphonique domestique. Comme pour le système américain, la surface totale à desservir est subdivisée en réseaux d'hexagones nommés "zones". Chaque zone radio possède une station de base pour communiquer avec les mobiles. Elle se nomme MBS (Mobile Base Station). Le rôle des MBS est de transmettre et de recevoir les signaux radio et de mesurer la qualité de transmission. Toutes les zones sont regroupées en plusieurs agglomérations, chacune d'elles étant supervisée par une station de contrôle nommée MCS (Mobile Control Station). Contrairement au système américain, le MCS ne sert pas d'interface entre les MBS et le réseau

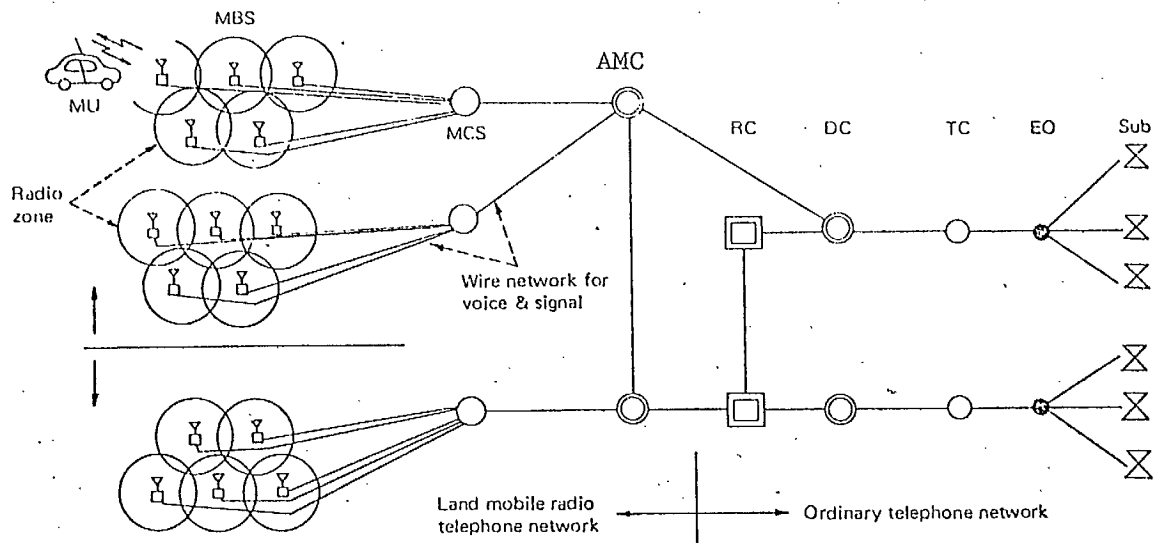


Fig. 55- Vue d'ensemble du système LMTS japonais.

domestique comme le faisait le MTSO de Bell. Le MCS se raccorde plutôt à un AMC (Automobile Switching Center) qui lui, est un système de commutation conventionnel type D-10 ESS modifié pour effectuer des opérations nouvelles telles la commutation d'appel destinés ou originant d'abonnés mobiles, mise en mémoire des numéros d'abonnés mobiles, supervision des appels, etc...

2.4.3 Allocation des fréquences [K8]

Le tableau 6 résume la situation.

|   |   |  |
|---|---|--|
| Nombre de canaux maximum  | = | 1,000 paires de canaux                     |
| Largeur de bande de chaque canal                                      | = | 25 KHz                                     |
| Bande de fréquence de transmission des unités mobiles                 | = | Groupe I : 925 MHz @ 940 MHz (600 canaux)  |
|   |   | Groupe II : 915 MHz @ 930 MHz (600 canaux) |
| Bande de fréquence de transmission des postes de cellules             | = | Groupe I : 879 MHz @ 885 MHz (600 canaux)  |
|   |   | Groupe II : 860 MHz @ 875 MHz (600 canaux) |
| Espacement entre même numéro de canal de transmission et de réception | = | 55 MHz                                     |

Tableau 6

#### 2.4.4 Capacité du système

Le tableau 7 donne une idée de la capacité maximale de ce système.

|   |   |
|---|---|
| Nombre maximum de canaux radio par station de base (MBS)      | = 128 canaux/MBS  |
| Nombre maximum de MBS reliées à une station de contrôle (MCS) | = 32 MBS/MCS  |
| Nombre maximum de MCS reliées à un AMC.                       | = 6 MCS/AMC   |
| Nombre maximum d'appels acheminables par heure par AMC        | = 30,000 BHC (Busy Hour Call)<br>(1,500 Erlang)                         |
| Nombre d'abonnés prévus en 1985                               | = 100,000<br>(1% des véhicules enregistrés dans le Tokyo métropolitain) |

Tableau 7

#### 2.4.5 Particularités du système

Nous décrirons dans cette section les particularités que comporte ce système par rapport au AMPS.

##### 2.4.5.1 Signalisation sur les canaux de service

Contrairement au système AMPS où un débit numérique de 10 Kbits/sec est employé, le système japonais n'emploie qu'un débit de 300 bits/sec. Le signal NRZ est encodé en biphase (Manchester) comme pour le AMPS et module la porteuse en FSK.

#### 2.4.5.2 Canal de service commun

Contrairement au système AMPS où chaque poste de cellule, à l'intérieur d'une agglomération donnée, possédait son propre canal de service, le système japonais utilise un seul canal de service par agglomération de postes de cellules se rapportant à une même station de contrôle. Un léger décalage existe toutefois sur la valeur de la fréquence porteuse utilisée d'un poste de cellule à l'autre. Ce décalage est symétrique par rapport à la valeur nominale de la fréquence porteuse associée à ce numéro de canal et est de l'ordre de 500 Hz @ 2 KHz. La raison de ce décalage est fournie à la section suivante.

#### 2.4.5.3 Procédure d'appel vers un mobile

Le numéro du mobile appelé est transmis simultanément sur tous les canaux de service de tous les postes de cellules desservant la région où le mobile est enregistré comme pour le AMPS. Toutefois, c'est la station de contrôle qui envoie de façon synchrone, à tous les postes de cellules qu'elle dessert, le message biphase à transmettre. Chacun des postes de cellule n'agit alors, dans ce cas, que comme répéteur. Cette technique porte le nom de "Simulcast Digital Radio Paging". Elle permet d'améliorer de beaucoup les performances d'un système soumis à des affaiblissements de type Rayleigh.

Hattori [H8] a récemment apporté une explication théorique valable de ce principe. Son étude théorique collè d'ailleurs assez près aux résultats expérimentaux qu'il avait lui-même trouvés antérieurement [H20].

La figure 56 donne une idée de la diminution théorique possible du taux d'erreur résultant à la sortie d'un récepteur FM recevant deux si-

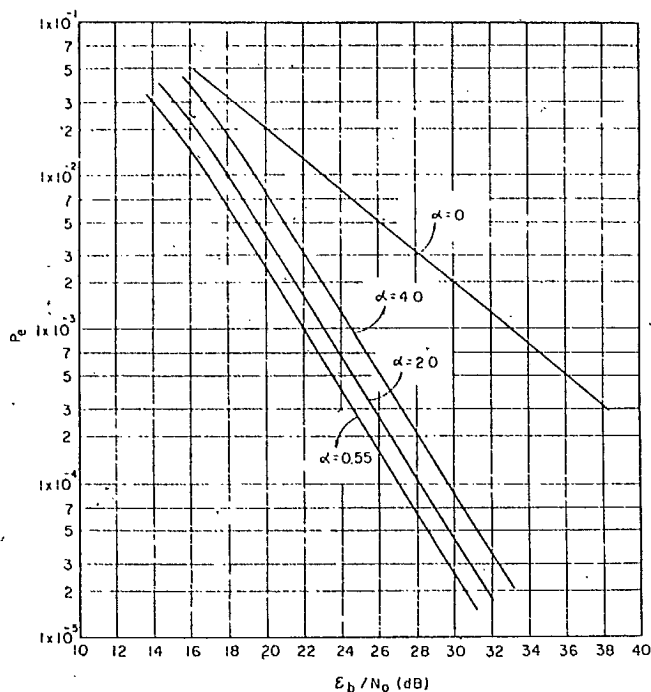


Fig. 56- Taux d'erreur en fonction du rapport  $E_b/N_0$  pour divers valeurs de  $\alpha = \Delta f T_b$ .

gnaux FM de même amplitude, décalés en fréquence d'une valeur  $\Delta f$  et modulés de façon synchrone par le même train de bits aléatoire de fréquence  $1/T_b$ , le détecteur FM employé étant de type "détection d'énergie".

Comme l'indique la figure 57, la valeur optimale de  $\alpha$  est de l'ordre de 0.55 et elle est très peu fonction du rapport  $E_b/N_0$ . La figure 56 nous indique que pour un  $\alpha$  optimum de 0.55, un gain de 10 dB est obtenu, à un taux d'erreur de  $10^{-3}$ , comparé au cas où il n'y a aucun écart de fréquence ( $\alpha=0$ ) entre les deux porteuses.



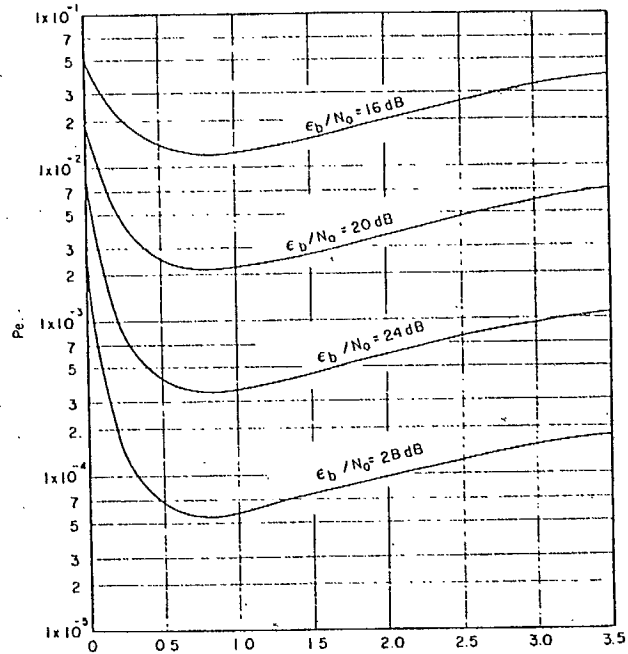


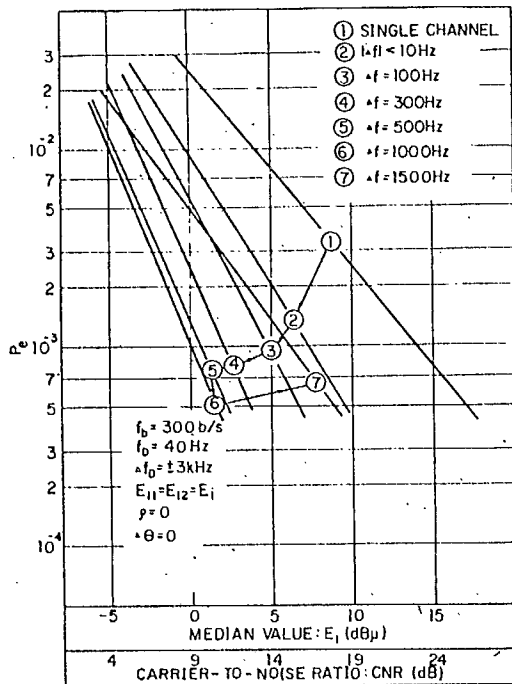
Fig. 57- Taux d'erreur en fonction de  $\alpha = \Delta f T_b$  pour diverses valeurs de  $E_b/N_0$ .

Les figures 58a et 58b présentent les mêmes séries de courbes résultant d'expériences pratiques. Le récepteur employé est celui utilisé dans le système cellulaire japonais. Ses principales caractéristiques apparaissent au tableau 8.

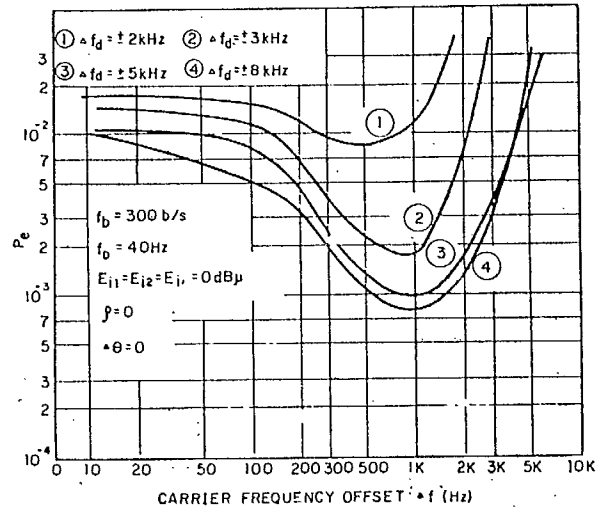
|                         |  |
|-------------------------|--|
| Type de récepteur       | = FM   |
| Démodulateur            | = Limiteur-discriminateur                        |
| NF (Noise figure)       | = 9.8 dB   |
| Fréquence intermédiaire | = Double   |
| Filtres IF              | = Butterworth, $B_{3\text{dB}} = 16 \text{ KHz}$ |
| Filtre des données      | = Gaussien, $B_{3\text{dB}} = 313 \text{ Hz}$    |

Tableau 8- Caractéristiques du récepteur mobile.

Les conditions de tests étaient telles qu'elles simulaient la réception de deux signaux FM d'énergie égale ( $E_{i1} = E_{i2} = E_i$ ) modulés de façon synchrone ( $\Delta\theta=0$ ) par un train de bit de 300 bits/sec. Lorsque fixe, la déviation de fréquence  $\Delta f_D$  était de  $\pm 3$  KHz. Ces signaux étaient soumis de façon non corrélée ( $\rho=0$ ) à des affaiblissements de type Rayleigh. La fréquence Doppler  $f_D$  choisie, soit 40 Hz, correspondait à celle d'un véhicule se déplaçant à 48 Km/hr @ 900 MHz.



(a)



(b)

Fig. 58- (a) Taux d'erreur mesuré en fonction du rapport C/N pour diverses valeurs de  $\Delta f$ .

(b) Taux d'erreur mesuré en fonction de  $\Delta f$  pour diverses valeurs de déviations  $\Delta f_D$  de fréquence porteuse.

La figure 59 montre de quelle façon les performances se dégradent au fur et à mesure que le rapport énergétique  $E_{i1}/E_{i2}$  augmente. A la limite, lorsque ce rapport tend vers l'infini, les performances tendent vers celles obtenues par la transmission d'un seul signal. Comme l'indique

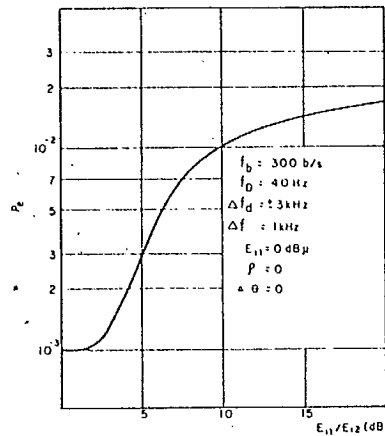


Fig. 59- Taux d'erreur en fonction du rapport  $E_{11}/E_{12}$ .

Hattori [H20], ceci correspond au cas où le mobile se trouve de plus en plus près de l'antenne d'émission d'un des postes de cellules. Sous ces conditions, le signal reçu est suffisamment intense pour l'obtention d'un taux d'erreur faible sans avoir recours à quelque stratégie que ce soit. Un rapport énergétique unitaire correspond au cas où le mobile serait aux frontières de recouvrement de deux zones, c'est-à-dire, là où les signaux reçus sont faibles et le taux d'erreur suffisamment élevé pour nécessiter des mesures correctrices. C'est particulièrement dans ces endroits que la technique du "simulcast digital radio paging" est efficace.

Mentionnons, enfin, avant de clore ce sujet, que ce même Hattori a récemment développé une nouvelle technique de "simulcast" ne nécessitant aucun décalage relatif sur les fréquences porteuses [H13]. Sous certaines conditions optimales, les performances obtenues sont les mêmes que celles d'un système utilisant deux récepteurs combinant les signaux reçus dans un rapport maximum (two-branch maximal ratio combining receiver).

#### 2.4.5.4 Procédure de relaiage d'un appel (Hand-off)

Chaque récepteur de canaux vocaux actifs relève à toutes les 8 secondes une mesure du rapport signal sur bruit présent. Lorsque ce dernier descend en-dessous d'un seuil pré-établi, un message est envoyé au MCS par le MBS en question. Le MCS commande alors à tous les MBS adjacents de mesurer la qualité de signal reçu sur le canal concerné. Chaque MBS est en effet doté d'un récepteur à synthétiseur capable de couvrir tous les canaux. Le rôle de ce récepteur est uniquement de mesurer la qualité du signal. Une fois que chaque MBS a transmis, codé en binaire, le résultat de sa mesure, le MCS décide si oui ou non un relaiage est de mise. Comme pour le AMPS, des signaux de commande sont transmis au mobile concerné en interrompant momentanément les conversations. Le temps total d'interruption pour effectuer un relaiage est inférieur à 0.8 seconde.

#### 2.4.5.5 Puissance d'émission

Il s'agit, contrairement au système AMPS, d'un système débalancé. La puissance d'émission des MBS est de 25 watts alors que celle des unités mobiles est de 5 watts nominale, atténuable au besoin de façon télécommandée par les MBS suivant le niveau de signal reçu.

#### 2.4.6 Tableaux récapitulatifs

Les trois tableaux suivants résument les divers paramètres et performances du système.

| Items                                       |                 | Features  |
|---|-----------------|---|
| Radio frequency                             |                 | 800 MHz band  |
| Number of channels                          |                 | 1,000   |
| Bandwidth                                   |                 | 50 MHz  |
| Channel spacing                             |                 | 25 kHz  |
| Modulation                                  |                 | Narrow band PM (peak 5 Rad.)  |
| Radio zone radius                           |                 | Small zone (urban 5 km, rural 10 km typical)  |
| Transmitter power                           |                 | Base station 25 W, Mobile unit 5 W  |
| Signaling                                   | Control signals | Digital signal (300 b/s), also tone signals partially   |
|   | Dialing signals | Tone signal (serial pair tone/digit)  |
| Number of mobile unit accessible channels   |                 | 600 (Frequency synthesizer)   |
| Mobile unit power dissipation               |                 | nearly 10 W (waiting), nearly 50 W (transmitting)   |
| Mobile unit volume and weight               |                 | nearly 7,000 cc, nearly 10 kg   |
| Receiver sensitivity (20 dB noise quieting) |                 | Base station -1 dB $\mu$<br>Mobile unit -2 dB $\mu$ (not transmitted)<br>0 dB $\mu$ (transmitted) |

Tableau 9- Spécifications du système.

| Item                              | Specifications  |
|-----------------------------------|---|
| Transmitter frequency coverage    | 25 MHz in 800 MHz band  |
| RF channel spacing                | 25 kHz  |
| Transmitter power and stability   | 25 W $\begin{matrix} +0.5 \\ -2.0 \end{matrix}$ dB/year                                 |
| Frequency stability               | Tx : $\pm 0.5$ ppm<br>ATx, PTx : $\pm 0.15$ ppm   |
| Carrier to noise ratio (C/N)      | $\geq 70$ dB  |
| Harmonic and spurious emissions   | $\leq 60$ dB to carrier   |
| Spectrum noise suppression        | $\geq 70$ dB to carrier   |
| Intermodulation response          | $\leq 60$ dB  |
| Modulation                        | Voice : PM<br>Data : FM   |
| Maximum frequency deviation       | $\pm 5$ kHz   |
| Signal to noise ratio (S/N)       | $\geq 45$ dB  |
| Modulation noise and distortion   | $\leq -25$ dB to signal   |
| Modulation filter                 | Voice : splatter filter<br>$60 \log (f/3)$ dB<br>Data : 2nd order<br>Butterworth filter |
| Operated temperature and humidity | +5°C ~ +40°C, 80%   |
| Automatic power control (APC)     | 25 W constant   |

Tableau 10- Spécifications des transmetteurs.

| Item  | Specifications                           |              |     |
|---|--|--------------|-----|
|   | Rx                                       | PRx<br>ARx   | SRx |
| Receiver frequency coverage                   | 25 MHz in 800 MHz band                   |              |     |
| RF channel spacing                            | 25 kHz                                   |              |     |
| Local frequency stability                     | $\pm 0.5$ ppm                            |              |     |
| RF sensitivity at 20 dB NQS                   | -114 dBm (NF 10 dB)                      |              |     |
| Spurious response                             | $\leq -70$ dB                            |              |     |
| Protection against single-signal interference | $\geq 70$ dB                             | $\geq 65$ dB |     |
| Intermodulation response                      | $\geq 70$ dB                             |              |     |
| Selectivity band at the 70 dB down point      | $\leq \pm 16$ kHz<br>at center frequency |              |     |
| Received band at the 6 dB down point          | $\leq \pm 8$ kHz<br>at center frequency  |              |     |
| Demodulation                                  | PM                                       | FM           | PM  |
| Signal to noise ratio (S/N)                   | $\geq 45$ dB                             | $\geq 40$ dB |     |
| Demodulation noise and distortion             | $\leq -25$ dB to signal                  |              |     |

Tableau 11- Spécifications des récepteurs.

### 3- Proposition de standardisation

Devant l'éventuelle prolifération de système de télécommunication de type cellulaire non compatible les uns avec les autres, l'Electronic Industries Association (EIA) américaine a déposé une proposition au mois de janvier 1980, visant à fixer des spécifications précises sur le format de transmission des divers messages utilisés dans de tels systèmes.

La majorité des standards proposés sont ceux employés dans le système AMPS du Bell.

## COMMUNICATIONS MOBILES PAR SATELLITE

INTRODUCTION

L'allocation de nouvelles bandes de fréquence et l'implantation du concept cellulaire permettent de reporter de quelques années le problème du manque de canaux disponibles pour les communications mobiles. Par contre, ces développements n'apportent rien en ce qui concerne la disponibilité géographique du service mobile. Actuellement, le service mobile n'est disponible que dans les grandes villes et le long d'autoroutes très importantes et l'on n'envisage pas que cette situation pourra changer. Ainsi, aux Etats-Unis, l'ATT prévoit desservir, par le système mobile cellulaire terrestre, 75 grandes villes en 1990; ceci laisse environ 150 autres villes sans le service et même si toutes les villes étaient desservies la zone géographique impliquée ne représenterait encore que 10% du territoire américain et seulement 50% de la population totale. Au Canada, Bell projette de desservir uniquement les villes de Toronto, Montréal, Ottawa et Québec d'ici les 10 prochaines années. Cette situation provient de ce que le système cellulaire est relativement coûteux et ne s'avère rentable que dans les régions où la densité de population est forte.

C'est la raison pour laquelle plusieurs études proposent un système de communications mobiles par satellite pour desservir tout le continent nord-américain. Ce système devrait être conçu comme complémentaire au réseau cellulaire terrestre et, en ce sens, permettrait la couverture



des banlieues, des zones rurales et même des zones à peu près inhabitées comme le Nord Canadien. Les projections actuelles tendent à démontrer qu'un tel système pourrait devenir commercialement viable vers la fin des années 90.

Jusqu'à maintenant, les recherches effectuées sur les systèmes de communications mobiles par satellite peuvent être classifiées selon les grandes lignes suivantes:

1) Les analyses et prédictions de marché

Cette catégorie inclut les études sur les implications sociales, sur les genres de services et le trafic associé à ces différents types de services, sur les configurations de systèmes et les coûts qui en résulteraient. Toutes ces études démontrent qu'il est logique de développer le système par satellite et qu'il s'agit probablement là de la seule solution qui permettrait de répondre à une demande toujours croissante pour des communications mobiles sur toute l'étendue du territoire.

2) Les bandes de fréquence possibles

Compte tenu du problème de compatibilité avec le système terrestre actuel, la plupart des études suggèrent des allocations dans la bande de 800-900 MHz, recommandations qui ont été sanctionnées lors du "World Administrative Radio Conference" de 1979. Pour la station terrestre de contrôle qui devra supporter un trafic important, on considère des bandes de fréquence plus élevées.

3) Les démonstration de systèmes mobiles par satellite

Utilisant du matériel existant et les satellites ATS-1, ATS-3 et ATS-6, plusieurs grandes corporations ont effectué des démonstrations permettant de simuler différentes catégories d'usager. Ainsi par exemple,

G.E. a fait la preuve qu'il était possible, avec un satellite, non seulement d'établir des liaisons fiables avec un véhicule mais aussi de déterminer de façon très précise sa position géographique.

#### 4) Les études de systèmes

De nombreuses recherches ont déjà été effectuées sur les méthodes de modulation possibles, les algorithmes de contrôle et les techniques d'accès. On s'entend généralement pour définir le système optimum comme étant celui qui permettrait:

- a) Une couverture totale du territoire;
- b) Une grande capacité et une faible probabilité de blocage;
- c) Une bonne flexibilité et une capacité d'adaptation à des augmentations importantes de trafic;
- d) Un risque minimal de développement pour le satellite et les équipements terminaux;
- e) L'utilisation de terminaux simples d'opération.

Ce chapitre traitera des principaux problèmes prévus dans le développement de systèmes de communications par satellite pour les besoins du service mobile. Une première partie portera sur les questions de trafic; en seconde partie, on discutera des méthodes de modulation alors que la troisième partie examinera la question de l'accès et du contrôle. En dernier lieu, on résumera les principales caractéristiques de quelques systèmes ayant déjà été proposés.

#### 1. ANALYSE DU TRAFIC

La conception d'un système de communication par satellite implique une analyse sur les usagers potentiels qui permette de caractériser

leurs besoins en termes de types de services, de qualité de service et de trafic anticipé. Deux stratégies sont alors possibles. Soit que l'on se base sur les prévisions de trafic pour déterminer un nombre maximum des canaux nécessaires en fonction d'une qualité de service donnée. Soit que l'on spécifie au départ un nombre de canaux disponibles et une qualité de service précise et l'on pourra ainsi déterminer un nombre acceptable d'utilisateurs pour le système. Actuellement, il n'existe pas beaucoup de données sur la clientèle potentielle d'un système de communications mobiles par satellite et c'est pourquoi, le plus souvent, on procède à partir de statistiques obtenues pour des petites régions et l'on extrapole ces statistiques pour les appliquer à tout le continent nord-américain; ou encore, on part de données sur le service mobile actuel que l'on adapte à un contexte différent. Les estimés ainsi obtenus ne sont en général pas trop précis quoiqu'ils puissent être assez réalistes.

En communications, l'intensité de trafic se mesure en "erlangs", définis comme le produit du taux d'arrivée du trafic par la durée moyenne d'un appel. Les unités utilisées sont les appels seconde par seconde. Par exemple, un taux de trafic de un appel par seconde lorsque la durée moyenne des appels est de une seconde donne un erlang. En fait, l'intensité de trafic en erlang permet de caractériser le taux d'occupation d'un canal et, par conséquent, de déterminer le nombre des canaux requis.

On utilise deux modèles différents pour évaluer le trafic dans des systèmes de communications. Dans le premier modèle, l'abonné qui trouve tous les canaux engagés, annule son appel et n'effectue pas d'autre tentative immédiatement. La probabilité de trouver tous les canaux occupés est appelée "probabilité de blocage". Normalement, on suppose que les appels arrivent de façon aléatoire dans le temps et que la durée

des appels est constante et normalisée à une valeur arbitraire; alors la probabilité de blocage  $P_B$  est donnée par l'expression suivante, connue sous le nom d'équation d'"Erlang B":

$$P_B = \frac{t^N / N!}{\sum_{n=0}^N t^n / n!} \quad (1)$$

dans laquelle  $t$  = intensité de trafic en erlangs,

$N$  = nombre de canaux.

$P_B$  est l'indicateur classique de la qualité du service: par exemple, si  $P_B$  vaut 2%, la qualité du service est identifiée par P.02. Dans la figure 60 on montre la relation entre  $t/N$ , la charge relative d'un réseau par canal, et le nombre de canaux. Cette figure illustre bien un principe assez fondamental en communications: les réseaux de petites tailles ne sont pas efficaces. Supposons, à titre d'exemple, un réseau opérant avec une qualité P.02; si dans le réseau on dispose de 100 canaux, le trafic supporté pourra être de 88 erlangs; par contre, si on dispose de 10 canaux, le réseau ne pourra supporter que 5.1 erlangs et non pas 8.8 erlangs. Cette différence est très significative.

Enfin, on aurait pu tout aussi bien, sur la figure 60, graduer l'axe des ordonnées en nombre d'abonnés possibles car il existe une relation directe entre le trafic normalisé par canal et le nombre des abonnés qui pourront être accommodés. Il suffit pour ce faire d'assumer un modèle caractéristique des habitudes des abonnés. Pour illustrer ce fait, posons comme hypothèse: qu'un abonné en appelle un autre en moyenne 5 fois dans une période active de 8 heures, que la longueur moyenne d'un appel est de 2 minutes et que le taux d'utilisation du réseau par les abonnés est de 10%. On a alors:

$P_b = 0.5$

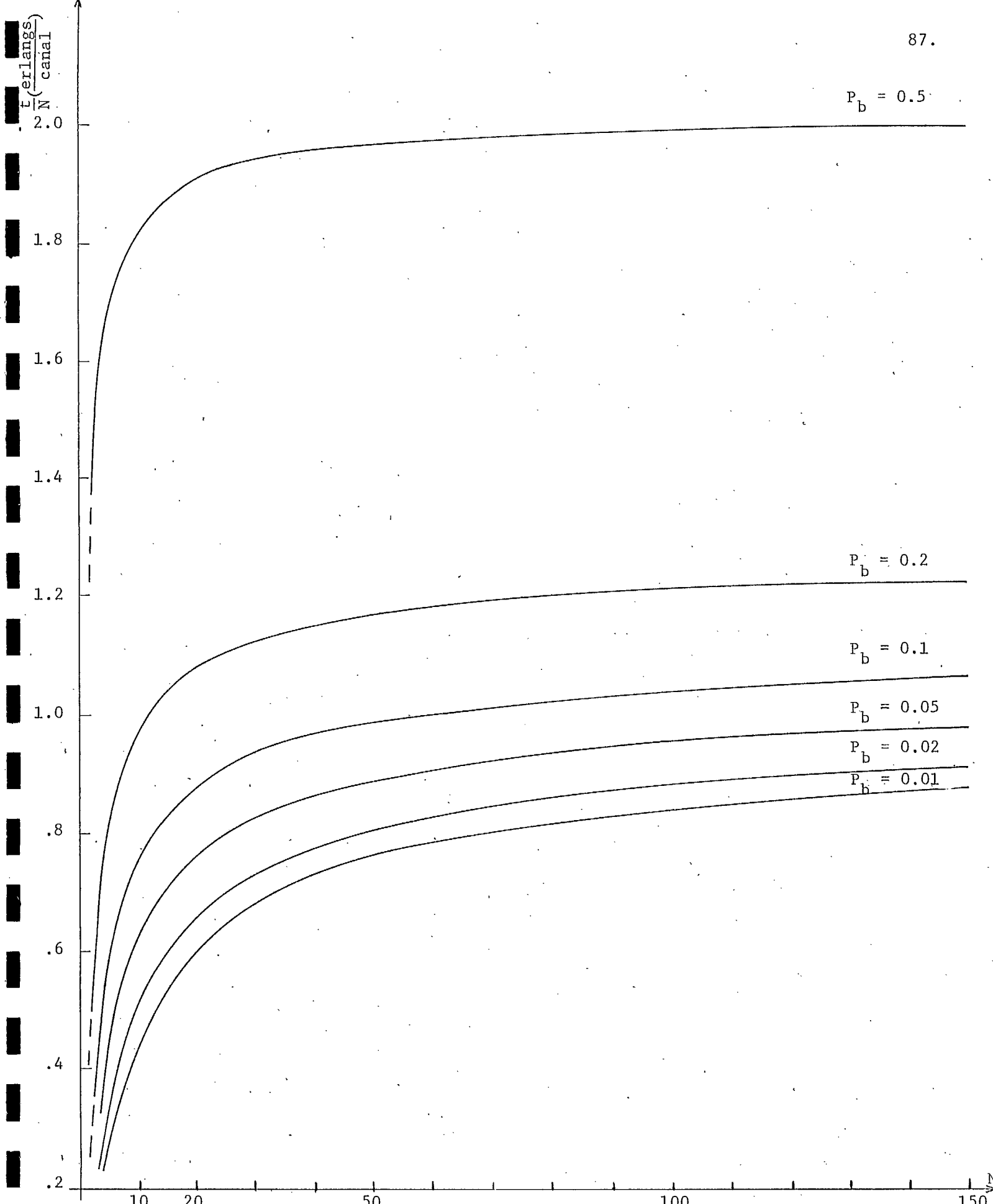


Fig. 60- Charge relative de réseau vs nombre de canaux.

$$\begin{array}{l} \text{Taux d'arrivée des appels} \\ \text{par abonné} \end{array} = \frac{5}{480} \text{ minutes}$$

$$\begin{array}{l} \text{Erlangs générés par} \\ \text{abonné actif} \end{array} = \frac{5}{480} \times 2 = \frac{1}{48}$$

De plus, chaque abonné qui place un appel empêche l'abonné appelé de générer un appel, donc :

$$\text{Erlang/abonné actif} = \frac{1}{48 \times 2} = \frac{1}{96}$$

Finalement, seulement 10% des abonnés utilisent le réseau en même temps :

$$\text{Erlang/abonné} = \frac{1}{96 \times 10} = \frac{1}{960} = 0.001042$$

Avec une qualité P.02 et 100 canaux disponibles, on a vu qu'un réseau pourrait accommoder 88 erlangs de trafic. On obtient ainsi :

$$\text{Nombre d'abonnées} = \frac{88}{0.001042} = 84,480.$$

Dans le second modèle de trafic, l'abonné qui trouve tous les canaux occupés voit son appel placé dans une file d'attente par le contrôleur du réseau, la règle suivie étant, premier arrivé, premier servi. La probabilité que tous les canaux soient occupés au moment d'un appel est appelé "probabilité de délai  $P_D$ " et s'exprime de façon approchée par :

$$P_D = e^{-t} \sum_{n=N}^{\infty} \frac{t^n}{n!} \quad (2)$$

dans laquelle  $t$  = intensité de trafic en erlangs,

$N$  = nombre de canaux disponibles.

La figure 61 illustre cette relation. Les remarques faites dans le cas du premier modèle valent ici aussi.

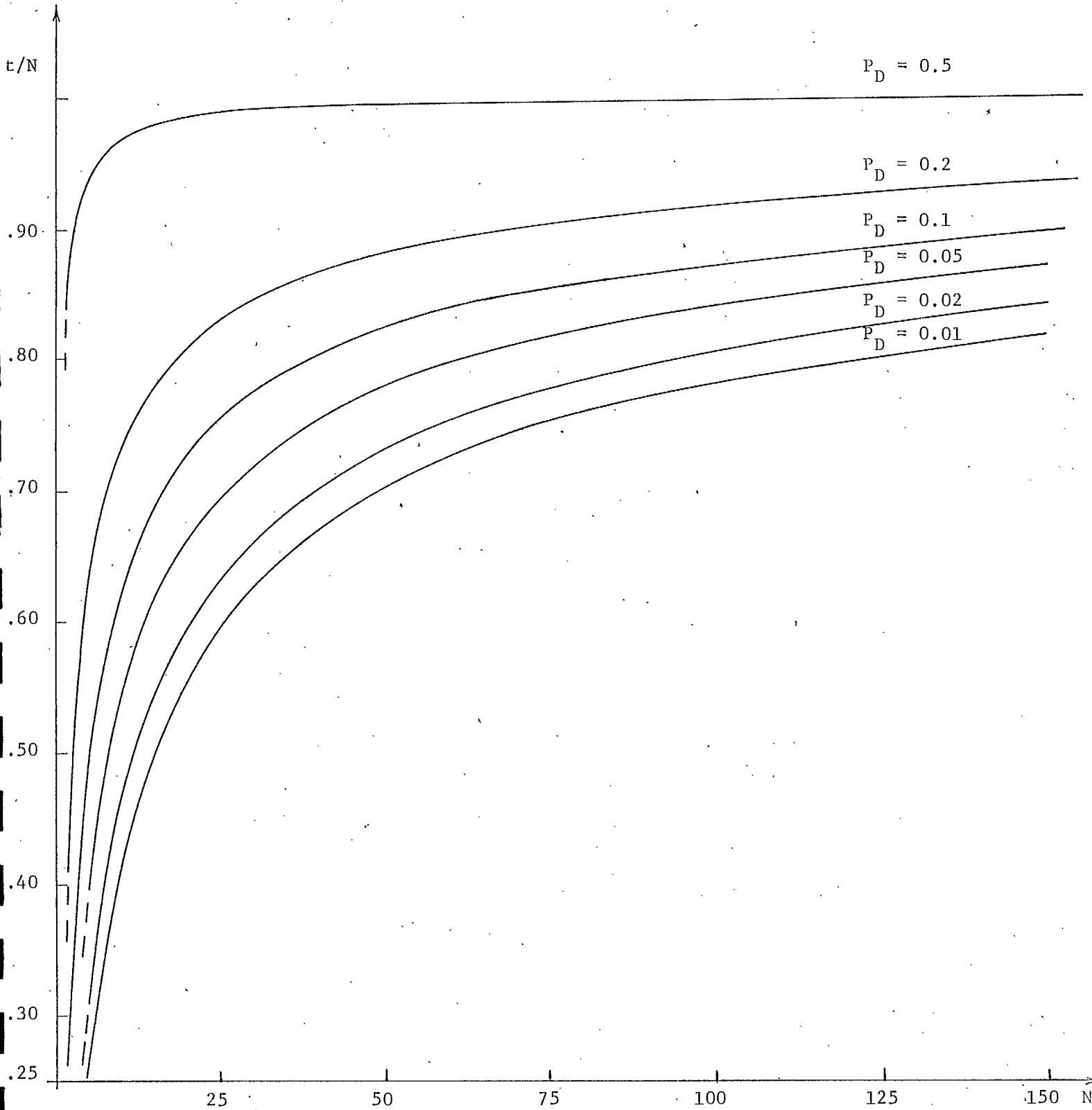


Fig.61- Charge relative de réseau vs nombre de canaux pour un système avec attente.

Reprenant maintenant les mêmes hypothèses que précédemment, on constate qu'un réseau de 100 canaux avec qualité P.02 accepte un trafic de 80.5 erlangs. Il pourrait donc desservir:

$$\text{Nombre d'abonnés} = 80.5/0.001042 = 77,255$$

Ainsi, si l'on spécifie la qualité du service ( $P_B$  ou  $P_D$ ) et l'intensité de trafic  $t$ , on peut déterminer le nombre  $N$  de canaux requis à partir des expressions ou des courbes appropriées. On choisira le modèle voulu en fonction de l'algorithme de contrôle utilisé. Jusqu'à présent, les systèmes mobiles n'ont pas été conçus pour mettre en attente des appels et c'est toujours le premier modèle qui a servi.

Afin d'illustrer le genre d'études de trafic habituellement effectuées, nous allons reprendre brièvement les principaux résultats d'une enquête sur les besoins en services mobiles d'urgence (à l'exception de ceux des corps policiers) pour le comté de Santa Clara en Californie. Cette étude [J5] a porté sur les besoins pour les services d'urgences générales, d'incendie et d'urgences médicales pour la période de 1974 et a établi des projections jusqu'en l'an 1990. De plus, les résultats obtenus ont été extrapolés à tout le territoire continental américain, cette extrapolation étant justifiée par le fait que le comté analysé s'avérait assez représentatif, comportant un mélange de zones urbaines avec de grands complexes industriels et commerciaux aussi bien que des banlieues et des milieux ruraux. Le nombre total d'utilisateurs de services mobiles d'urgence a été établi à 771; excluant les services de police, on en est arrivé à 257, c'est-à-dire 33% du total. Les données mesurées ou extrapolées sont résumées au tableau 12. Il faut noter ici que toutes les hypothèses de trafic sont basées sur une durée moyenne des appels de 11.47 secondes; cette valeur peut être acceptable pour des services d'urgence



| Région                                | Comté Santa Clara |        | Californie  |        | Etats Unis (continental) |        |
|---------------------------------------|-------------------|--------|-------------|--------|--------------------------|--------|
| Population 74                         | 1.2 millions      |        | 21 millions |        | 210 millions             |        |
| No. d'unités mobiles                  | 257               |        | 4.498       |        | 44,980                   |        |
| Trafic                                | Moyenne           | Pointe | Moyenne     | Pointe | Moyenne                  | Pointe |
| Nb d'appels/sec                       | 0.303             | 1.057  | 5.299       | 18.49  | 52.99                    | 184.9  |
| Intensité de trafic (erlangs)         | 3.48              | 12.12  | 60.78       | 212.08 | 607.8                    | 2120.8 |
| Nb de canaux requis avec $P_B = 10\%$ | 6                 | 15     | 60          | 198    | 555                      | 1917   |
| Nb de canaux requis avec $P_B = 1\%$  | 9                 | 20     | 75          | 233    | 635                      | 2148   |

Tableau 12- Modèle de trafic et canaux requis.

mais ne l'est sûrement pas dans le cas d'autres services.

Les populations étant à peu près identiques, les chiffres extrapolés pour l'Etat de la Californie peuvent s'avérer intéressants pour le Canada après certaines corrections.

Une seconde approche possible aux problèmes de trafic est celle adoptée par G.E. [A.11] dans une étude sur un système par satellite compatible avec le système cellulaire terrestre de Bell. On y assume une qualité P.02 et un nombre de canaux égal à 108 pour chacun des 69 faisceaux du satellite. De l'équation (1), ceci correspond à une intensité de trafic de 95 erlangs. Avec une durée moyenne pour les appels de 120 secondes, on obtient une possibilité de 2850 appels à l'heure pour chacun des faisceaux; Assumant un appel/heure/abonné, le système accommodera 2850 abonnés par faisceau, c'est-à-dire 196,659 abonnés sur tout le territoire américain.

En terminant, les mêmes calculs peuvent être appliqués à différentes situations et de différentes façons mais les deux éléments importants demeurent toujours l'intensité du trafic et la qualité du service désiré. Si la quantité du trafic augmente, il faut augmenter le nombre de canaux disponibles pour maintenir une qualité donnée; autrement, le système continuera à opérer mais la qualité du service sera diminuée.

## 2. METHODES DE MODULATION

Dans les systèmes actuels de communications mobiles, on utilise presque exclusivement du NBFM ou du NBPM pour la transmission de la voix. Règle générale, la qualité obtenue est acceptable et la technique est bien développée. Du point de vue compatibilité, il semble bien qu'un système mobile par satellite devrait employer les mêmes méthodes. Cependant, le FM présente des effets de seuil bien connus qui le rendent inutilisable

lorsque le rapport signal à bruit se détériore trop. De plus, malgré l'existence d'une foule de techniques d'extension de seuil, il n'est pas du tout évident que ces techniques puissent être incorporées dans des équipements mobiles qui doivent demeurer peu coûteux. Par ailleurs, il existe maintenant des méthodes numériques simples pour encoder la voix et on ne peut négliger de les considérer.

Cette section va décrire et comparer brièvement le FM et quelques techniques numériques. Dans un deuxième temps, on revisera rapidement les principales méthodes de modulation pour la porteuse qui pourraient s'appliquer au cas qui nous intéresse.

## 2.1 LE FM APPLIQUE A DE LA VOIX

Au-dessus du seuil, le rapport signal-bruit à la sortie d'un discriminateur est donné par:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = \frac{3\beta^2 C}{2N_o f_m} = \frac{3^2 (\beta+1) C}{N_o B_{IF}} \quad (3)$$

et

$$B_{IF} = 2(\beta+1) f_m \quad (4)$$

Dans ces expressions:

- C = puissance de porteuse,
- $N_o$  = densité de puissance du bruit à l'entrée,
- $f_m$  = fréquence maximum contenue dans la voix,
- $B_{IF}$  = bande passante aux fréquences intermédiaires,
- $\beta$  =  $\Delta f/f_m$ , indice de modulation,
- $\Delta f$  = déviation maximum de fréquence.

Pour le cas du NBFM ( $\beta \leq 0.6$ ), les expressions précédentes deviennent:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = \frac{3\beta^2 C}{N_o B_{IF}} \quad (5)$$

et

$$B_{IF} = 2 \text{ fm} \quad (6)$$

Sur la figure 62, la droite en pointillé correspond à l'effet du seuil.

## 2.2 ENCODAGE NUMERIQUE DE LA VOIX

Il existe de nombreuses méthodes pour encoder sous format numérique des signaux de voix. Il existe aussi de nombreuses méthodes pour compresser le rythme numérique nécessaire à la transmission de ces signaux de voix. En pratique, cependant, si on veut se limiter à de l'équipement peu complexe, le choix est plus restreint. Nous allons nous limiter ici aux techniques les plus usuelles, soit le PCM, le  $\Delta$ PCM et le  $\Delta$ M; une étude plus complète devrait considérer en plus certaines versions du LPC et du SSB.

Le PCM est la technique recommandée par le CCITT pour l'encodage de la voix dans les réseaux téléphoniques; deux lois de compression sont utilisées, la loi A et la loi  $\mu$  (mu). La qualité obtenue est excellente quand le rapport signal-bruit est bon. Cependant le PCM requiert des taux de transmission élevés (de l'ordre de 56 à 64 Kbits/sec pour une qualité commerciale), donc des largeurs de bandes considérables, et son intelligibilité se dégrade très rapidement lorsque la probabilité d'erreur dépasse à peu près  $10^{-4}$ .

En  $\Delta$ PCM, on code la différence de niveau entre signaux voisins plutôt que le signal lui-même. Les taux de transmission requis sont in-

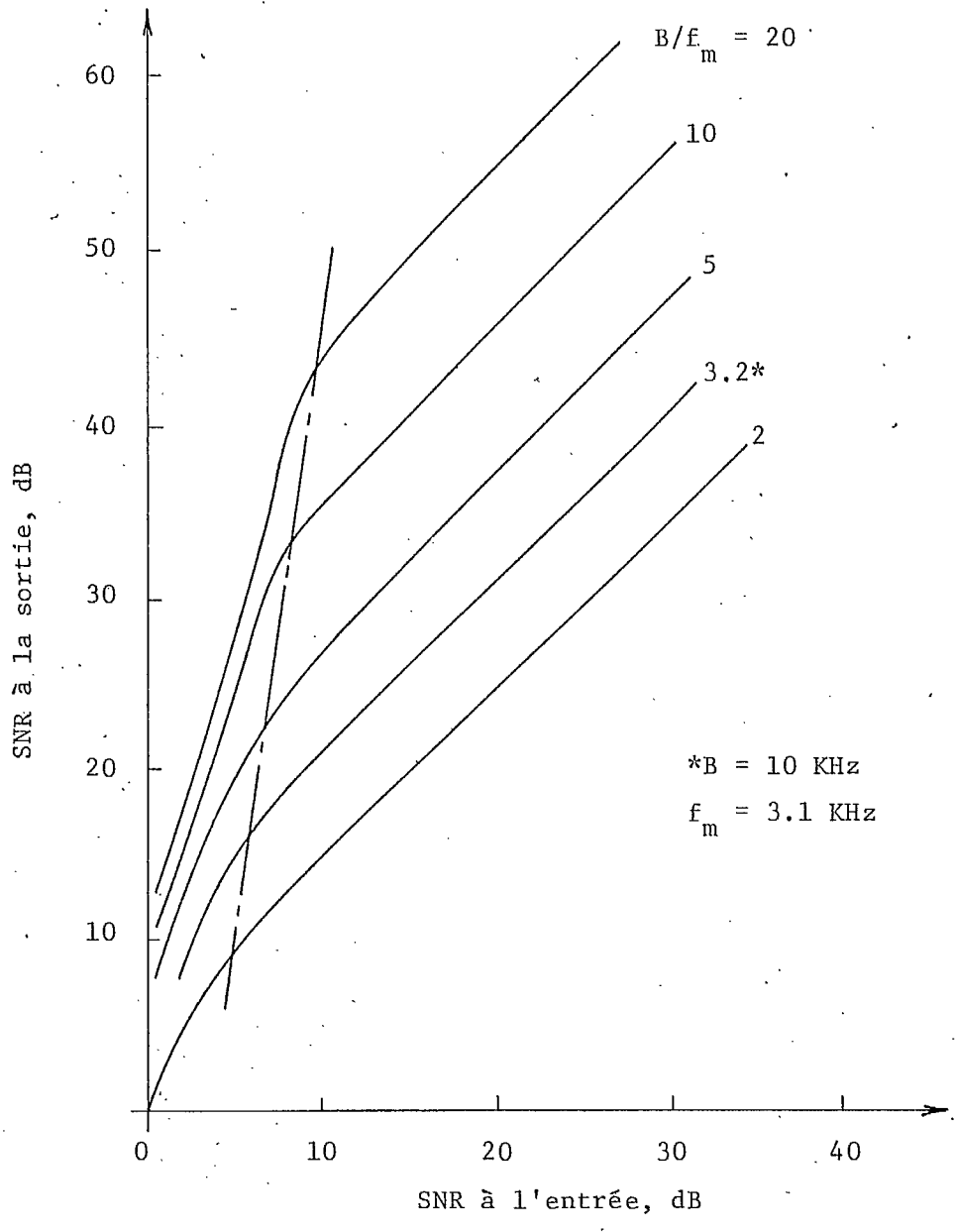


Fig.62. Effet de seuil pour un signal modulant qui est de la voix.

férieurs à ceux du PCM et il est possible d'obtenir des performances de 4 à 10 dB supérieures à celles du PCM. Par contre, à cause de la contre-réaction utilisée au niveau du décodeur, les erreurs ont tendance à se propager.

Le  $\Delta M$  constitue un cas particulier du  $\Delta PCM$  pour lequel on utilise seulement deux niveaux de quantification. La version la plus populaire est le CVSD (Continuously Variable Slope Delta Modulation). Avec cette méthode, les niveaux de quantification sont adaptés de façon continue au train de bits: ainsi trois "1" ou "0" successifs vont provoquer une augmentation du pas alors que des séquences "101" ou "010" le feront diminuer. Au décodeur, on reprend le même algorithme. Généralement on obtient une bonne qualité de voix pour des rythmes de transmission de l'ordre de 2 à 3 fois le rythme de Nyquist. La popularité du CVSD provient surtout de la simplicité de l'algorithme utilisé, de sa facilité d'adaptation à des rythmes de transmission différents et à une dégradation très graduelle de ses performances lorsque les taux d'erreurs augmentent; l'intelligibilité de la voix, en particulier, demeure acceptable, même en présence de taux d'erreurs de  $10^{-2}$ .

Il est évident que, pour les techniques numériques d'encodage de la voix, le facteur déterminant demeure le taux de transmission. De ce point de vue, on peut définir une base de comparaison valable en assumant les paramètres suivants:

|                                   |   |           |
|-----------------------------------|---|-----------|
| Bande audio                       | = | 3400 Hz   |
| Niveau d'entrée du signal de voix | > | -16 dBmo  |
| Rapport voix à bruit acoustique   | > | 15 dB     |
| P(e) par bit (BER)                | < | $10^{-2}$ |

Le tableau 13 montre les résultats obtenus.

| Qualité<br>Méthode | Bon          | Acceptable   | Marginal     |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|
| PCM                | 63 Kbits/sec | 35 Kbits/sec | 14 Kbits/sec |
| DPCM               | 56 Kbits/sec | 28 Kbits/sec | 14 Kbits/sec |
| CVSD               | 32 Kbits/sec | 16 Kbits/sec | 10 Kbits/sec |

Tableau 13. Taux de transmission vs qualité subjective pour différentes méthodes d'encodage de la voix.

Il est clair que le CVSD constitue la technique la plus attrayante pour des communications mobiles si on considère la bande requise et sa simplicité. D'ailleurs, c'est aussi la technique sur laquelle il existe le plus de données; enfin, de nombreuses versions LSI peu coûteuses sont déjà disponibles.

### 2.3 COMPARAISON DU FM ET DU CVSD

La qualité de la voix dans un système de communications dépend de plusieurs variables. Comme les besoins des usagers potentiels peuvent être fort différents et comme la qualité de la voix est évaluée subjectivement, il devient difficile de spécifier un critère universel de mesure qui permette une bonne comparaison de différents systèmes de communication. Règle générale, le rapport signal-bruit s'avère un bon indicateur de la qualité de la voix dans le cas où l'on considère une qualité de type commercial; par contre, pour des systèmes où la qualité est souvent marginale, ce qui est probablement le cas pour les réseaux mobiles, plusieurs autres caractéristiques vont devenir importantes.

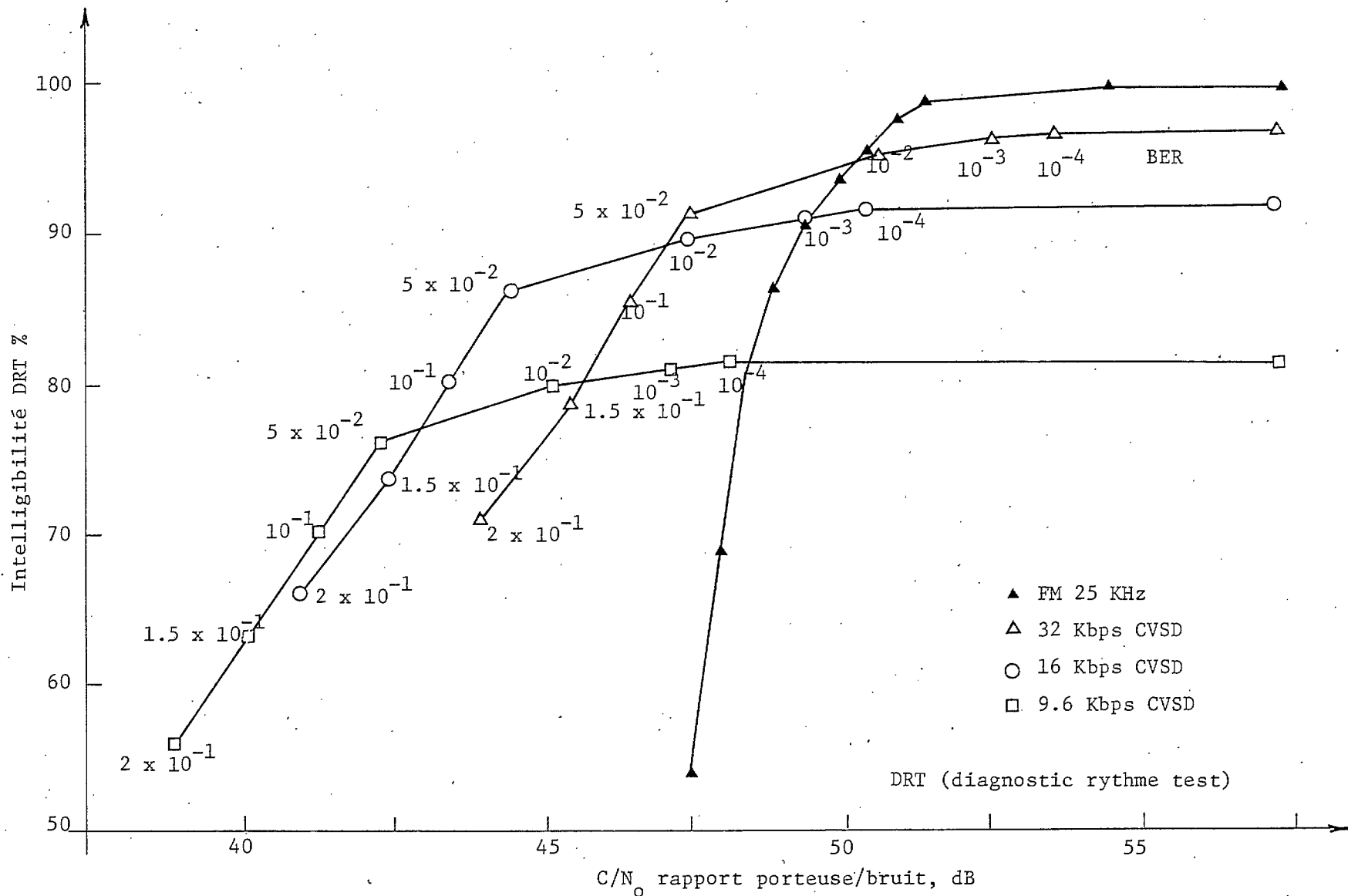


Fig. 63. Intelligibilité relative (DRT) de systèmes CVSD et FM



Pour une qualité commerciale, le CCITT recommande que, dans un canal FM, le bruit n'excède pas 8500 pWop et que le nombre d'impulsions dépassant -18 dBmo soit limité à 15 par 15 minutes. Un système FM avec PLL peut rencontrer ces exigences avec une bande de 25 KHz et un rapport  $C/N_0$  de 53.5 dB-Hz, valeur qui donne une marge de 3 à 4 dB par rapport au seuil. Les mêmes exigences peuvent aussi être rencontrées avec un système digital utilisant du CVSD à 32 Kbits et opérant avec une  $P(E)$  de  $10^{-4}$ . De plus, une modulation de type QPSK par le train binaire CVSD exigerait à peu près la même bande passante et le même rapport  $C/N_0$  que dans le cas du FM. Là où il y a une différence cependant, c'est qu'advenant une diminution du rapport  $C/N_0$  de l'ordre de 4 dB, le système FM ne pourrait plus opérer alors que le système CVSD, avec une  $P(E)$  de  $10^{-2}$ , subirait tout au plus une réduction relativement mineure de son intelligibilité.

La figure 63 présente les résultats combinés de tests d'intelligibilité en fonction du rapport  $C/N_0$  pour une plage de valeurs susceptibles d'être rencontrées dans des applications de type mobile par satellite. Cette figure permet de dégager les conclusions suivantes:

- a) Les performances supérieures, à bas niveau de puissance, du CVSD par rapport au FM sont évidentes, peu importe le taux de transmission utilisé. Pour le CVSD, l'intelligibilité diminue de façon beaucoup plus graduelle à mesure que la puissance diminue et l'on n'observe pas d'effet de seuil comme en FM.
- b) Un CVSD à faible débit numérique sera supérieur à un CVSD à débit numérique supérieur pour certains niveaux de puissance relativement faibles.
- c) On peut déterminer un débit numérique optimal pour chaque niveau de puissance et cet optimum diminue en même temps que le niveau de

puissance. Ainsi, les systèmes CVSD peuvent être optimisés pour une plage de niveaux de puissance très étendue et s'adaptent donc bien à des débits numériques très différents.

La figure 64 présente les résultats obtenus pour différents systèmes CVSD du point de vue qualité de la voix plutôt que de l'intelligibilité simple. Malheureusement, il n'existe pas de courbes semblables pour des systèmes FM et il n'est pas possible de comparer directement. La comparaison des figures 64 et 63 fait ressortir un point particulièrement intéressant: alors que la qualité de la parole commence à se dégrader sérieusement pour des taux d'erreurs de l'ordre de 0.01, l'intelligibilité se détériore à partir de valeurs se situant entre 0.05 et 0.1. Il semble donc que, lorsque les niveaux de puissance sont faibles, il suffit de viser un taux d'erreur de 0.01 pour maintenir une qualité de la parole qui soit acceptable.

En résumé, pour des valeurs relativement faibles de  $C/N_0$ , les systèmes CVSD offrent une meilleure marge que les systèmes FM, assurent une dégradation plus graduelle des performances lorsque la puissance de signal diminue et s'adaptent bien à des taux de transmission variables et optimisés en fonction de la puissance disponible. Ces systèmes constituent donc une alternative attrayante pour les réseaux mobiles de communications par satellite.

#### 2.4 MODULATION DE LA PORTEUSE

Parmi les différentes techniques susceptibles d'applications dans un système mobile par satellite, on peut citer le BPSK, le QPSK, le DPSK, le MSK, le FSK et les PSK à phrases multiples. Les performances théoriques de ces différentes techniques se mesurent en termes de probabilité d'erreur

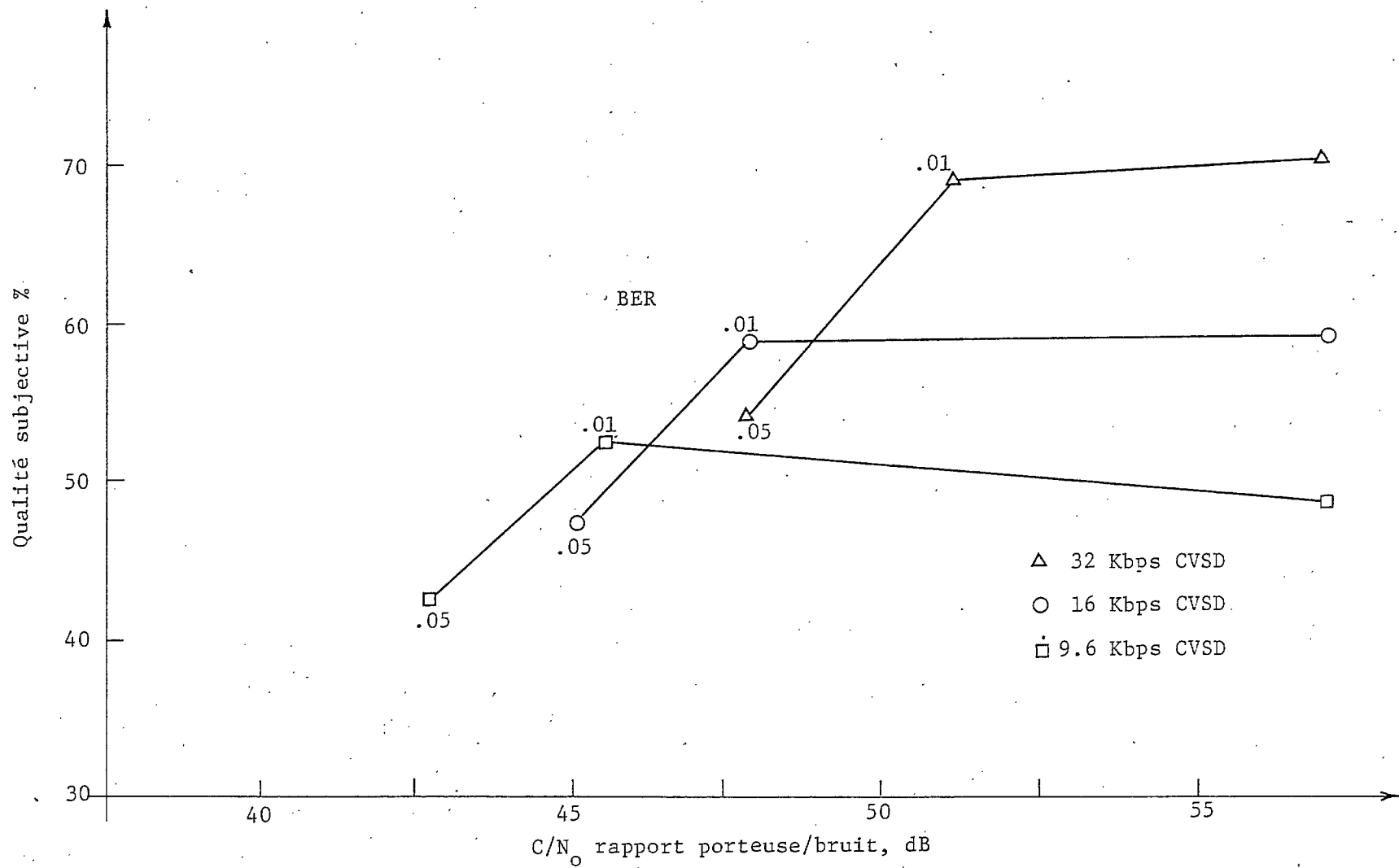


Fig. 64- Qualité subjective de la voix pour différents systèmes CVSD.

par bit (BER) en fonction de  $E_b/N_o$ , le rapport entre l'énergie du signal par bit et la densité spectrale du bruit. Le tableau 14 permet une comparaison entre différentes méthodes numériques de modulation. On utilise ici comme référence les performances du BPSK et du QPSK qui sont les plus efficaces du point de vue puissance. L'examen de ce tableau fait ressortir la pénalité qu'il faut encourir pour profiter des avantages au point de vue efficacité d'utilisation spectrale des systèmes à 8 et à 16 phrases. On constate aussi l'inefficacité du FSK en ce qui concerne la puissance de signal nécessaire. Le QPSK, même s'il affiche les mêmes performances

| BER       | $E_b/N_o$ , dB | $E_b/N_o$ additionnels par rapport au BPSK dB |     |       |        |
|-----------|----------------|---|-----|-------|--------|
|           | BPSK/QPSK      | DPSK  | FSK | 8-PSK | 16-PSK |
| $10^{-1}$ | -0.9           | 2.9   | 5.9 | 4.2   | 8.8    |
| $10^{-2}$ | 4.3            | 1.6   | 4.6 | 4.2   | 8.8    |
| $10^{-3}$ | 6.8            | 1.1   | 4.1 | 4.1   | 8.7    |
| $10^{-4}$ | 8.4            | 0.9   | 3.9 | 4.1   | 8.7    |
| $10^{-5}$ | 9.6            | 0.7   | 3.7 | 4.1   | 8.7    |
| $10^{-6}$ | 10.5           | 0.6   | 3.6 | 4.1   | 8.7    |
| $10^{-7}$ | 11.3           | 0.5   | 3.5 | 4.1   | 8.7    |

Tableau 14. Comparaison des performances entre différentes méthodes numériques de modulation.

que le BPSK, est de réalisation plus sophistiquée et demeure relativement sensible aux imperfections de réalisation. Le MSK, qu'on peut concevoir comme un cas particulier du QPSK, peut offrir ou ne pas offrir d'avantages réels selon les caractéristiques du canal de transmission et s'avère un peu plus compliqué du côté réception.

Les performances des systèmes numériques de modulation sont souvent exprimées en fonction du rapport puissance dans la porteuse sur densité spectrale de puissance de bruit  $C/N_0$  plutôt qu'en fonction de  $E_b/N_0$ . Nous avons d'ailleurs déjà utilisé ce paramètre dans cette section. La relation qui permet de passer de l'un à l'autre est la suivante:

$$C/N_0 = E_b/N_0 + R_b + L \quad (\text{en dB}) \quad (7)$$

avec

$R_b$  : taux de transmission (en dB),

$L$  : pertes dues aux imperfections de réalisation (en dB).

La figure 65 illustre le  $C/N_0$  théorique requis par différentes techniques numériques de modulation en fonction de taux de transmission variant de 8 à 48 Kbits/sec. Dans ces courbes, on a inclus une valeur pour  $L$  de 1dB pour tous les systèmes, sauf le 8-PSK et le 16-PSK pour lesquels on a supposé une valeur de 1.5 dB. Les valeurs sont assez représentatives d'équipement de première qualité. La courbe supplémentaire s'appliquant aux systèmes BPSK et QPSK pour un BER de  $10^{-1}$  fait ressortir la marge disponible, de l'ordre de 5.2 dB, lorsque l'on veut opérer à la limite de la plage utile avec un système CVSD.

Bref, pour garder assez simples les terminaux mobiles tout en maintenant une qualité de communications acceptable, il semble qu'un système d'encodage de la voix du type CVSD opérant à 16 Kbits/sec et couplé

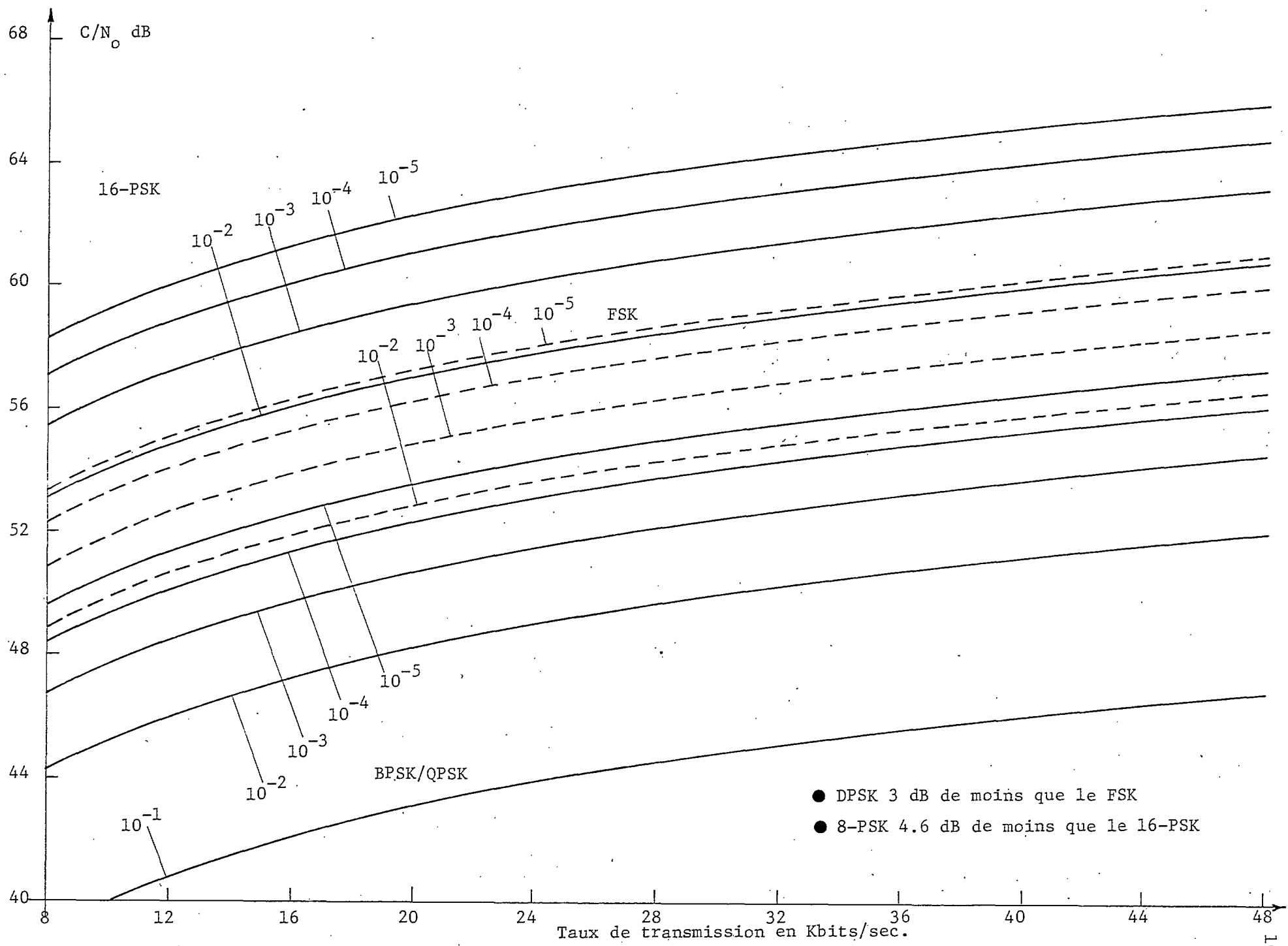


Fig. 65-  $C/N_0$  requis par différentes techniques numériques de modulation.

à une modulation BPSK offrirait de nombreux avantages. Le  $C/N_0$  requis serait de l'ordre de 47.3 dB pour un BER de  $10^{-2}$  et une intelligibilité de quasiment 90%. De plus, on bénéficierait ainsi de tous les avantages inhérents aux techniques numériques: régénération des signaux facile, transpondeurs moins critiques du point de vue linéarité, encryption aisée, combinaison possible des fonctions transmission et commutation, format uniforme pour des signaux différents et circuits peu coûteux et facilement intégrables pour la réalisation. Malgré ses problèmes de compatibilité avec le réseau terrestre, le digital présente beaucoup d'attrait.

### 3. ACCES MULTIPLE ET CONTROLE

Un système par satellite appliqué à des communications mobiles requiert une antenne à faisceaux multiples pour assurer la couverture de territoires aussi vastes que le continent nord-américain tout en fournissant une puissance suffisante aux unités mobiles. Normalement, chaque faisceau arrose une zone précise dont les contours ont la forme d'une ellipse et utilise un groupe de canaux qui lui est propre. Les faisceaux voisins utilisent des groupes de canaux différents. Cependant, lorsque des faisceaux non adjacents sont suffisamment éloignés l'un de l'autre, on peut réutiliser le même groupe de fréquences; le principe utilisé est exactement le même que pour le système cellulaire terrestre. On obtient ainsi un réseau multiplexé en fréquence et dans l'espace.

Dans cette section, on va discuter des méthodes possibles pour accéder à un tel système et des techniques de contrôle qui devront être mises en place pour faciliter cet accès. La première partie portera sur les méthodes conventionnelles d'accès multiple. En deuxième partie, on examinera succinctement des mécanismes de contrôles qui permettraient un accès facile et une gérance relativement simple.

### 3.1 ACCES MULTIPLE

Dans cette section nous allons revoir rapidement les avantages et désavantages respectifs du FDMA, du TDMA et du CDMA.

#### 3.1.1 ACCES FDMA

Avec cette technique, chaque usager se voit assigner un canal propre, lequel canal peut par ailleurs être lui-même multiplexé ou non. Les porteuses peuvent être destinées à un endroit bien spécifique ou encore à plusieurs unités mobiles. Des bandes de garde doivent être réservées entre les canaux adjacents de façon à minimiser l'interférence et la largeur de ces bandes est une fonction de l'atténuation des bandes latérales résiduelles de chacun des signaux transmis.

Les principaux avantages du FDMA proviennent de sa simplicité et de l'efficacité spectrale relative qu'il permet. L'activation par la voix du transmetteur terrestre est possible et, ainsi, la puissance disponible au satellite peut être réservée uniquement aux canaux actuellement opérationnels. Comme on estime normalement que seulement 25% à 40% des canaux sont actifs simultanément, on a la possibilité de pousser la puissance du satellite vers les unités terrestres par un facteur de 4 à 6 dB tout simplement en ajoutant au satellite un circuit de contrôle automatique de gain.

Par contre, les non-linéarités du transpondeur et des autres amplificateurs auront un effet important sur les signaux FDMA, pouvant occasionner des suppressions de signaux et des produits d'intermodulation. De façon typique, on doit réduire la puissance moyenne du satellite par des facteurs de 3 à 6 dB pour maintenir les produits d'intermodulation à un niveau acceptable lorsque le trafic est intense.



### 3.1.2 ACCES TDMA

En TDMA, le satellite reçoit les transmissions de chaque unité mobile dans un intervalle de temps qui lui est réservé. On évite ainsi la génération de produits d'intermodulation même en présence de non-linéarités assez importantes. L'amplificateur de sortie du satellite peut être opéré en mode de saturation, ce qui permet la plupart du temps un accroissement significatif de la puissance utile. D'autres avantages du TDMA proviennent de son immunité relative vis-à-vis des interférences de type bande étroite et du degré de privacité qu'il offre.

Du point de vue désavantages, le TDMA pose surtout des problèmes en ce qu'il demande de l'équipement relativement complexe. Chaque unité mobile doit estimer la distance au satellite et l'horloge du satellite de façon à ce que les signaux transmis parviennent au satellite dans l'intervalle de temps assigné, ce qui implique des circuits de synchronisation assez coûteux. De plus, comme l'information est transmise à l'intérieur d'une trame, le terminal devra posséder des unités de mémoire tampons. Par ailleurs, les transmissions s'effectuant par paquets à des taux beaucoup plus élevés que le taux d'opération normal d'un terminal, la puissance transmise doit être augmentée en conséquence de façon à conserver un  $E_b/N_0$  adéquat. Enfin, une fois déterminés les principaux paramètres d'un système TDMA, tels la longueur de la trame, les taux de transmission, les allocations temporelles, etc..., il devient très difficile de les modifier; le TDMA n'est pas très flexible.

### 3.1.3 ACCES CDMA

Le CDMA tire profit d'un ensemble de codes pseudo-aléatoires quasi-orthogonaux de telle sorte qu'un canal pourra accommoder "m" transmissions simultanées. On peut utiliser les séquences pseudo-aléatoires (PN) générées directement ou on peut faire subir à ces séquences des changements de fréquence (FH pour frequency hopping). Comme chaque usager transmet dans la bande totale allouée, les performances se dégradent à cause de l'interférence mutuelle qui résulte de l'accroissement de la densité de bruit; cette densité de bruit est la somme des spectres des codes PN utilisés par les m-1 autres usagers du canal.

Le CDMA possède plusieurs avantages potentiels comme l'immunité aux produits d'intermodulation, la privacité inhérente à ce type de technique, l'adressage inclus dans le format de l'information, une dégradation graduelle en présence de surcharge, une insensibilité relative aux instabilités de fréquence, une résistance remarquable aux interférences à bande étroite, etc... Cependant, les débits numériques qu'un système CDMA peut supporter sont très limités à cause de sa sensibilité aux effets des parcours multiples et on ne peut finalement exploiter toutes ses possibilités. Ainsi par exemple, pour supporter de 20 à 30 unités mobiles, on estime qu'il faudrait une bande RF de l'ordre d'au moins 10 MHz, ce qui est beaucoup plus qu'avec du FDMA ou du TDMA. Finalement, les terminaux sont très complexes et la puissance de chacun doit être la même lorsqu'elle parvient au satellite.

Toutes ces considérations font que l'on s'entend généralement, compte tenu de la technologie actuellement disponible et du besoin de minimiser les coûts, pour favoriser l'approche FDMA, la plus simple des trois méthodes.

### 3.2 SYSTEMES DE CONTROLE

L'assignation des canaux et l'accès au réseau impliquent un contrôle qui, idéalement, permettra de maintenir à un niveau faible la probabilité de blocage ou de délai tout en ne requérant qu'un nombre minimum de canaux de signalisation. La méthode utilisée devra s'avérer fiable et la plus simple possible.

Normalement, comme première étape, l'on partage les usagers en deux catégories: les usagers normaux et les usagers privilégiés, soit à cause du trafic qu'ils génèrent, soit à cause de la priorité qu'on leur accorde. Ces derniers usagers se voient assigner des canaux spéciaux qui leur sont réservés. Pour les usagers normaux, on favorise un système centralisé de type DAMA (Demand Assignment Multiple Access); avec cette stratégie, l'accès est aléatoire ou non pour les demandes d'appel et l'assignation des canaux se fait en mode "broadcast"; les canaux réservés pour la signalisation sont dénommés CSC (Common Signalling Channels).

Chaque unité mobile qui veut initier un appel communique avec la station de contrôle maîtresse (MCS) par l'intermédiaire d'un CSC. Ceci peut s'effectuer de deux façons: par sondage ou par accès aléatoire.

Si on exploite la première stratégie, c'est le MCS qui va sonder individuellement et de façon séquentielle chacune des unités du réseau. L'unité mobile ne pourra transmettre que lorsqu'elle est interrogée par le MCS et il n'y a donc pas d'interférence entre abonnés possible. Cette procédure requiert plusieurs canaux de signalisation si l'on veut que la probabilité de délai demeure raisonnable. A priori, elle ne semble pas se prêter à une application du type qui nous intéresse ici.

Dans le cas de l'accès aléatoire, chaque usager transmet si et uniquement s'il y a un message à envoyer. Deux alternatives sont possibles: on peut ou non segmenter le temps. Dans le cas d'un système à segmentation, on divise l'échelle de temps en petits segments référencés soit par rapport à la dernière transmission, soit par rapport à une salve de synchronisation. L'utilisateur ne peut alors transmettre qu'au début de l'un des segments. Si par contre, l'on n'utilise pas de segmentation temporelle, les transmissions s'effectueront de façon complètement aléatoire avec le résultat qu'il pourra se produire des conflits; cette situation aura pour résultat que les messages en conflit ne seront pas reçus correctement par le MCS et il n'y aura donc pas d'accusé de réception d'émission. Un protocole de ce type prévoit cependant que les terminaux n'ayant pas reçu de réponses, retransmettront automatiquement leur requête après des délais aléatoires.

On a démontré que les systèmes à segmentation temporelle exigent davantage de canaux de signalisation et une coordination efficace entre les unités mobiles et le MCS. C'est la raison pour laquelle, dans la majorité des cas, on considère des systèmes à accès aléatoire sans segmentation temporelle comme mieux adaptés à des communications mobiles par satellite.

#### 4. CARACTERISTIQUES TYPIQUES

Nous allons reprendre ici les principales caractéristiques de trois systèmes différents qui ont déjà été proposés par G.E., Ford Aerospace et TRW pour diverses applications en communications mobiles par satellite. D'autres propositions existent mais le but de cette section n'est pas de faire une liste exhaustive de tous les systèmes possibles ou imaginés

mais plutôt d'illustrer les principaux concepts et certaines approches considérées comme typiques de ce genre de système.

#### 4.1 PROPOSITION G.E.: SYSTEME ANALOGIQUE

Ce système, baptisé SAMTS pour "Satellite-Aided Mobile Telephone Systems" présente surtout de l'intérêt parce qu'il a été conçu en fonction du réseau cellulaire terrestre AMPS et comme complément à ce réseau. Il possède les principales caractéristiques du AMPS, qu'on a décrit au chapitre 1. La figure 66 illustre les principes d'opération du SAMTS.

Le satellite comporte une antenne à faisceaux multiples et chaque faisceau arrose une aire qui lui est propre sur la terre et qu'on appellera "l'empreinte du faisceau". Le nombre d'empreintes dépend de la taille de l'antenne du satellite et ces empreintes peuvent être agencées géométriquement de façon à ce qu'on puisse profiter d'un plan de réutilisation de fréquences.

La procédure d'appel va maintenant être décrite. Quand un abonné décroche son appareil, celui-ci recherche et se bloque automatiquement sur un canal de contrôle. Le numéro désiré est transmis sur un canal d'appel. La station terrestre assigne alors deux canaux jumelés au mobile qui a initié l'appel par le biais du canal de contrôle et établit la liaison avec l'abonné qui est appelé par le biais du réseau téléphonique standard si cet abonné n'appartient pas au réseau mobile. L'abonné mobile communique par l'intermédiaire d'un canal de la bande 900 MHz et le satellite relaie les signaux à la station terrestre grâce à un canal dans la bande Ku; ceci occasionne un délai de 0.27 seconde quand l'abonné appelé n'appartient pas au service mobile et de 0.54 seconde s'il s'agit d'un appel mobile à mobile.

Les cercles représentent des services mobiles offerts par le système cellulaire terrestre; partout ailleurs le service est assuré par le satellite.

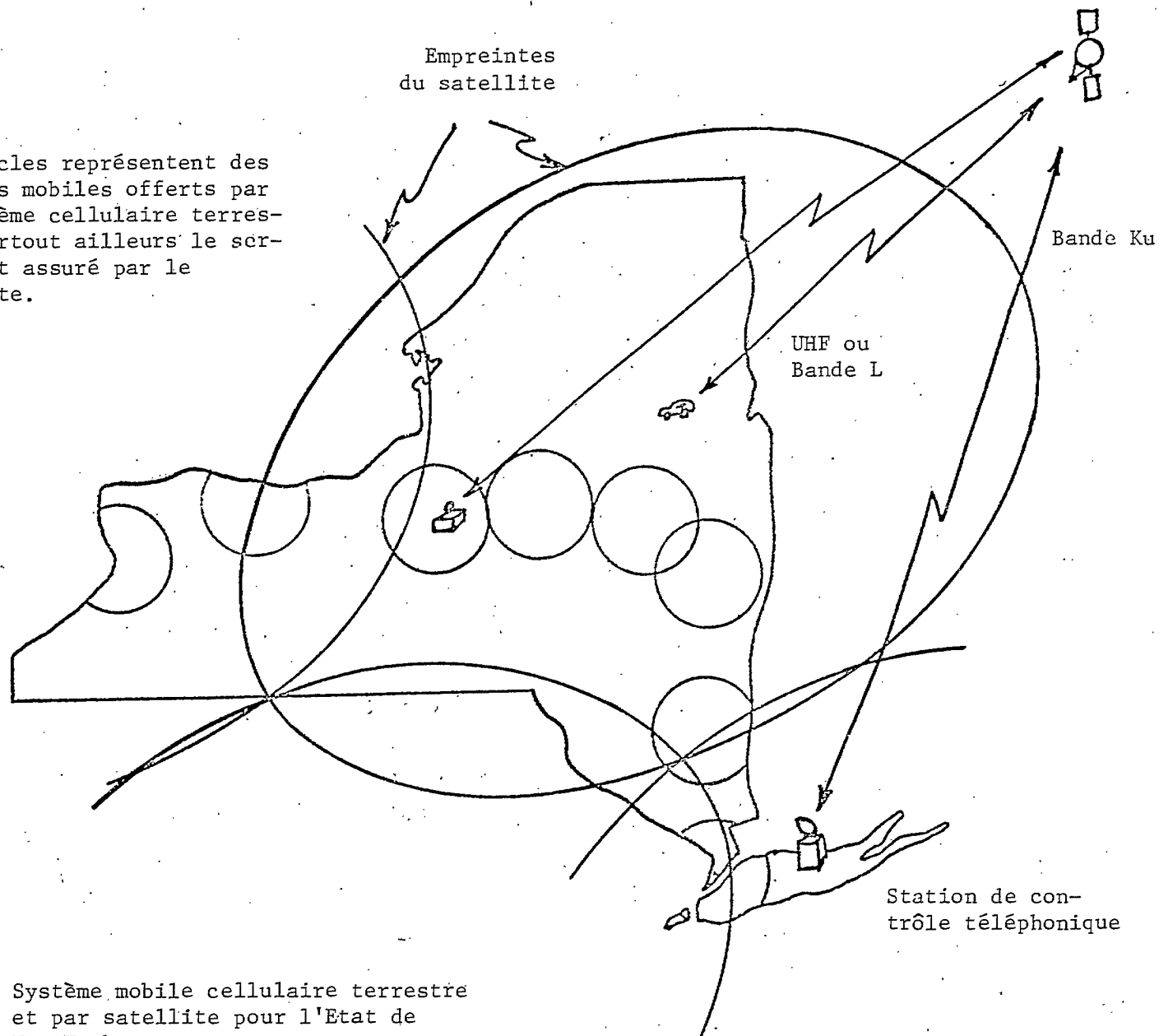


Fig. 66. Système mobile cellulaire terrestre et par satellite pour l'Etat de New York.

Quand un appel est placé vers une unité mobile, la station terrestre essaie d'abord d'atteindre le mobile en transmettant sur le canal de contrôle dans l'empreinte où réside normalement l'abonné appelé. S'il n'y a pas de réponse, la station répète son essai dans les autres empreintes du réseau et établit une liaison avec l'empreinte à l'intérieur de laquelle le mobile répond. Comme la zone où il a recouvrement entre deux empreintes adjacentes est relativement grande, il y a peu de chances qu'un mobile parcourt toute cette zone pendant la durée d'une conversation et il n'y a donc pas de procédures prévues si cela devait se produire; de toutes façons, en pareil cas, il suffirait à l'abonné de réinitier son appel par le biais du faisceau du satellite desservant la nouvelle empreinte.

Lorsqu'un appel est terminé et que celui qui a initié l'appel raccroche, un signal de fin d'appel est transmis à la station terrestre. Dans le cas où le signal de fin d'appel ne serait pas reçu, c'est la station terrestre qui, après un délai raisonnable sans signal dans le canal, prendra les mesures nécessaires pour annuler toutes les assignations.

Le tableau 15 résume les principaux paramètres du système SAMTS.

|   |   |
|---|---|
| Territoire desservi                         | Les 48 états continentaux américains. Couverture assurée par 69 faisceaux   |
| Intensité du trafic                         | 95 erlangs/faisceaux  |
| Durée moyenne d'un appel                    | 120 secondes  |
| Qualité du service                          | $\sim$ P.02   |
| Qualité du signal                           | 50 dB minimum   |
| Modulation                                  | NBFM, 30 KHz entre les canaux. Bande IF de 25 KHz, $\Delta f = 12$ KHz  |
| Mode de communications                      | Canaux jumelés, duplex  |
| Bande utilisée                              | Mobile-Satellite : 900 MHz ou L (1500-1600 MHz)<br>Station terrestre-Satellite: Ku (12-14 GHz)                                      |
| Nombre de canaux                            | 111 par faisceau - 3 canaux de contrôle<br>- 108 canaux pour les communications   |
| Capacité<br>Heure de pointe                 | 2850 appels/empreintes<br>Total de 196,659 abonnés  |
| Température de bruit<br>du récepteur mobile | 546°K (27.4 dB)   |
| Puissance transmise<br>par les mobiles      | 10 W  |
| Antenne mobile                              | Omnidirectionnelle à l'azimuth, 4 dbic de gain  |
| Puissance requise au<br>récepteur           | 65.3 dB-Hz (meilleur cas)<br>-139 dBW, $C/N_o$ : 53.8 dB-Hz (pire cas)  |
| Bande allouée                               | 2 x 10 MHz: Mobile-Satellite et Satellite-Mobile<br>333 canaux de voix duplex disponibles<br>Taux de réutilisation des canaux de 23 |

Tableau 15- Paramètres du SAMTS.



#### 4.2 PROPOSITION DE FORD AEROSPACE: SYSTEME DIGITAL

La figure 67 représente de façon conceptuelle les principaux éléments de ce système. La partie continentale des Etats Unis est divisée en un certain nombre de régions, ce nombre pouvant aller jusqu'à 80, qui sont desservies chacune par un faisceau différent. Dans une région donnée, une unité mobile va transmettre vers le satellite dans la bande L; le satellite convertit alors les signaux reçus et les retransmet vers la terre dans la bande UHF. Chaque région se voit assigner une bande spécifique dans la bande L qui comporte 56 canaux, dont deux sont réservés pour un contrôle de type DAMA, qu'on a discuté dans une section précédente. Pour la liaison UHF du satellite vers le mobile, on a prévu la réutilisation des fréquences.

Pour expliquer le fonctionnement de ce système, on va supposer qu'un mobile de la région 1 place un appel destiné à un mobile de la région 5. L'unité mobile 1 va d'abord synthoniser son transmetteur pour la bande K sur un canal assigné par le DAMA, canal qui appartiendra à la bande réservée à la région 5. En même temps, l'unité mobile doit synthoniser son récepteur de la bande UHF au canal correspondant à celui assigné par le DAMA dans la bande K. Pour la liaison de retour, le mobile 5 va synthoniser son transmetteur dans la bande L sur un canal réservé à la région 1 et spécifié par le DAMA et, parallèlement le mobile 1 ajustera son récepteur pour le canal correspondant dans la bande UHF. Le système implique un ordinateur central pour gérer tout le système et un microprocesseur à chaque unité mobile.

Pour initier un appel, l'abonné décroche son combiné, ce qui a pour effet d'envoyer un signal à l'unité de contrôle de son terminal, le DCU (Digital Control Unit) qui est en fait un microprocesseur. Le DCU

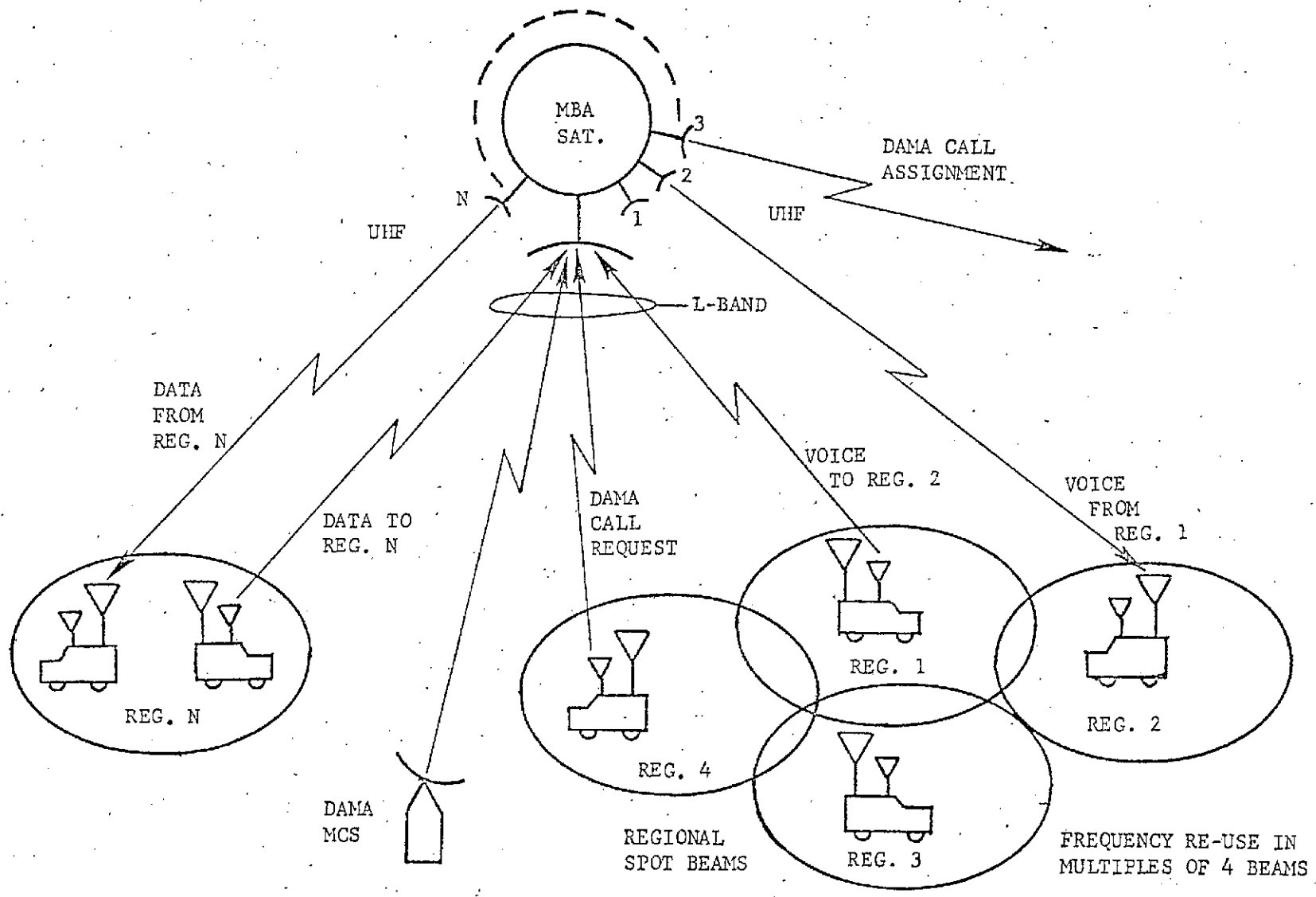


Fig. 67. Système digital par satellite.

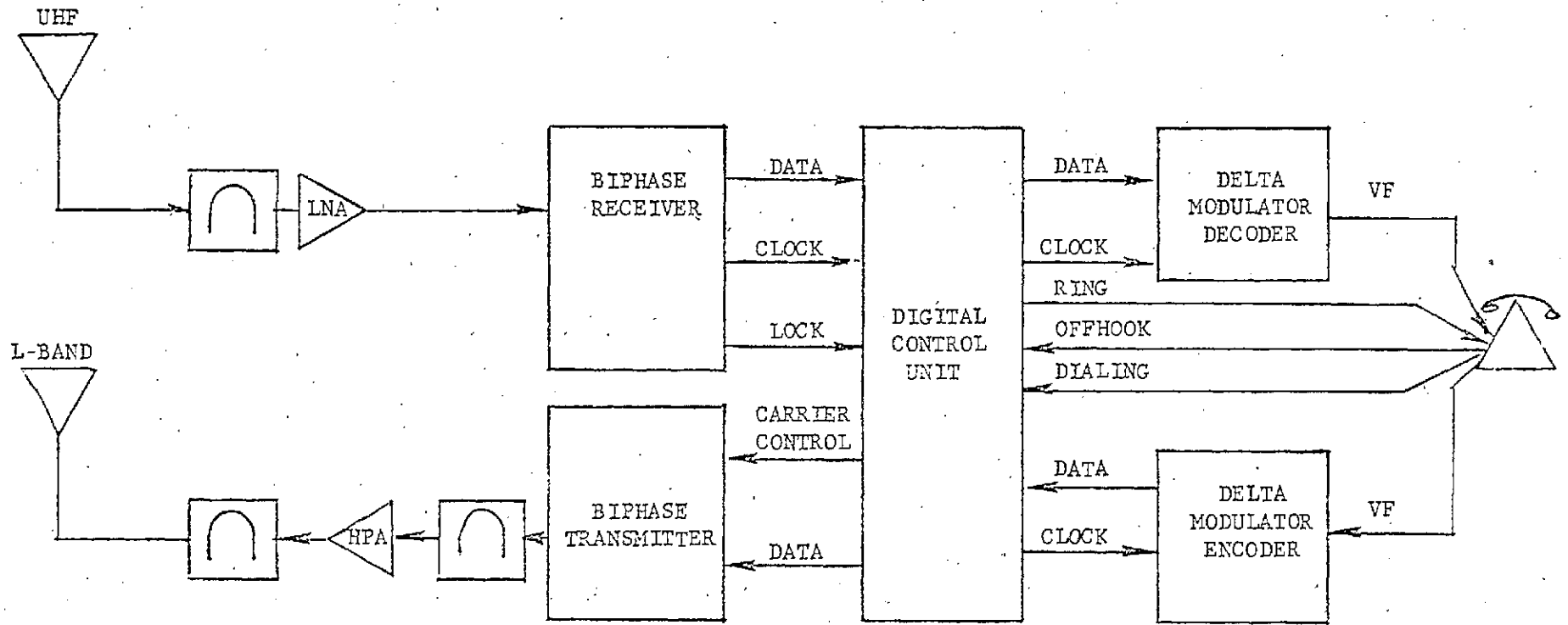


Fig. 68- Configuration d'un terminal pour système digital par satellite.

émet alors une tonalité pour indiquer qu'il est prêt à accepter le numéro de celui qui est appelé. Ce numéro est entré par l'intermédiaire d'un clavier et le DCU transmet alors une requête d'assignation de canal et le numéro appelé à l'ordinateur central; ceci s'effectue par le biais d'un canal de signalisation dans lequel les données sont transmises à un taux de 16 Kbits/sec. L'ordinateur de contrôle vérifie le statut du numéro appelé. Si celui-ci est déjà en mode communications ou ne répond pas, l'ordinateur en informe le DCU du terminal qui a initié l'appel grâce à un canal de signalisation opérant en mode "broadcast". Le DCU émet la tonalité correspondant au mode "engagé" et l'abonné devra raccrocher avant de pouvoir initier un autre appel.

Dans le cas où l'abonné appelé est disponible, l'ordinateur central assigne des canaux aux deux terminaux et, après émission des sonneries requises, la conversion peut démarrer. En réalité toute la procédure suivie est exactement la même que celle du réseau téléphonique et les usagers n'ont pas à se familiariser avec des procédures spéciales.

Les transmetteurs des terminaux sont activés par la voix et des tampons numériques sont utilisés pour prévenir la perte des premières syllabes. Enfin, dès qu'un des deux abonnés raccroche, son DCU reprend le mode signalisation et prévient l'ordinateur central qu'il est devenu libre. Un accusé de réception est alors émis par l'ordinateur.

Le tableau 16 résume les principaux paramètres de ce système.

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| Accès                             | SCPC - FDMA/SDMA  |
| Nombre de canaux                  | 56 par région - 80 régions - 2 canaux DAMA par région                                       |
| Encodage de la voix               | 16 Kbits/sec CVSD - Marge d'intelligibilité de 7 dB   |
| Modulation                        | BPSK - Activation par la voix   |
| Bande requise                     | 45 KHz/canal - 3.02 MHz/bande - 0.5 MHz de garde  |
| Trafic                            | 1125 appels par faisceau (région), Mode duplex  |
| Qualité de service                | P.01  |
| C/N <sub>0</sub>                  | 51.3 dB-Hz, BER = 10 <sup>-3</sup>  |
| Puissance transmise par le mobile | 40 watts  |
| G/T du récepteur mobile           | -26 dB/°K, en bordure de faisceau   |
| Antennes mobiles                  | Réception UHF : omnidirectionnelle<br>Transmission bande L : monopole (Bent Turnstile)      |
| Antennes du satellite             | Réception globale pour toutes les régions<br>Transmission par faisceaux (1 faisceau/région) |

Tableau 16-Principaux paramètres d'un système digital pour communications mobiles par satellite.

#### 4.3 PROPOSITION DE TRW: SYSTEME MIXTE

Il s'agit d'un système qui utilise du NBFM pour la parole et du FSK pour des données et des fac-similé.

Le satellite comporte ici aussi une antenne multi-faisceaux mais la proposition comporte deux alternatives qui sont illustrées par les figures 69 et 70 respectivement. La première alternative propose 4 faisceaux qui illumineraient des zones correspondant à chacun des fuseaux horaires du continent américain sans plan de réutilisation des fréquences. La seconde alternative comprend 8 faisceaux différents avec un plan de réutilisation des fréquences.

Chaque zone comporte 3 canaux réservés aux requêtes d'assignation et au contrôle, et la signalisation s'effectue à un taux de 2400 bits/sec à partir de la section modem du terminal. On trouvera les principaux paramètres de ce système au tableau 17.

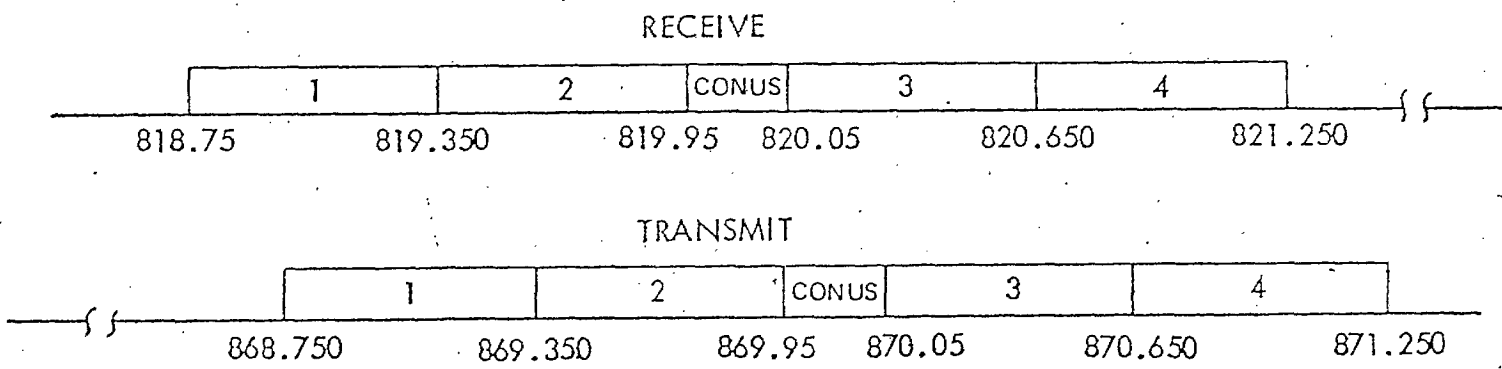
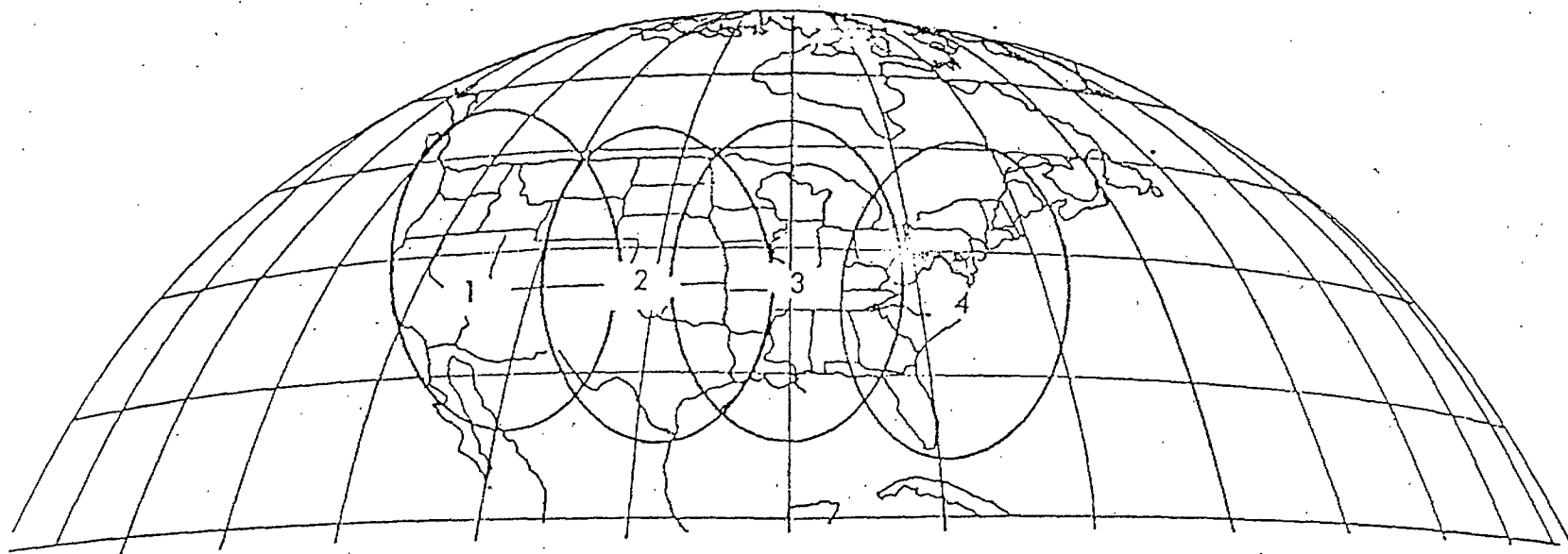
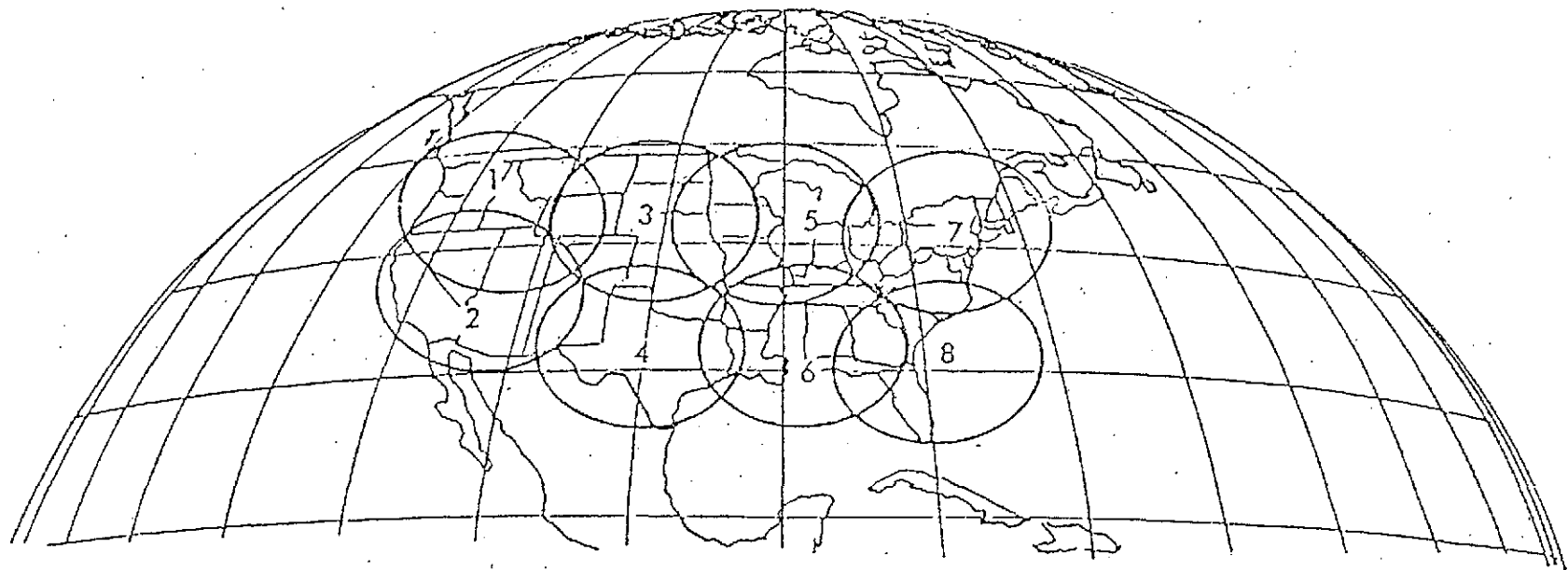


Fig. 69- Couverture continentale par 4 faisceaux.



RECEIVE

|        |         |             |         |        |
|--------|---------|-------------|---------|--------|
| 1      | 2       | CONUS       | 3       | 4      |
| 817.45 | 818.675 | 819.9 820.1 | 821.325 | 822.55 |

|          |          |                   |          |          |
|----------|----------|-------------------|----------|----------|
| 6        | 5        | NO REUSE          | 8        | 7        |
| 817.4375 | 818.6625 | 819.8875 820.1125 | 821.3375 | 822.5625 |

TRANSMIT

|        |         |             |         |        |
|--------|---------|-------------|---------|--------|
| 1      | 2       | CONUS       | 3       | 4      |
| 867.45 | 868.675 | 869.9 870.1 | 871.325 | 872.55 |

|          |          |                   |          |          |
|----------|----------|-------------------|----------|----------|
| 6        | 5        | NO REUSE          | 8        | 7        |
| 867.4375 | 868.6525 | 869.8875 870.1125 | 871.3375 | 872.5625 |

Fig. 70- Couverture continentale par 8 faisceaux.



|                                    |  |                             |
|------------------------------------|--|-----------------------------|
| Nombre de canaux                   | 25 par zone<br>100 au total                              | 50 par zone<br>400 au total |
| Encodage de la voix                | NBFM   |                             |
| Bande RF                           | 10 KHz   |                             |
| Espacement entre canaux            | 25 KHz   |                             |
| $C/N_0$                            | 48 dB-Hz   |                             |
| Modem                              | FSK non-cohérent   |                             |
| Espacement entre canaux de données | 5 KHz - 5 canaux de données par canal de voix            |                             |
| Accès                              | Aléatoire  |                             |
| G/T du récepteur mobile            | $-24 \text{ dB}/^\circ\text{K}$ , en bordure de faisceau |                             |
| Puissance transmise par le mobile  | 35 watts   |                             |
| Antenne du mobile                  | Spirale conique ou spirale avec cavité                   |                             |
| Nombre de terminaux supportés      | 1200 à 10,000  |                             |

Tableau 17- Principaux paramètres d'un système mixte pour services mobiles par satellite.

5. CONCLUSION

Dans tout ce chapitre, nous n'avons fait qu'aborder les principaux problèmes que pose la conception d'un système pour les communications mobiles par satellite. Nous avons considéré différentes alternatives mais sans les approfondir réellement et sans vouloir favoriser l'une ou l'autre de ces alternatives. L'approche que nous avons adoptée en a été une de système global et nous ne nous sommes pas arrêtés aux problèmes plus spécifiquement technologiques posés par un projet de cette envergure. Les problèmes existent cependant et devront faire l'objet de développements assez importants.

Mentionnons tout d'abord celui des antennes. L'antenne multi-faisceaux du satellite devra être de grande taille, d'une rigidité absolue, légère et déployable dans l'espace. L'antenne mobile par contre devra être esthétique et petite; elle devra être omnidirectionnelle dans le plan horizontal tout en permettant un gain raisonnable pour des angles d'élévation relativement variés.

Parallèlement, il faudra développer la linéarité des amplificateurs haute puissance des satellites, investiguer et développer les techniques de commutation au niveau du satellite et même considérer les possibilités de régénération dans le satellite.

D'un autre côté, des études beaucoup plus poussées seront nécessaires pour modéliser les caractéristiques de propagation de la bande 800-900 MHz, pour optimiser les algorithmes de contrôle de réseau et pour développer des méthodes d'encodage et de modulation qui permettent une meilleure efficacité spectrale. Enfin, des études de marché et de rentabilité beaucoup plus précises devront être effectuées si l'on veut en arriver

à pouvoir prévoir de façon assez précise les conditions de trafic d'un tel réseau et l'impact économique d'un tel projet.

DISTRICT DE SHERBROOKE ET MARCHES POTENTIELS CANADIENS

INTRODUCTION

La première partie de ce chapitre va examiner la situation des communications mobiles dans le district de Sherbrooke et tâcher d'évaluer de façon très approximative le marché potentiel que pourrait représenter cette région pour un système par satellite, les résultats obtenus seront ensuite extrapolés pour tout le Canada. On notera que les résultats obtenus ici proviennent d'une étude très sommaire et doivent être interprétés comme des indicateurs seulement.

La seconde partie du chapitre va porter sur l'identification de certains secteurs susceptibles de tirer profit d'un système de communications mobiles par satellite. Il ne s'agit pas ici d'identifier tous les domaines d'applications possibles mais plutôt de faire ressortir le fait que le champ d'application est vaste et la clientèle probable importante en autant que le service assuré soit approprié et que les coûts demeurent raisonnables.

1. LE SERVICE MOBILE DANS LA REGION DE SHERBROOKE

Dans cette section nous allons résumer certaines des caractéristiques du service mobile dans la région identifiée par le Ministère des Communications comme le district de Sherbrooke. Les limites géographiques de ce district sont montrées en figure 71. Il faut noter ici que les données statistiques obtenues remontent à 1977 et que la plupart des valeurs citées

# DISTRICT DE SHERBROOKE

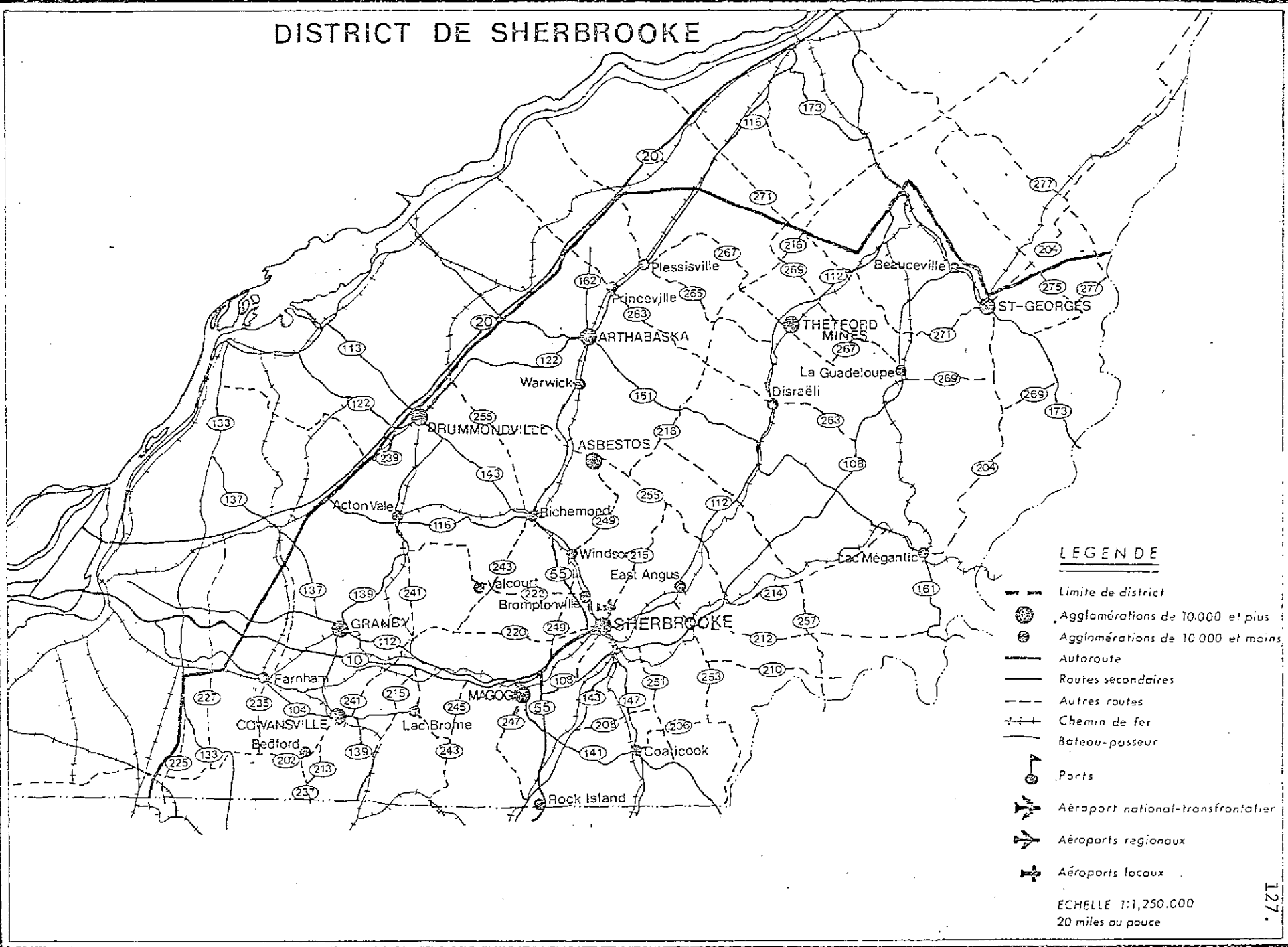


Figure 71

pour 1981 auront été extrapolées.

La région considérée comprend une population estimée à 631,060; de ce nombre 425,965 personnes ont plus de 15 ans et 246,113 sont actives, ce qui correspond à des pourcentages respectifs de 65.% et 39%. Si l'on définit le taux d'activité d'une région comme le rapport entre le nombre des personnes actives et le nombre de personnes âgées de 15 ans ou plus, on obtient pour le district de Sherbrooke un pourcentage de 56%. Les principales activités économiques de la région se retrouvent dans le secteur manufacturier qui compte pour 35%, le secteur des services sociaux, culturels, commerciaux et personnels avec 29% et, finalement, le commerce qui représente 15%.

Par ailleurs, 60% de la population réside en milieu considéré comme urbain. Les principales agglomérations de cette zone sont celles de Sherbrooke avec un peu plus de 100,000 habitants, Drummondville qui en regroupe un peu plus de 50,000, Granby avec 42,000, Victoriaville avec 31,000 et Thetford Mines avec 28,000; toutes les autres agglomérations comptent moins de 20,000 résidents.

### 1.1 SERVICE MOBILE ACTUEL ET PREVISIBLE

On peut se faire une idée relativement juste de la situation des services mobiles dans le district de Sherbrooke en se basant sur le nombre de licences radio qui sont émises annuellement. Le tableau 18 résume les données réelles et extrapolées en ce qui concerne les stations mobiles. Les valeurs estimées ont été évaluées en supposant des taux de croissance de 10% pour le secteur commercial privé et le mobile aéronautique et maritime et de 4% pour les différents organismes gouvernementaux. Le taux de croissance de 10% pour le secteur privé paraît assez réaliste puisqu'il est basé sur l'évolution historique du marché des

| Catégorie de service | 1975 | 1977 | 1981 (E) | 2000 (E) |
|----------------------|------|------|----------|----------|
| Commercial privé     | 2330 | 3082 | 4512     | 27,597   |
| Gouvernement privé   | 344  | 344  | 402      | 848      |
| Municipal            | 313  | 323  | 378      | 796      |
| Mobile aéronautique  | 126  | 159  | 233      | 1,424    |
| Gouvernement fédéral | 0    | 1    | 1        | 2        |
| Service maritime     | 4    | 6    | 9        | 54       |

Tableau 18- Nombre de stations mobiles par catégories de service.

services mobiles dans le district depuis 1970; par contre, la valeur de 4% citée pour les différents paliers de gouvernements pourra être fortement influencée par des conditions économiques générales et la philosophie des autorités en place.

Le tableau 19 présente les données réelles et extrapolées relatives au nombre de stations fixes pour le district de Sherbrooke. Ce tableau s'avère nécessaire puisqu'une bonne partie des stations fixes font partie de réseaux mobiles. Les taux de croissance assumés ont été calculés à partir de données pour la période de 1972-1977. Ces deux tableaux font clairement ressortir que c'est le secteur commercial privé qui connaît le taux de croissance le plus élevé.

On ne peut cependant, à partir de ces données, établir le type exact des services mobiles auxquels correspondent les licences émises pour du commercial privé par exemple: s'agit-il de téléphone mobile, de radio-

mobile pour une flotte de taxis, etc... D'autres renseignements seront nécessaires pour caractériser le domaine d'application.

| Catégorie de service        | 1975 | 1977 | Taux d'accroissement | 1981 (E) | 2000 (E) |
|-----------------------------|------|------|----------------------|----------|----------|
| Commercial public           | 12   | 12   | 1%                   | 12       | 15       |
| Commercial public répéteur  | 22   | 23   | 1%                   | 24       | 29       |
| Commercial public restreint | 35   | 39   | 7%                   | 51       | 185      |
| Commercial privé            | 397  | 589  | 10%                  | 862      | 5274     |
| Commercial privé répéteur   | 5    | 6    | 7%                   | 8        | 28       |
| Commercial privé récepteur  | 3    | 3    | 7%                   | 4        | 14       |
| Expérimental                | 13   | 15   | 5%                   | 18       | 46       |
| Expérimental amateur        | 178  | 214  | 7%                   | 280      | 1014     |
| Mobile aéronautique         | 14   | 13   | 1%                   | 14       | 16       |
| Gouv. provincial            | 129  | 131  | 1%                   | 136      | 165      |
| Municipal                   | 59   | 62   | 2%                   | 67       | 98       |
| Gouv. fédéral               | 1    | 1    | 1%                   | 1        | 1        |
| Agences gouvernementales    | 9    | 9    | 1%                   | 9        | 11       |

Tableau 19- Nombre de stations fixes par catégories de service.



## 1.2 MARCHE POTENTIEL POUR UN SYSTEME MOBILE PAR SATELLITE DANS LE DISTRICT DE SHERBROOKE

Nous allons maintenant examiner par catégories de services le marché possible pour un système de communications mobiles par satellite. On va prendre comme hypothèse que le système par satellite doit servir comme complément au système cellulaire terrestre et en conséquence, nous ne considérerons comme marchés potentiels que les agglomérations urbaines de moins de 200,000 résidents plus des zones proprement rurales. Ceci implique aussi que le système par satellite est susceptible de remplacer les systèmes terrestres classiques là où ces systèmes existent. Dans le district de Sherbrooke, il n'y a pas d'agglomération de plus de 200,000 habitants de sorte que c'est tout le district qui pourrait être desservi par un système par satellite.

### 1.2.1 MARCHE POTENTIEL DU SECTEUR COMMERCIAL PRIVE

Le secteur comprend la radio-mobile privée utilisée par des entreprises telles: taxis, camionnage, services ambulanciers, etc... Il comprend aussi le service de radio-téléphone qui peut être offert par les compagnies téléphoniques ou par des entrepreneurs privés et s'avère populaire surtout dans le milieu des affaires. C'est la téléphonie mobile qui constitue le marché le plus intéressant pour le système par satellite parce que c'est celui qui se développe le plus rapidement. Pour les zones du même type que le district de Sherbrooke, on considère qu'il y a actuellement 1.3 téléphone mobile par millier d'habitants, ce qui fait pour le district un total de 820 radio-téléphones en 1981. En supposant un taux de croissance de 10%, on en arrive à un marché potentiel pour la décade 1990-2000 de 3082.

### 1.2.2 MARCHE POTENTIEL DU SECTEUR GOUVERNEMENTAL

On va considérer ici les deux paliers de gouvernement, fédéral et provincial. Une bonne partie des unités mobiles appartenant à des services gouvernementaux sont opérées par des organismes responsables de l'application des lois: corps policiers provinciaux et fédéraux, douanes et immigration, chasse et pêches, protection civile, etc... On peut supposer qu'environ 90% des unités mobiles du district de Sherbrooke peuvent être classifiées dans cette catégorie, ce qui donne 362 unités en 1981. De ce nombre, on estime que 75% opèrent à l'intérieur de centres urbains ou dans un rayon suffisamment rapproché pour qu'il ne soit pas nécessaire de faire appel à un système par satellite; il reste donc 90 unités qui pourraient bénéficier d'un système par satellite. En assumant un taux de croissance de 4%, on obtient un marché potentiel de 62 unités mobiles pour la période de 1990-2000.

Le 10% qui reste représente 40 unités mobiles affectées surtout aux domaines des ressources, de l'environnement, de la voirie, etc... Dans un district comme celui de Sherbrooke, le marché potentiel que représentent ces domaines est probablement très faible, sinon négligeable.

### 1.2.3 MARCHE POTENTIEL DU SECTEUR MUNICIPAL

Au niveau municipal, la plupart des unités mobiles appartiennent surtout à des corps policiers et ensuite à différents services tels les incendies, la voirie, les services techniques, etc... Il s'agit là d'opération de nature purement locale la plupart du temps et, en conséquence, on considère ce marché potentiel comme négligeable.

#### 1.2.4 MARCHE POTENTIEL DES SECTEURS AERONAUTIQUE ET MARITIME

Le district de Sherbrooke ne comporte pas d'aéroport majeur de type commercial de sorte que la plus grande partie des activités qu'on y retrouve sont du type loisirs. La même remarque vaut pour le secteur maritime. On peut donc ignorer ces deux domaines comme marchés potentiels.

#### 1.2.5 SOMMAIRE

Le tableau 20 résume la situation en ce qui concerne le marché potentiel pour un système par satellite dans le district de Sherbrooke. On obtient un nombre de 3144 unités possibles, la très grande majorité de ces unités appartenant au secteur de la radio-téléphonie privée.

| Service               | Période 1990-2000 |
|-----------------------|-------------------|
| Radio-téléphone privé | 3082              |
| Gouvernemental        | 62                |
| Municipal             | 0                 |
| Aéronautique-maritime | 0                 |

Tab.20- Marché potentiel pour un système par satellite pour le district de Sherbrooke.

Si on assume que le pourcentage de la population canadienne vivant en milieu rural est le même que pour le district de Sherbrooke, on peut extrapoler la valeur mentionnée pour en arriver à un marché potentiel canadien de 45,912 unités mobiles dans la décade 1990-2000.

Il faut se rappeler cependant que pour en arriver à de telles valeurs, on a supposé que le service par satellite ne coûterait pas plus cher que le service cellulaire terrestre et qu'il permettrait une qualité

de service comparable. On a aussi posé comme hypothèse que le service cellulaire terrestre serait disponible dans toutes les agglomérations où la population dépasse 200,000 habitants. Enfin, on n'a pas tenu compte des disparités entre les différentes régions du Canada.

## 2. DOMAINES D'APPLICATION D'UN SYSTEME MOBILE PAR SATELLITE

Cette partie de notre étude va porter sur les différents domaines d'application qui pourraient bénéficier d'un système mobile par satellite. Une hypothèse fondamentale que nous retenons à priori et qui va influencer toute cette section, c'est que le système par satellite doit être vu comme complément à un système mobile cellulaire terrestre desservant toutes les agglomérations avec des populations supérieures à 200,000 habitants.

Nous allons d'abord considérer les domaines d'application les plus immédiats, i.e. les affaires et communications personnelles, la police, les communications en cas de désastre, les services médicaux d'urgence, les transports, les pêcheries, l'environnement et enfin les ressources naturelles. En second lieu, on discutera brièvement d'une classification possible en termes de performances requises.

### 2.1 AFFAIRES ET COMMUNICATIONS PERSONNELLES

Le secteur des affaires représente actuellement la majeure partie de la clientèle pour les services mobiles de radio-téléphone. En milieu urbain, la demande excède souvent la capacité des systèmes à cause du nombre limité de canaux disponibles. Cette situation existe malgré les coûts relativement élevés du service (\$100. à 150./mois) et malgré une qualité de service qui, plus souvent qu'autrement, laisse à désirer.

A titre d'exemple, Bell Canada couvre la ville de Montréal avec un système manuel possédant 12 canaux et dessert actuellement 1450 clients; ce n'est que tout récemment que la même compagnie commençait à offrir un service automatique à 200 autres clients, grâce à un système à 5 canaux. L'implantation prévue pour 1984 d'un système cellulaire devrait cependant améliorer considérablement la situation. Comme deuxième exemple, à Sherbrooke, Bell possède une trentaine d'abonnés desservis par un canal.

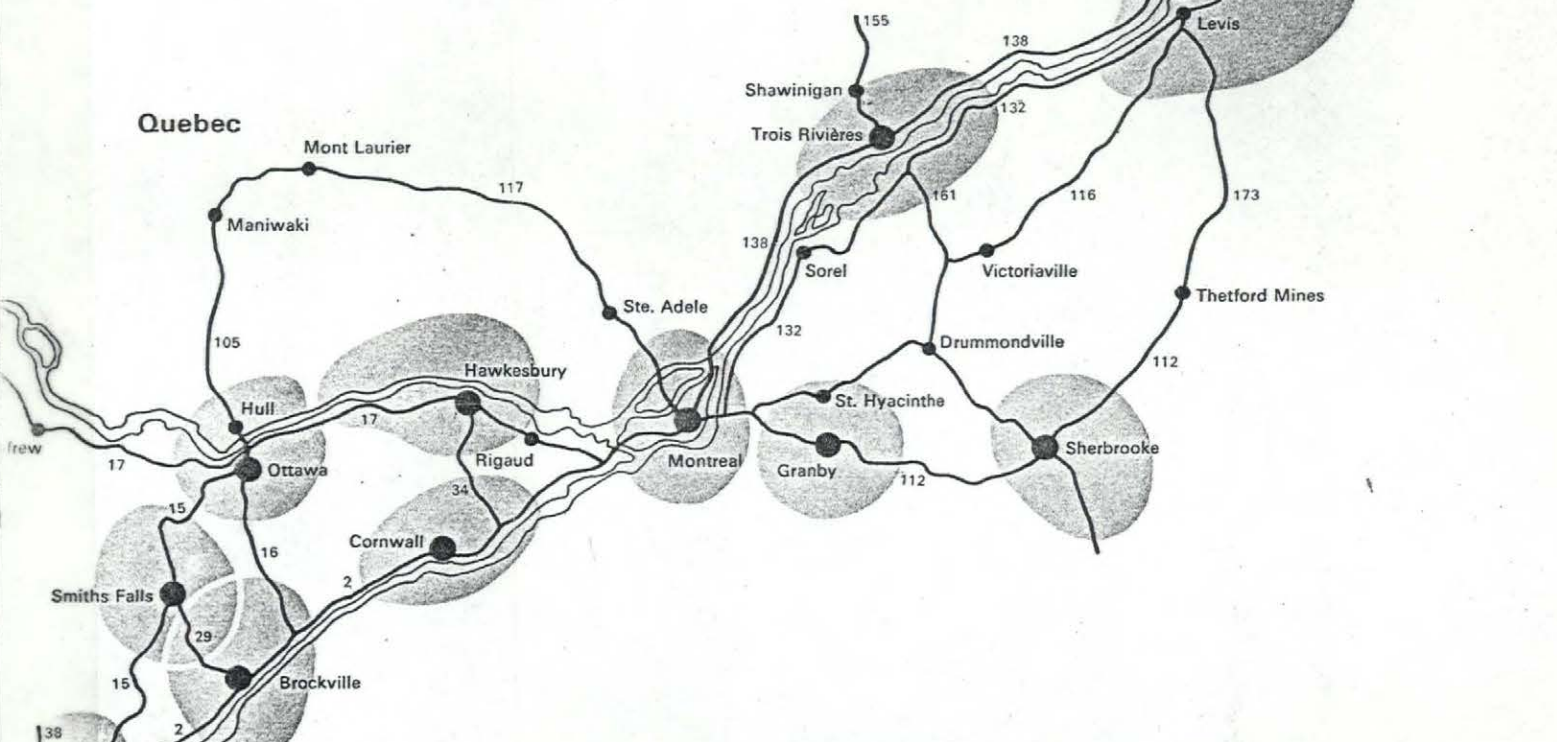
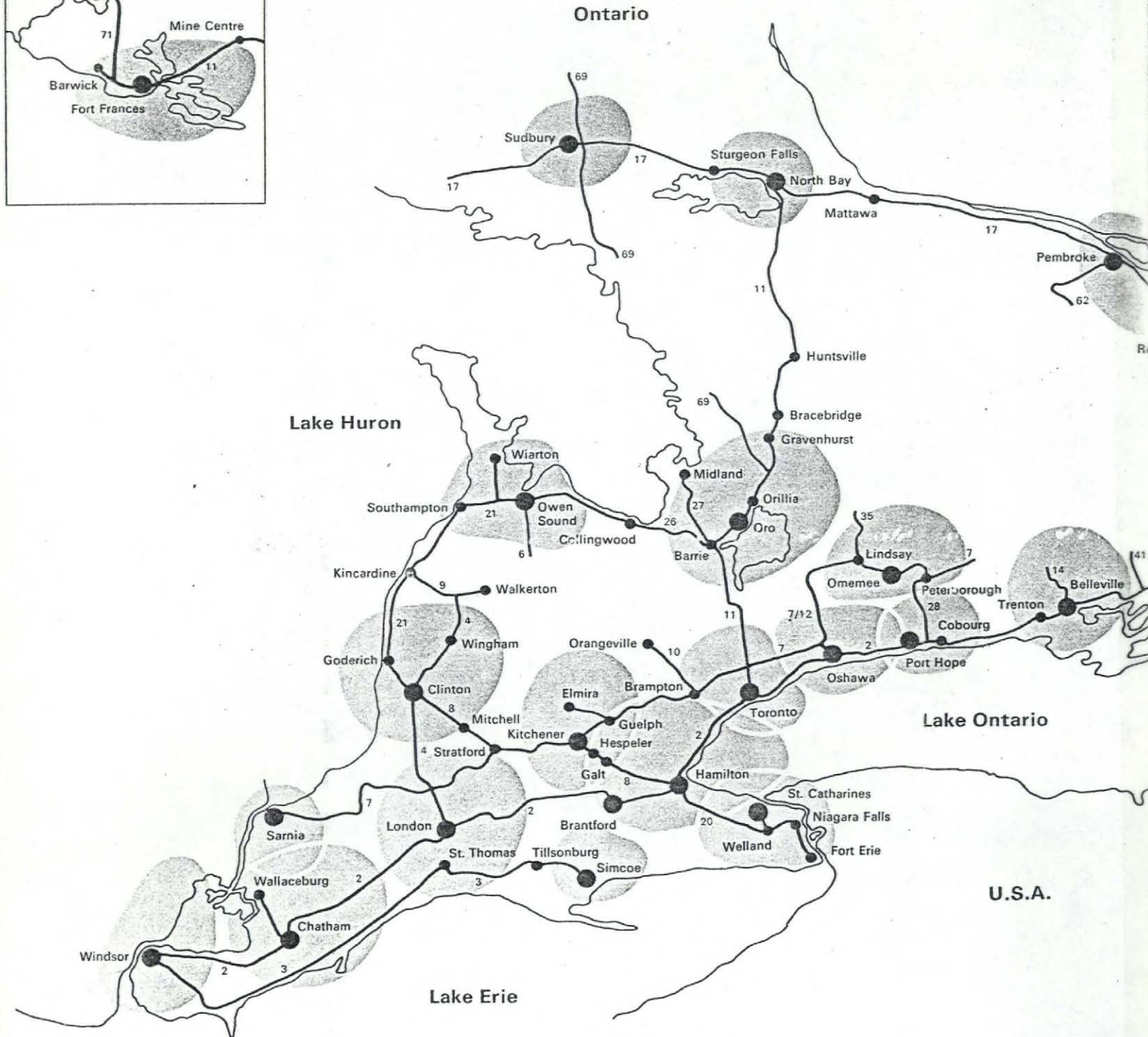
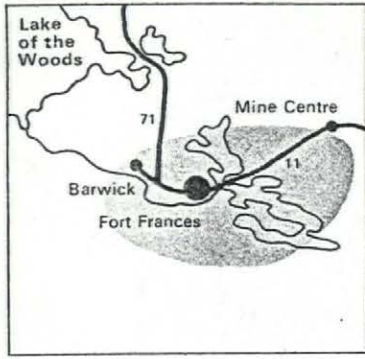
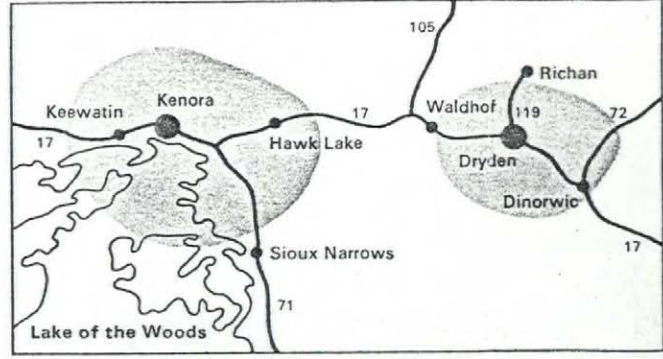
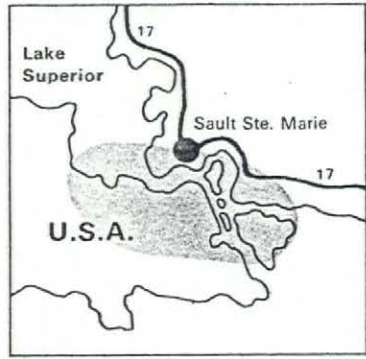
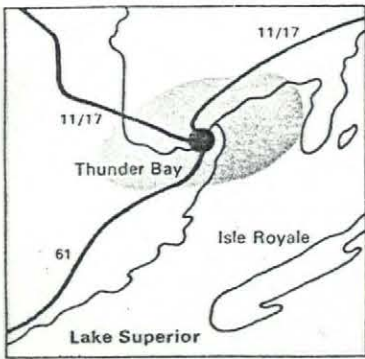
Le principal problème que pose le système mobile actuel c'est que le service n'est offert que dans les zones urbaines les plus importantes. La mise en place d'un système par satellite qui permettrait une couverture intégrale du territoire aurait un effet marqué non seulement sur le secteur des affaires et communications personnelles en milieu rural et semi-rural mais aussi sur la clientèle potentielle du système cellulaire en milieu urbain. La figure 72 montre les zones desservis par le système mobile de Bell Canada au Québec et en Ontario.

## 2.2 POLICE

Tous les corps policiers et autres organismes responsables de l'application des lois sont des usagers importants de services mobiles et, à cause de la nature même de leurs activités, s'avèrent particulièrement conscients des limitations du service actuel. Les problèmes les plus souvent mentionnés concernent la couverture restreinte du territoire, les coûts d'opération, les accidents de terrain provoquant des zones mortes, l'écoute non autorisée et la difficulté dans l'établissement rapide de communications dans des régions éloignées pour des opérations spéciales. La plupart de ces difficultés pourraient être éliminées ou considérablement amoindries advenant l'implantation d'un système mobile par satellite.



# Manual Mobile Telephone Service



### Index of Service Areas

| Service Area         | Channel  | Service Area                                       | Channel        | Service Area   | Channel        |
|----------------------|----------|--|----------------|--|----------------|
| <b>Ontario</b>       |          |  |                |  |                |
| Belleville           | YJ JP    | <b>Ontario (cont'd)</b>                            |                |  |                |
| Brantford            | YK       | Oro (Barrie, Orillia)                              | YJ YP          | <b>Quebec</b>  |                |
| Brockville           | YJ       | Oshawa   | JR             | Chicoutimi   | YJ             |
| Chatham              | YJ       | Ottawa-Hull  | JL JR JS JW    | Granby   | YJ             |
| Clinton              | YJ       |  | YJ             | Montreal   | JK JL JR JS YJ |
| Cornwall             | YR       | Owen Sound   | YJ             |  | YK YL YP YR YS |
| Dryden               | YJ       | Pembroke   | JP             | Quebec   | JR YJ YL       |
| Fort Frances         | YJ       | Port Hope  | YJ             | Sherbrooke   | YJ             |
| Hamilton             | JR JW YP | St. Catharines                                     | JK             | Trois-Rivieres   | YJ YR          |
| Hawkesbury           | JP       | Sarnia   | YL YJ          | <i>*Coverage areas shown are approximate and subject to atmospheric and like conditions.</i> |                |
| Hespeler (Kitchener) | JK YJ    | Sault Ste. Marie (served from S.S. Marie Michigan) | YJ             |  |                |
| Kenora               | YJ       | Simcoe   | JL             |  |                |
| Kingston             | YR       | Smith Falls  | JP             |  |                |
| London               | JR YJ    | Sudbury  | JR YJ          |  |                |
| North Bay            | YJ       | Thunder Bay  | YJ JS          |  |                |
| Omeme (Peterborough) | JK       | Toronto  | JJ JL JP JS YJ |  |                |
|                      |          |  | YK YL YR YS    |  |                |
|                      |          | Windsor  | JJ             |  |                |



Figure 72



### 2.3 COMMUNICATIONS EN CAS DE DESASTRE

Ce secteur possède deux rôles principaux: l'établissement de communications ou la restauration des communications dans les zones affectées et l'évaluation de l'importance et des conséquences immédiates du désastre. Ici, le facteur primordial est toujours le temps de réponse: plus la réponse est rapide et plus on pourra limiter le nombre des victimes, l'importance des dégâts et les coûts associés aux opérations logistiques de support.

Les principaux avantages qu'on associe à un système par satellite sont la portée et la fiabilité accrue, l'élimination des contraintes de ligne de vue et la rapidité de déploiement. En plus, ce système pourrait assurer une relève aux systèmes conventionnels de communications lorsque le réseau électrique ou le système téléphonique sont hors d'usage.

### 2.4 SERVICES MEDICAUX D'URGENCE

Il s'agit là d'un secteur qu'on considère comme peu développé actuellement mais qui pourrait connaître une expansion importante advenant la mise en place d'un système par satellite. En effet, il deviendrait dès lors possible d'assurer des liaisons continues entre véhicules d'urgence et les hôpitaux, même les plus petits; ces liaisons pourraient même servir à la transmission d'électro-cardiogrammes, d'électro-encéphalogrammes, etc... Il est raisonnable de penser qu'un pareil système contribuerait à réduire de façon significative les taux de mortalité ou encore la gravité des effets dans tous les cas où le facteur temps s'avère primordial.

## 2.5 TRANSPORTS

L'industrie du transport est presque entièrement constitué d'entreprises de camionnages et de flottes de taxis. Les taxis tout comme les entreprises locales de camionnage, parce qu'ils opèrent dans un territoire restreint, ne bénéficieraient guère d'un système par satellite. Par contre, le secteur du camionnage longue distance en tirerait sûrement plusieurs avantages. Ce genre d'entreprises utilise des communications lorsqu'il s'agit de choisir des itinéraires, d'établir ou de modifier des horaires, pour des fonctions de contrôle et pour des informations en cas d'urgence. On estime que la disponibilité d'un système de communications adéquat se traduirait pour ces entreprises par un accroissement de l'efficacité de l'ordre de 15 à 25%.

## 2.6 PECHERIES

L'industrie de la pêche représente pour les deux côtes du pays, un facteur économique extrêmement important. Encore ici, on peut présumer que l'implantation d'un système par satellite aurait pour effet d'accroître la sécurité et la rentabilité de cette industrie. Actuellement, seuls les bateaux de pêche de bonne taille disposent de moyens de communications adéquats à cause du coût de telles installations. Le système par satellite permettrait à tous de bénéficier, à des coûts raisonnables, d'informations sur les conditions climatiques, la présence ou l'absence de bancs de poissons et, en cas d'urgence, favoriserait une meilleure coordination des efforts de sauvetage.

## 2.7 ENVIRONNEMENT

Le plus grand problème auxquels ont à faire face les différents organismes ou groupes responsables de la qualité de l'environnement pro-



vient de ce qu'on décèle habituellement les situations anormales ou dangereuses de façon très tardive. De plus, il y a très peu de coordination entre les différents organismes qui s'occupent de ces problèmes. Un système par satellite permettrait possiblement l'établissement de petites stations de contrôle et surveillance à l'échelle du pays et rendrait possible la coordination et le traitement de tous les renseignements obtenus par un organisme central; celui-ci pourrait alors retransmettre les données pertinentes à des centres provinciaux ou régionaux.

## 2.8 RESSOURCES NATURELLES

L'exploration et l'exploitation des ressources naturelles au Canada sont des activités qui, de plus en plus, prennent place dans des régions à peu près inhabitées et qui ne disposent donc pas des moyens traditionnels de communication. L'établissement de liaisons avec les zones habitées implique l'utilisation de moyens très coûteux comme la radio HF ou les satellites ANIK. Il ne fait pas de doute que la disponibilité d'un service mobile par satellite aurait un impact considérable surtout sur les opérations d'exploration.

## 2.9 PERFORMANCES REQUISES

On s'accorde généralement sur le fait que les performances obtenues des systèmes cellulaires terrestres opérationnels s'avèrent des plus satisfaisantes. Il y a donc lieu de penser que les mêmes performances devraient être envisagées pour un système par satellite; il s'agit là d'un objectif qui apparaît réaliste même s'il reste passablement de recherches à effectuer sur les conditions de propagation dans la bande 800-900 MHz.

Pour la plupart des applications potentielles que nous avons considérées jusqu'à maintenant, de telles performances devraient garantir un bon degré de satisfaction parmi les usagers. Il reste cependant que pour certaines catégories d'usagers, tels les corps policiers et autres organismes ayant à réagir à des situations d'urgence, ces performances peuvent être insuffisantes. Ainsi, par exemple, on nous a mentionné que pour son réseau actuel, la Sûreté du Québec spécifiait des temps d'établissement de liaisons inférieurs à 500 millisecondes. Il est bien évident que pour des liaisons mobile à mobile par satellite géostationnaire, cette contrainte particulière est impossible à rencontrer.

On peut par contre présumer que dans le cas d'usagers ayant des exigences spéciales, il soit possible d'améliorer certaines performances, soit par assignation de canaux réservés plutôt que par assignation à demande, soit par un système de contrôle conçu pour identifier différents niveaux de priorité. On pourrait même songer à un canal accessible à tous et réservé uniquement à des fins d'urgence comme cela existe pour le SRG. En réalité, il s'agit là d'un problème de gestion de réseau qui pourra être résolu au niveau de l'algorithme de contrôle.

### 3. CONCLUSION

Dans ce chapitre, on a voulu montrer, de façon très succincte, qu'il existe au Canada un besoin pour un système de communications mobiles par satellite. Même si, à priori, les coûts d'implantation d'un tel système peuvent sembler exorbitants, il y a tout lieu de croire que son impact économique en termes de retombées directes et indirectes serait tel qu'il pourrait devenir rentable d'ici une dizaine d'années.

## BIBLIOGRAPHIE


Cette bibliographie est le résultat d'une recherche informatisée effectuée à la Bibliothèque des Sciences de l'Université de Sherbrooke pour une bonne part et, pour le reste, d'une recherche effectuée par les moyens plus classiques, surtout dans le cas des documents les plus récents. Les banques de données consultées sont celles du NTIS (National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce) et de l'Engineering Index.

De toutes les références obtenues, nous n'avons conservées, à ce moment-ci, que celles qui nous paraissaient les plus pertinentes et que nous avons déjà pu obtenir. Par ailleurs, une mise à jour périodique s'effectue au fur et à mesure que de nouveaux documents nous arrivent. A notre avis, le format de présentation retenu facilite cette mise à jour.

La bibliographie est divisée en deux INDEX, l'un d'AUTEURS, l'autre de SUJETS.

L'index "Auteur" présente les références par ordre alphabétique d'auteur, le nom de l'auteur principal prévalant toujours dans les cas d'auteurs multiples; les noms des auteurs secondaires apparaissent alors au-dessous du nom de l'auteur principal. Enfin, dans le cas de documents sur lesquels n'apparaît aucun auteur particulier, le nom de la firme ou organisme d'où émane le document est cité comme auteur.

L'index "Sujets" reprend les références de l'index précédent mais, cette fois-ci, en fonction de sujets principaux. Dans cet index, une même référence pourra apparaître à plus d'une reprise si différents sujets y sont abordés. Enfin, il faut prévoir que de nouveaux sujets apparaîtront dans cet index au fur et à mesure que nos recherches avanceront. Ceci pourra provoquer une reclassification de certains documents.



INDEX

AUTEUR

A

- A1 Arredondo, G.A.  
Smith, J.I. "Voice and data transmission in a mobile radio channel at 850 MHz", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-26, #1, (Feb. 1977), pp. 88-93.
- A2 Anderson, L.G. "A simulation study of some dynamic channel assignment algorithms in a high capacity mobile telecommunications system", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-22, #4, (Nov. 1973), pp. 210-217.
- A3 Anderson, J.S. "Aeronautical and maritime services", ICC 74, Minneapolis, pp. 19c-1 @ 19c-5.
- A4 Anderson, R.E.  
Milton, R.T.  
Brown, J.R. "Satellite-aided mobile telephone system", Draft to be presented to: National Electronics Conf., Chicago, 10/29-31/79.
- A5 Alper, A.T.  
Arnbak, J.C. "Satellite system considerations for the optimum use of reconfigurable transmit multiple beam antennas", NTC'79, Washington, pp. 52.4.1 @ 52.4.5.
- A6 Anderson, R.E. "Experiments and problems in satellite-aided mobile communications", Wescon 1978 (North Hollywood, CA), 12-14 sept. 1978, pp. 31/5.1 @ 31/5.14.
- A7 Acampora, A.S. "Digital error rate performance of active phased array satellite systems", IEEE Trans. on Ant. & Propag., vol. AP-26, #6, (Nov. 1978), pp. 833-842.
- A8 Audestad, J.A. "Telephone signalling in maritime mobile satellite systems", Int. Conf. on Maritime and Aeronaut. Sat. Commun. and Navig., London, England, (Mars 7-9, 1978), pp. 49-51.
- A9 Anderson, R.E.  
Milton, R.T.  
Brow, J.P. "Communication satellite studies applicable to mobile telephone services", NTC'79, Washington, pp. 30.5.1 @ 30.5.7.
- A10 Anderson, R.E. "Application of satellite communication and position fixing techniques to land mobile systems", Final report, Contract DEA-76-20, (Jan. 16, 1976-Nov. 16, 1976).
- A11 Anderson, R.E.  
Milton, R.T. "Satellite-aided mobile radio concepts study", Final report, contract no. NAS5-25134, (June 1979).
- A12 Adlerstein, Sid "LSI chips move into cellular communications", Electronic Design, (July 5, 1980), pp. 31-32.

- A13 Arredondo, G.A.  
Feggeler, J.C.  
Smith, J.I. "Voice and data transmission",  
BSTJ, vol. 58, #1, (Jan. 1979), pp. 97 @ 123.
- A14 Allsebrook, K.  
Parsons, J.D. "Mobile radio propagation in British cities  
at frequencies in the VHF and UHF bands",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-26, #4,  
(Nov. 77), pp. 313 @ 323.
- A15 Anderson, R.E.  
Milton, R.T.  
Brown, J.P. "Potential of satellite-aided mobile Telephone",  
Int. Conf. Cybernetics Soc., Denver, Colorado,  
(Oct. 8-10, 1979), pp. 73 @ 81.
- A16 Arredondo, G.A. "Analysis of radio paging errors in multi-trans-  
mitter mobile systems",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-22, #4,  
(Nov. 1973), pp. 226 @ 234.

**B**



- B1    Brisken, A.F.  
       Anderson, R.E.  
       Frey, R.L.  
       Lewis, J.R.        "Land mobile communications and position  
                           fixing using satellite",  
                           IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-28, #3,  
                           (Aug. 1979), pp. 153-169.
- B2    Barnla, J.D.        "U.S. 79 WARC proposal for 12 GHz satellite  
                           allocations in region 2",  
                           NTC'79, Washington, pp. 57.3.1 @ 57.3.5.
- B3    Brusaferrri, P.  
       Ongaro, D.  
       Failli, R.        "Use of 12.5 KHz interleaved channel plan as  
                           a means of increasing traffic capabilities of  
                           nation wide public mobile systems",  
                           Intelcom '79, Dallas, pp. 258-260.
- B4    Borman, W.M.        "Land mobile issues for the 1979 world adminis-  
                           trative radio conference",  
                           ICC'78, Toronto, pp. 22.6.1 @ 22.6.3.
- B5    Burke, M.J.        "A simplified method for obtaining occupancies  
                           of frequencies in the land-mobile bands",  
                           ICC'78, Toronto, pp. 4.3.1 @ 4.3.4.
- B6    Brisken, A.F.        "Automatic continental land mobile position  
                           fixing via satellite",  
                           Navigation, vol. 25, #3, (Fall 1978), pp. 277-289.
- B7    Bekey, I.        "Big comsats for big jobs at low user cost",  
                           Astronautics & Aeronautics, (Feb. 1979), pp.  
                           42-56.
- B8    Burge, C.D.  
       Zuschlag, R.     "Initial results and assessment of a communica-  
                           tions experiment using NASA's ATS-3 for emer-  
                           gency medical services",  
                           NTC'79, Washington, pp. 30.6.1 @ 30.6.5.
- B9    Bowen, R.R.        "Satellite broadcasting after WARC-79",  
                           AIAA 8th Communication Satellite Systems Conf.,  
                           Orlando, Florida, (April 20-24, 1980).
- B10    Bremenson, C.  
       Palazo, M.  
       Neyer, R.        "Linearizing T.W.T. amplifiers in satellite  
                           transponders - system aspects and practical  
                           implementation",  
                           AIAA 8th Communication Satellite Systems Conf.,  
                           Orlando, Florida, (April 20-24, 1980), pp. 80-89.
- B11    Brisken, A.F.  
       Frey, R.L.  
       Anderson, R.E.    "Application of satellite communication and  
                           position fixing techniques to land mobile  
                           systems",  
                           G.E., contract DEA-76-20, Final report, (Nov.  
                           1976).
- B12    Bullington, K.     "Radio propagation for vehicular communications",  
                           IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-26, #4,  
                           (Nov. 1977), pp. 295 @ 309.

- B13 Black, D.M.  
Reudink, D.O. "Some characteristics of mobile radio propagation at 836 MHz in the Philadelphia area",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-21, #2,  
(May 1972), pp. 45 @ 51.
- B14 Bekey, I. "Comparative economics of very high capacity communications satellites",  
Acta Astronautica, vol. 6 #12, (December 1979),  
pp. 1669 @ 1683.

C

- C1 Chandler, D.L. "Deflection analysis of supporting structures for antennas to be used in a mobile telephone system", ICC'76, Philadelphia, (June 14-16), pp. 27-11 @ 27-14.
- C2 Cox, D.C.  
Reudink, D.O. "Some effects on channel occupancy of limiting the number of available servers in small cell mobile radio systems using dynamic channel assignment", IEEE Trans. on Comm., vol. COM-27, #8, (Aug. 79).
- C3 Cox, D.C.  
Reudink, D.O. "Dynamic channel assignment in two-dimensional large-scale mobile radio systems", BSTJ, vol. 51, #7, (Sept. 1972), pp. 1611-1629.
- C4 Cox, D.C.  
Reudink, D.O. "Dynamic channel assignment in High-capacity mobile communications systems", BSTJ, vol. 50, #6, (July/Aug. 1971), pp. 1833-1857.
- C5 Clarke, R.H. "A statistical theory of mobile-radio reception", BSTJ, vol. (July/Aug. 1968), pp. 957-1000.
- C6 Caile, J.  
McDowell, B.  
Randby, M.A.  
Stern, M. "A combined mobile and portable cellular telephone system", ICC'79, Boston, pp. 57.5.1 @ 57.5.4.
- C7 Castruccio, P.A. "The technical and economic role of space technology in terrestrial mobile communications", NTC'79, Washington, pp. 30.4.1 @ 30.4.6.
- C8 Cooper, G.R.  
NettLeton, R.W. "Special Efficiency of spread-spectrum land-mobile communication systems", Intelcom'79, Dallas, pp. 267-270.
- C9 Glarricoats, P.J.  
Poulton, G.T. "High-efficiency microwave reflector antennas a review", Proc. IEEE, vol. 65, #10, (Oct. 1977), pp. 1470-1504.
- C10 Carter, C.R.  
Hagkin, S.S. "Design and performance of synchroniser for switching satellite", Proc. IEEE, vol. 123, #8, (Aug. 1976), pp. 737-742.
- C11 Cooper, G.R.  
Netttleton, R. "A spread-spectrum technique for high-capacity mobile communications", IEEE Trans. on Vehic. Tech.. vol. VT-27, #4, (Nov. 1978), pp. 264-275.
- C12 Cooper, G.R.  
Nettleton, R.W. "A spread-spectrum technique for high-capacity mobile communications", IEEE Veh. Tech. Group Annu. Conf. 27th, Orlando, (March 16-18, 1977), pp. 98-103.

- C13 Cooper, G.R. "Multi-service aspects of spread-spectrum mobile communication systems", MidCon'78, Dallas, Texas, (Dec. 12-14, 1978), Paper #28.2.
- C14 Chatterjee, C.K.  
Bhagiratha Rao, E. "Design considerations of mobile/remote area satellite terminals for digital communication of the defense services", J. Instn Electronics & Telecom. Engrs., vol. 24, #2, (Feb. 1978), pp. 75-79.
- C15 Charas, P. "Satellite communication using a multi-beam array", Ericsson review, vol. 55, #4, (1978), pp. 126-129.
- C16 Cooper, G.R.  
Nettleton, R.W. "Spectral efficiency in cellular land-mobile communications: a spread-spectrum approach", Purdue University, report # TR-EE 78-44, (Oct. 31, 1978).
- C17 Canadian  
Astronautics  
Limited "Study of a spacecraft equipped with a large aperture antenna for mobile-satellite service", Doc. contract 15ST.36100-8-4003, (Sept. 1979).
- C18 Carey, W.T.  
Bowman, R.M.  
Stone, G.R. "Developing the concept of a geostationary platform", AIAA 8th Communication Satellite Systems Conf., Orlando, Florida, (April 20-24, 1980).
- C19 Collomb, J.  
Gosset, P.  
Raye, H. "A new generation of satellite traveling-wave tubes for TV-broadcasting and telecommunications", AIAA 8th Communication Satellite Systems Conf., Orlando, Florida, (April 20-24, 1980), pp. 90-97.
- C20 Crowell, R. "Télécommunications par satellite", Journal des Télécommunications, vol. 47, VI/80, pp. 388-391.
- C21 Caples, E.  
Massad, K.E.  
Minor, T.R. "A UHF channel simulator for digital mobile radio", IEEE Trans. on Vehicular Tech., vol. VT-29, #2, (May 1980), pp. 281-289.
- C22 Cox, D.C. "Multipath delay spread and path loss correlation for 910 MHz urban mobile radio propagation", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-26, #4, (Nov. 1977), pp. 340 @ 344.
- C23 Cox, D.C.  
Leck, R.P. "Distributions of multipath delay spread and average excess delay for 910 MHz urban mobile radio paths", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. AP-23, #2, (March 1975), pp. 206 @ 213.

- C24 Cohen, P.  
Haccoun, D. "Analyse d'activité sur les canaux de radio-  
téléphone mobile dans la région de Montréal",  
Canadian Commun. & Power Conf., (Montréal, oct.  
15-17, 1980), pp. 425 @ 428.
- C25 Chadha, K.J.S.  
et al. "Mobile telephone switching office",  
BSTJ, vol. 58, #1, (Janv. 1979), pp. 71 @ 95.

D

- D1 Ducharme, E.D. "Canadian preparations for the 1979 world administrative radio conference", ICC'79, Boston, pp. 12.2.1 @ 17.2.3.
- D2 Durrani, S.H. "Narrowband system activities in the NASA communications program", ICC'79, Boston, pp. 15.4.1 @ 15.4.5.
- D3 Drumheller, C.S.  
Greenberg, J.S.  
Miller, B.P.  
Stevenson, P. "Benefits and cost effectiveness of satellite-aided communications for emergency medical services, fighting forest fires and pickup and delivery trucking applications", NTC'79, Washington, pp. 30.2.1 @ 30.2.6.
- D4 Dekker, C.B. "The application of tamed frequency modulation to digital transmission via radio", NTC'79, Washington, pp. 55.3.1 @ 55.3.7.
- D5 Davidson, D.  
Zahalka, L.B. "Propagation factors on space-earth paths and implications for K-band satellite-link design", Intelcom'79, Dallas, pp. 331-334.
- D6 Dekker, C.B. "A comparison of digital transmission techniques for standard FM mobile radio sets", Eurocon, (3-7 Mai, 1977), Italy, pp. 2.3.1 @ 2.3.15.
- D7 Dvorak, T. "Compatibility of spread-spectrum signals with narrow-band-FM receivers in VHF mobile networks", IEEE Electromag. Compat. Symp. Rec., Atlanta, (June 20-22, 1978), pp. 19-23.
- D8 Davies, R.  
Chethik, M.  
Penick, M. "Packet communications in satellites with multiple-beam antennas and signal processing", AIAA 8th Communication Satellite Systems Conf., Orlando, Florida, (April 20-24, 1980).
- D9 Davidson, A.L.  
Turney, W.J. "Mobile antenna gain in the multipath environment at 900 MHz", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-26, #4, (Nov. 1977), pp. 345 @ 348.
- D10 Davis, B.R. "FM noise with fading channels and diversity", IEEE Trans. on Comm. Tech., vol. COM-19, #6, (Déc. 1971), pp. 1189-1200.
- D11 Davis, B.R. "Random FM in mobile radio with diversity", IEEE Trans. on Comm. Tech., vol. COM-19, #6, (Déc. 1971), pp. 1259 @ 1267.



E

- E1 Engel, J.S.  
Peritsky, M.M. "Statistically-optimum dynamic server Assignment in systems with interfering servers", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-22, #4, (Nov. 1973), pp. 203-209.
- E2 Engel, J.S. "The effects of cochannel interference on the parameters of a small cell mobile telephone system", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-18, #3, (Sept. 1969), pp. 110-116.
- E3 Elnoubi, S.  
Singh, R.  
Gupta, S.C. "A new channel assignment scheme in land mobile radio communications", NTC'79, Washington, pp. 9.1.1 @ 9.1.7.
- E4 Egami, S.  
Okamoto, T.  
Fuketa, H. "K-band mobile earth station for domestic satellite communications system", IEEE Trans. on Comm., vol. COM-28, #2, (Feb. 1980), pp. 291-294.
- E5 Eckert, R.P.  
Kelly, P.M. "Implementing spread spectrum technology in the band mobile radio services", IEEE Trans. on Comm., vol. COM-25, #8, (Aug. 1977), pp. 867-869.
- E6 Edens, J.W. "Small receive only terminals for broadcast satellite", Eurocon'77, (3-7 May, 1977), Italia, pp. SP5.3.1 @ SP5.3.7.
- E7 Ehrlich, N. "The advanced mobile phone service", Proc. of the Jerusalem Conf. on Inf. Tech., 3rd (JCIT3), Israel, (Aug. 6-9, 1978), pp. 437-441.
- E8 Eastmond, B.C.  
Pautler, J.A. "Performance of a two-branch radiotelephone selection diversity receiver", IEEE Veh. Tech., Conf., 29th, Arlington Heights, Ill., (March 27-30, 1979), pp. 164-171.
- E9 Econ Inc. "Preliminary benefits study for a public service communications satellite system: Task order 2", Final report, contract # NASW-3047, (Jan. 1978).
- E10 Econ Inc. "Estimation of the demand for public services communications", Final report, contract # NASW-2558, (Dec. 1976).
- E11 Era  
Rf Technology Centre "Study of the performance and limitations of multiple-beam antennas", Part 1 & 2, ESTEC contract # 2277/74HP, (Sept. 1975).

- E12 Econ Inc. "A study of the benefits and cost effectiveness of satellite-aided communications for emergency medical services, fighting forest fires and pickup and delivery trucking applications", Contract # NASW-3047, Task VIII, (April 27, 1979).
- E13 En, J. "An error-correcting system for mobile radiodata transmission", IEEE Transactions on Vehicular Tech., vol. VT-29, #2, (May 1980), pp. 278-280.
- E14 Ehrlich, N.  
Fisher, R.E.  
Wingard, T.K. "Cell-site hardware", BSTJ, vol. 58, #1, (Janv. 1979), pp. 153 @ 199.
- E15 Egli, J.J. "Radio propagation above 40 Mc over irregular terrain", Proc. of the IRE, vol. 45, (Oct. 1957), pp. 1383 @ 1391.

**F**

- F1 Fisher, R.E. "A description of the Bell System 850-MHz high capacity mobile telecommunication system", ICC'76, (June 14-16), Philadelphia, pp. 27-1 @ 27-4.
- F2 Fluhr, Z.C.  
Nussbaum, E. "Switching plan for a cellular mobile telephone system", IEEE Trans. on Vh Tech., vol. VT-22, #4, (Nov. 1973), pp. 197-202.
- F3 Forrest, R.T. "A practical approach to radio propagation measurements as used in the design of mobile radio communications system", ICC'74, Minneapolis, pp. 14C-1 @ 14C-5.
- F4 Frenkiel, R.H. "A high-capacity mobile radiotelephone system model using a coordinated small-zone approach", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-19, #2, (May 1970), pp. 173-177,
- F5 Fordyce, S.  
Stamminger, R. "The use of geostationary platforms for future U.S. domestic satellite communication", ICC'79, Boston, pp. 49.4.1 @ 49.4.5.
- F6 Falk, H. "Microprocessors talk it up", Spectrum, (March 1977), pp. 49-53.
- F7 Freeman, L.D. "Digital signaling for 900 MHz radio", ICC'74, Minneapolis, pp. 14F-1 @ 14F-5.
- F8 Fleisig, R.  
Bernstein, J.L. "Serving the public via platforms in space", Adv. Astronaut. Sci. V37 pt1, Proc. of Am. Astronaut. Soc. Annu. Meet. 24th and Goddard Mem. Meet, 16th, Washington, D.C., (March 8-10, 1978), pp. 225-237.
- F9 Fisher, R.E. "Interference between UHF television systems and 850 MHz cellular mobile telephone systems", NTC'77, Los Angeles, Calif., (Dec. 5-7), pp. 25.3.1 @ 25.3.4.
- F10 Fluhr, Z.C.  
Porter, P.T. "Control architecture", BSTJ, vol. 58, #1, (Janv. 1979), pp. 43 @ 69.
- F11 Fisher, R.E. "A subscriber set for the equipment test", BSTJ, vol. 58, #1, (Janv. 1979), pp. 123 @ 143.
- F12 French, R.C. "The effect of fading and shadowing on channel reuse in mobile radio", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-28, #3, (Aug. 1979), pp. 171 @ 181.

- F13 French, R.C. "Error rate predictions and measurements in the mobile radio data channel", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-27, #3, (Aug. 1978), pp. 110 @ 116.
- F14 French, R.C. "Mobile radio data transmission in the urban environment", ICC'76, Philadelphia, (June 14-16, 1976), pp. 27-15 @ 27-20.

G

- G1 Guenther, H. "Mobile radio telephony in Europe requirements of and solutions for system, network and equipment",  
ICC'79, Boston, pp. 57.6.1 @ 57.6.5.
- G2 Gosling, W. "Single sideband as a contribution to spectrum efficient civil land mobile radio",  
Intelcom'79, Dallas, pp. 254-257.
- G3 Goldman, A.M.  
Edelson, R.E. "On several communications satellite designs using large space antennas",  
Pacific Telecom. Conf., Honolulu, Hawaii, (Jan. 8-9, 1979), pp. 3B-5 @ 3B-14.
- G4 Gans, M.J. "A power-spectral theory of propagation in the mobile-radio environment",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-21, #1,  
(Feb. 1972), pp. 27 @ 38.
- G5 Gosling, W. "A simple mathematical model of co-channel and adjacent channel interference in land mobile radio",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-29, #4,  
(Nov. 1980), pp. 361 @ 364.
- G6 Gray, G.D. "The simulcasting technique: an approach to total-area radio coverage",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-28, #2,  
(May 1979), pp. 117 @ 125.



H

- H1 Hindin, H.J. "Cellular system expands number of mobile-phone channels",  
Electronics, (May 24, 1979), pp. 158-164.
- H2 Hagen, J.W. "A VHF radio system for providing telephone subscriber service",  
ICC'76, (June 14-16), Philadelphia, pp. 27.27 @ 27.32.
- H3 Hachenburg, V.  
Holm, B.D.  
Smith, J.I. "Data signaling functions for a cellular mobile telephone system",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-26, #1, (Feb. 1977), pp. 82-88.
- H4 Hirata, Y.  
Kuogoky, M.  
Isomura, E. "A study on satellite communications for mobiles",  
AIAA 4th Communications Satellite Systems Conf., Washington, (April 24-26, 1972), pp. 249-263.
- H5 Huff, D.L. "The developmental system",  
BSTJ, vol. 58, #1, (Jan. 1979), pp. 249-269.
- H6 Henry, P.S. "Spectrum efficiency of a frequency-hopped-DPSK spread-spectrum mobile radio system",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-28, #4, (Nov. 1979), pp. 327-332.
- H7 Haviland, R.P. "Why space broadcasting",  
Spectrum, (Feb. 1970), pp. 86-91.
- H8 Hattori, T.  
Hirade, K.  
Adachi, F. "Theoretical studies of a simulcast digital radio paging system using a carrier frequency offset strategy",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-29, #1, (Feb. 1980), pp. 87-95.
- H9 Hess, G.C. "Land-mobile satellite excess path loss measurements",  
IEEE Veh. Tech. Conf. 29th, Arlington Heights Ill., (March 27-30, 1979), pp. 342-347.
- H10 Hult, J.L. "The promise of UHF satellites for mobile, broadcast and low-cost services and related new communications allocations, operations, and policies",  
(May 1969).
- H11 Hunt, W.T. "Propagation effects on satellite communication system operating in the range of 240 MHz to 3 GHz",  
Report # AFAL-TR-78-145. (Oct. 1979).
- H12 Hess, G.C. "Land-mobile satellite excess path loss measurements",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-29, #2, (May 1980), pp. 290-297.

- H13 Hattori, T.  
Ogose, S. "A new modulation scheme for multitransmitter simulcast digital mobile radio communication", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-29, #2, (May 1980), pp. 260-269.
- H14 Hata, M. "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-29, #3, (Aug. 1980), pp. 317-325.
- H15 Hata, M.  
Nagatsu, T. "Mobile location using signal strength measurements in a cellular system", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-29, #2, (May 1980), pp. 245-251.
- H16 Halpern, S.W. "The theory of operation of an equal-gain prediction regenerative diversity combiner with Rayleigh fading channels", IEEE Trans. on Comm., vol. COM-22, #8, (Aug. 1974), pp. 1099 @ 1106.
- H17 Hansen, F.  
Meno, F.I. "Mobile fading-Rayleigh and lognormal superimposed", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-26, #4, (Nov. 1977), pp. 332 @ 335.
- H18 Hirade, K.  
et all "Error-rate performance of digital FM with differential detection in land mobile radio channels", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-28, #3, (Aug. 1979), pp. 204 @ 212.
- H19 Halpern, S.W. "The effect of having unequal branch gains in practical prediction diversity systems for mobile radio", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-26, #1, (Feb. 1979), pp. 94 @ 105.
- H20 Hattori, T.  
Hirade, K. "Multitransmitter digital signal transmission by using offset frequency strategy in a land-mobile telephone system", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-27, #4, (Nov. 1978), pp. 231 @ 238.
- H21 Herro, M. "Spectral efficiency of FM and ACSB radios", Stanford Univ. Prepared for FCC, (May 1980), Technical report #26.
- H22 Hindson, W.D.  
Butterworth, J.  
Heal, J. "Communications system concept for the 800 MHz service on the demonstration MSAT", 2nd draft, (30 déc. 1980).



- I1 Ikegami, F. "Mobile radio communications in Japan",  
IEEE Trans. on Comm., vol. COM-20, #4,  
(Aug. 1972).
- I2 Ito, S. "800 MHz band land mobile telephone system-  
Matsuzaka, Y. overall view",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-27, #4,  
(Nov. 1978), pp. 205-211.
- I3 Ito, S. "800 MHz band land mobile telephone system -  
Matsuzaka, Y. overall view",  
Review of the Electrical Communication Labora-  
tories, vol. 25, #11,12, (Nov. Déc. 1977), pp.  
1147-1156.
- I4 Itoh, K. "A slot-unipole energy-density mobile antenna",  
Cheng, D.K. IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-21, #2,  
pp. 59-62, (May 1972).
- I5 I.C.S.R. "Emergency response communications program",  
Hufnagel Committee, (June 1979).

J

- J1 Jubon, J.D. "An approach to offering cellular/800 MHz compatible mobile telephone service in small and medium markets",  
NTC'79, Washington, pp. 9.3.1 @ 9.3.5.
- J2 Jager, F.  
Dekker, C.B. "Tamed frequency modulation, a novel method to achieve spectrum economy in digital transmission",  
IEEE Trans. on Comm., vol. COM-26, #5, (May 78),  
pp. 534-542.
- J3, Jefferis, A.K. "New synchronisation scheme for communication-satellite time-division multiple-access systems",  
Electronics Letters, (Nov. 29, 1973), vol. 9,  
#24, pp. 566-568.
- J4 Jamieson, W.M. "Potential markets for a satellite-based mobile communications system",  
NASA Contract # NASW-2800, (April 16, 1976).
- J5 Jones, J.J.  
& al. "A study and experiment plan for digital mobile communication via satellite",  
Final report, Ford, contract # NAS2-9936, (Nov. 1978).
- J6 Jensen, J.J. "900-MHz mobile radio propagation in the Copenhagen area",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-26, #4,  
(Nov. 1977), pp. 328 @ 331.
- J7 Jakes, W.C. "Microwave mobile communications",  
John Wiley & Sons, (1974).

**K**



- K1 Kahwa, T.J.  
Georganas, N.D. "A hybrid channel assignment scheme in large-scale cellular-structured mobile communication systems",  
IEEE Trans. on Comm., vol. COM-26, #4, (April 1978), pp. 432-438.
- K2 Kennedy, J.T. "Amps Chicago developmental cellular system",  
ICC'79, Boston, pp. 57.1.1.
- K3 Knouse, G.H. "Terrestrial/Land mobile satellite considerations, NASA plans & critical issues",  
NTC'79, Washington, pp. 30.1.1 @ 30.1.6.
- K4 Kiesling, J.D. "Communications satellite systems using SS-FDMA",  
Intelcom'79, Dallas, pp. 362-366.
- K5 Kreutel, R.W.  
& al. "Antenna technology for frequency reuse satellite communications",  
Proc. IEEE, vol. 65, #3, (March 1977), pp. 370-378.
- K6 Kamata, T.  
Sakamoto, M.  
Fukuzumi, K. "800 MHz band land mobile telephone radio system",  
Review of the Electrical Communication Laboratories, vol. 25, #11,12, (Nov, Déc. 1977), pp. 1157-1171.
- K7 Kumazawa, H.  
Ueno, K. "Dual reflector type multi-beam antenna for communication satellites",  
Review of the Electrical Communication Laboratories, vol. 25, #7,8, (July-Aug. 1977), pp. 805-820.
- K8 Kubota, M.  
Kikuchi, T. "High capacity automobile telephone system",  
IEEE Veh. Tech. Conf. 29th, Arlington Heights, Ill., (March 27-30, 1979), pp. 238-244.
- K9 Kelly, P.M. "Fallow land and fertile spectrum",  
Midcon'77: Electron show and conv. Conf. Rec. Chicago, (Nov. 8-10, 1977), paper #9.1, 5 pages.
- K10 Koelle, D.E.  
Kleinau, W. "The GEO-SPAS platform - A third generation communication satellite concept",  
AIAA 8th Communication Satellite Systems Conf., Orlando, Florida, (April 20-24, 1980).
- K11 Kozono, S.  
Watanabe, K. "Influence of environmental buildings on UHF land mobile radio propagation",  
IEEE Trans. on Comm., vol. COM-25, #10, (Oct. 1977), pp. 1133 @ 1143.
- K12 Kelly, K.K. "Flat suburban area propagation at 820 MHz",  
IEEE Trans. on Vech. Tech., vol. VT-27, #4, (Nov. 1978), pp. 198 @ 204.

- K13 Knouse, G.H. "Terrestrial/land mobile satellite considerations, Nasa plans, and critical issues", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-29, #4, (Nov. 1980), pp. 370 @ 374.
- K14 Komura, M.  
Hagihira, T.  
Ogasawara, M. "New radio paging system and its propagation characteristics", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-26, #4, (Nov. 1977), pp. 362 @ 366.
- K15 Knouse, G.H. "Proposed mobile satellite communications program", Presented to the Spectrum Planning Subcommittee (SPS) of IRAC, (11 déc. 1980), Nasa Headquarters.

L

- L1     Lundquist, L.  
       Peritsky, M.     "Cochannel interference rejection in a mobile radio space diversity system", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. 20, #3, (Aug. 71), pp. 68-75.
- L2     Lewis, J.L.         "Satellite multiple access systems for mobile communication", NTC'79, Washington, pp. 9.5.1 @ 9.5.5
- L3     Lu, H.S.             "The effect of tolerances on the isolation of frequency reuse antennas", IEEE Trans. on Ant. & Prop., (Jan. 1975), pp. 115-118.
- L4     Lane, R.N.          "Spectral and economic efficiencies of band mobile radio systems", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-22, #4, (Nov. 1973), pp. 93-103.
- L5     Lavin, O.W.         "The use of computer simulation for analysis of communications requirement", ICC'74, Minneapolis, pp. 14G-1 @ 14G-4.
- L6     Lee, W.C.Y.         "Studies of base-station antenna height effects on mobile radio", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-29, #2, (May 1980), pp. 252-259.
- L7     Lee, W.C.Y.  
       Brandt, R.H.         "The elevation angle of mobile radio signal arrival", IEEE Trans. on Comm., vol. COM-21, #11, (Nov. 1973), pp. 1194 @ 1197.
- L8     Lee, W.C.Y.         "Effects on correlation between two mobile radio base-station antennas", IEEE Trans. on Comm., vol. COM-21, #11, (Nov. 1973), pp. 1214 @ 1224.
- L9     Lusignan, B.        "The use of amplitude compandored SSB in the mobile radio bands: final report", Stanford University, prepared for FCC, (July 1980), Technical report #29.
- L10    Loats, H.L.  
       Sauer, C.F.  
       Castruccio, P.A.   "Land mobile market integration study", Final report, contract NASW-2800 for Nasa, by Ecosystems Inter. Inc., (Nov. 1980).

M

- M1 Mikulski, J.J. "A system plan for a 900 MHz portable radio telephone",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-26, #1,  
(Feb. 1977), pp. 76-81.
- M2 McCormick, J.A. "The land/mobile radio services",  
ICC'74, Minneapolis, pp. 19B-1 @ 19B-6.
- M3 McClure, G.F. "Cellular compatibility in small 900 MHz mo-  
bile communications systems",  
ICC'74, Minneapolis, pp. 14A-1 @ 14A-4.
- M4 MacDonald, V.H. "The cellular concept",  
BSTJ, vol. 58, #1, (Jan. 1970), pp. 15-41.
- M5 Mitchell, R.F. "Traffic handling capability of trunked land  
Davis, C.K. mobile radio systems",  
ICC'79, Boston, pp. 57.2.1 @ 57.2.5.
- M6 Miller, J.E. "Spectrum efficient technology for the land  
mobile satellite service",  
Intelcom'79, Dallas, pp. 261-266.
- M7 Mikulski, J.J. "Technology and spectrum efficiency",  
Intelcom'79, Dallas, pp. 250-253.
- M8 Monnot, M. "Systèmes à satellites maritimes",  
Onde Electrique, vol. 58, (Nov. 78), pp. 729-736.
- M9 Marsten, R.B. "ATS-6 significance",  
IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems,  
(Nov. 1975), pp. 984-993.
- M10 McCarty, T.P. "Processing voice and data in mobile satellite  
Schneider, K.S. communication",  
ICC'77, Chicago, pp. 38-6-63 @ 38-6-67.
- M11 Meyerhoff, H.J. "Method for computing the optimum power balance  
in multibeam satellites",  
Comsat Tech. review, vol. 4, #1, (Spring 1974),  
pp. 139-145.
- M12 Muilwijk, D. "Tamed frequency modulation - a bandwidth-swing  
digital modulation method, suited for mobile  
radio",  
Philips Telecomm. Review, vol. 37, #1, (March  
1979), pp. 35-49.
- M13 Morgan, W.L. "Communications satellites - 1973 to 1983",  
ICC'78, Toronto, pp. 2.1.1 @ 2.1.3.

- M14 Makitalo, O. "2e partie: Radio communications mobiles terrestres", Journal des Télécommunications, vol. 45-VII/1979, pp. 389-394.
- M15 Maynard, L.A. "Channel fading on air mobile satellite communications links", AGard Conf. on Radio Systems and the Ions, Athens, Greece, (May 26-30, 1975), pp. 4-1 @4-9.
- M16 McClure, G.F. "The impact of system design on 900 MHz mobile communications service", Telecommunications, (Déc. 75), pp. 49-52.
- M17 Matthews, E.W.  
Cuccia, C.L.  
Rubin, M.D. "Technology considerations for the use of multiple beam antenna systems in communication satellites", IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol. MTT-27, #12, (Déc. 1979), pp. 998-1004.
- M18 Matthews, E.W.  
Scott, W.G.  
Han, C.C. "Multibeam antennas for data communications satellites", Data Commun. Symp. 5th, Snowbird, Utah, (Sept. 27-29, 1977), pp. 2-20 @ 2-29.
- M19 Matthews, P.A. Land mobile radio and spectrum utilisation", Wireless World, (May 1980), pp. 61-63.
- M20 Muilwijk, D.  
Noordanus, J. "Digital phase modulation methods giving a band-limited spectrum for satellite communications", AIAA 8th Communication Satellite Systems Conf., Orlando, Florida, (April 20-24, 1980).
- M21 McManamon, P. "Public service satellite application after WARC-79", AIAA 8th Communication Satellite Systems Conf., Orlando, Florida, (April 20-24, 1980), pp. 154-155.
- M22 Moyer, G.  
Hinz, H. "Minimum cost transmitter-receiver antenna pairs", Grumman Research Department Memorandum RM-690, (Sept. 1979).
- M23 Menzel, R. "Statistical analysis of signal fluctuations on a ground-mobile satellite communication link", Proc. 16th Symp. on Tactical Satellite Communications, (Sept. 19, 1973), pp. 57-104, The Hague, Netherlands.

- M24 Mundie, L.G.  
Feldman, N.E. "The feasibility of employing frequencies between 20 and 300 GHz for earth-satellite communications links",  
Rand Corporation, contract # DCA100-77-C-0016,  
(May 1978).
- M25 Michaels, J.V. "Information flow model for military mobile communication system",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-29, #3,  
(Aug. 1980), pp. 326-337.
- M26 Meno, F.I. "Mobile radio fading in Scandivavian terrain",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-26, #4,  
(Nov. 1977), pp. 335 @ 340.
- M27 Murakami, H. "Time diversity by pitch-synchronized interpolation",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-29, #4,  
(Nov. 1980), pp. 365 @ 370.
- M28 Mishima, H.  
Ebine, Y.  
Watanabe, K. "Base station antenna and multiplexer for 800 MHz band land mobile telephone system",  
Review of the Electrical Communication Laboratories, vol. 25, #11-12, (Nov.-déc. 1977),  
pp. 1255 @ 1269.
- M29 Motorola "Comments to FCC Docket no. 79-318",  
(May 1980).



**N**

- N1 Nomura, T.  
Yoshikawa, N. "Multiple radio zone plans in mobile radio systems",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-25, #3,  
(Aug. 1976), pp. 68-74
- N2 Nakatani, D.T.  
Flateau, S.L. "Multiple beam antenna design for satellite  
communication systems",  
ICC'77, Chicago, pp. 33.3-317 @ 33.3-321.
- N3 Nooney, J.A. "UHF demand assigned multiple access (UHF DAMA)  
system for tactical satellite communications",  
ICC'77, Chicago, pp. 45.5-200 @ 45.5-204.
- N4 Nagatsu, T.  
Hirade, K.  
Umeda, T. "Base station radio equipment for 800 MHz band  
land mobile telephone system",  
Review of the Electrical Communication Labora-  
tories, vol. 25, #11,12, (Nov. Déc. 1977), pp.  
1245-1254.
- N5 Nettleton, R.W.  
Cooper, G.R. "Mutual interference in cellular LMR systems:  
narrow band and broadband techniques compared",  
Midcon'77: Electron Show and Conv. Conf. Rec.  
Chicago, (Nov. 8-10, 1977), paper # 9.2, 10 pages.
- N6 NASA "Disaster relief communications via satellite",  
(Feb. 1980), prepared by NASA for the United  
Nations disaster relief office, Geneva,  
Switzerland.
- N7 Nehme, G.  
et al. "A simulation study of high-capacity cellular  
land-mobile radio communication systems",  
Canadian Commun. & Power Conf., Montréal, (Oct.  
15-17, 1980), pp. 421 @ 424.
- N8 Nocedal, F. "Analysis, design and performance evaluation of  
a single channel ACSB system",  
Stanford Univ., prepared for FCC, (May 198),  
Technical report #27.

0

- 01 Ott, G.D. "Vehicule location in cellular mobile radio systems",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-26, #1,  
(Feb. 1977), pp. 43-46.
- 02 Ohm, E.A. "System aspects of a multibeam antenna for  
full U.S. coverage",  
ICC'79, Boston, pp. 49.2.1 @ 49.2.5.
- 03 O'Loughlin, M.A.  
Pannell, W.M. "The future of mobile radio in Europe",  
Intelcom'79, Dallas, pp. 296-299.
- 04 Ohm, E.A. "A proposed multiple-beam microwave antenna  
for earth stations and satellites",  
BSTJ, vol. 53, #8, (Oct. 1974), pp. 1657-1665.
- 05 Ott, G.D.  
Plitkins, A. "Urban path-loss characteristics at 820 MHz",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-27, #4,  
(Nov. 1978), pp. 189 @ 197.
- 06 Okumara, Y.  
et al. "Field strength and its variability in VHF and  
UHF land mobile radio service",  
Rev. Elec. Commun. Lab.16, (Sept. 1968),  
pp. 825 @ 873.
- 07 Ormondroyd, R.F.  
Shipton, M.S. "The feasibility of using spread-spectrum commu-  
nication systems for the land mobile service on  
a non-interference basis with other users",  
The Radio and Electronic Engineer, vol. 50, #8,  
(Aug. 1980), pp. 407 @ 418.
- 08 Okasaka, S.  
Yoshitomi, A.  
Yoshida, H. "Mobile control station equipment for 800 MHz  
band land mobile telephone system",  
Review of the Electrical Communication Labora-  
tories, vol. 25, #11-12, (Nov-déc. 1977), pp.  
1270 @ 1287.

**P**

- P1 Porter, P.T. "Supervision and control features of a small-zone radiotelephone system", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. 20, #3, (Aug. 1971), pp. 75-79.
- P2 Pegorett, A.  
Saba, M. "Advanced VHF/UHF fixed-mobile radiotelephone systems for civil and law enforcement authorities", ICC'79, Boston, pp. 57.4.1 @ 57.4.7.
- P3 Parness, J.H.  
Roberts, J.S.  
Bisignani, W.T. "Satellite-based law enforcement communications", NTC'79, Washington, pp. 30.3.1 @ 30.3.5.
- P4 Pokras "The present status and trends in the development of antennas for the ground stations of satellite communications systems", Telecom & Radio Eng., (March 1977), vol. 31/32, pp. 10-14.
- P5 Prabhu, V.  
Rappaport, S.S. "Approximate analysis for dynamic channel assignment in large systems with cellular structure", IEEE Trans. on Comm., (Oct. 74), pp. 1715-1720.
- P6 Petrovie, P.M. "Adaptive delta modulator for mobile radio communication", ICC'78, Toronto, pp. 4.4.1 \_ 4.4.5.
- P7 Plemel, R.A.  
Copeck, J.A.  
Krukewich, K.L.  
Threinen, W.E. "Computer simulation for the analysis of interference problems related to mobile satellite communication", IEEE Conf. Publ. #160: Int'l Conf. on Maritime and Aeronaut. Satellite Commun. & Navig., London, England, (March 1978), pp. 89-92.
- P8 Powell, R.V.  
Hibbs, A.R. "An entree for large space antennas", Astronautics & Aeronautics, (Dec. 77), pp. 58-64.
- P9 Palmer, F.H. "Review of propagation in the 470-890 MHz band with emphasis on land-mobile and cellular systems", CRC report #1288, Ottawa, (Feb. 1976).
- P10 Pannell, W.M. "Extending mobile radio coverage", Wireless World, (June, July 1980), pp. 79-82.
- P11 Parness, J.H.  
Roberts, J.S. "Satellite-based law enforcement mobile communications - A cost benefit/effectiveness study", MITRE, contract no. NAS5-25352, (Feb. 1979).
- P12 Parsons, J.D.  
et al. "Diversity techniques for mobile radio reception", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-25, #3, (Aug. 1976), pp. 75 @ 85.

P13 Payne, W.F.  
Tong, D.T.L.

"Cost and mass modelling for communica-  
tions satellites",  
Satellites Communications, (April 1980), pp.  
34 @ 39.

Q



**R**

- R1 Ricardi, L.J. "Communication satellite antennas",  
Proc. IEEE, vol. 65, #3, (March 77), pp. 356-370.
- R2 Reudink, D.O. "Methods for achieving high-capacity universal  
Acampora, A.S. service satellites",  
Yeh, Y.S. NTC'78, Birmingham, pp. 8.2.1 @ 8.2.6.
- R3 Reilly, J.F. "System aspects of time hopped narrow beams for  
military satellite communications",  
NTC'78, Birmingham, pp. 40.2.1 @ 40.2.5.
- R4' Reudink, D.O. "Spot beams promise satellite communication  
breakthrough",  
Spectrum, (Sept. 1978), pp. 36-42.
- R5 Reudink, D.O. "Phase arrays for communication satellites",  
Yeh, Y.S. Microwave Journal, (Jan. 79), pp. 33-36.
- R6 Richardson, L. "Operational information in modern transit  
systems",  
ICC'78, Toronto, pp. 4.2.1 @ 4.2.4.
- R7 Reilly, N.B. "Satellite personal communications system",  
Smith, J.G. Brevet d'invention, NASA, (May 19, 1978).
- R8 Raymond, H.G. "An advanced mixed user domestic satellite  
Holmes, W.M. system architecture",  
AIAA 8th Communication Satellite Systems Conf.,  
Orlando, Florida, (April 20-24), pp. 148-153.
- R9 Reudink, D.O. "Scanning spot beams - A new approach to sa-  
Yeh, Y.S. tellite communications",  
Bell Labs Record, (Feb. 1980), pp. 38-45.
- R10 Reudink, D.O. "Some propagation experiments relating foliage  
Wazowics, M.F. loss and diffraction loss at X-band and UHF  
frequencies",  
IEEE Trans. on Comm., vol. COM-21, #11,  
(Nov. 1973), pp. 1198 @ 1206.
- R11 Reudink, D.O. "Properties of mobile radio propagation above  
400 MHz",  
IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-23, #4,  
(Nov. 1974), pp. 143 @ 159.

S

- S1 Stocker, A.C. "Application of the small-zone concept to police communications in population centers: an exploratory study", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-25, #2, (May 1976), pp. 50-54.
- S2 Sowards, A.  
Winter, A.E.  
Mamen, R. "Satellites for position determination", Canadian Aeronautics and Space Journal, vol. 24, #5, (Sept/Oct. 1978), pp. 266-273.
- S3 Singh, R.  
Elnoubi, S.  
Gupta, S.C. "An approximate analytical analysis of frequency channel assignment schemes for mobile radio communication", NTC'79, Washington, pp. 9.2.1 @ 9.2.4.
- S4 Sin, J.K.S.  
Georgenas, N.D. "A hybrid channel assignment scheme for cellular land-mobile radio systems with Erlang-C service", NTC'79, Washington, pp. 9.4.1 @ 9.4.5.
- S5 Stevenson, S.M. "Telecommunication service markets through the year 2000 in relation to millimeter wave satellite systems", Intelcom'79, Dallas, pp. 393-403.
- S6 Schnurr, L. "Design criteria for optimising data transfer in a radio channel used by mobile automatic telephone system", Intelcom'79, pp. 285-290.
- S7 Spooner, D.I. "Antennas for mobile communications via satellite", Wireless World, (Nov. 1977).
- S8 Shaft, P.D.  
Roberts, J.A. "Optimum allocation of multibeam communication satellite resources", IEEE Trans. on Comm., (Oct. 1976), pp. 1195-1200.
- S9 Schultz, J. "Large communication-satellite antenna", ICC'77, Chicago, pp. 340-343.
- S10 Schneider, K.S.  
McCarty, T.P. "Reliable satellite communications for a specular multipath channel", IEEE Trans. on COMM., vol. COM-26, #2, (Feb. 78), pp. 235-245.
- S11 Schiff, L. "Random-access digital communication for mobile radio in a cellular environment", IEEE Trans. on COMM., (May 74), pp. 688-692.
- S12 Stern, M.  
Graziano, V. "Dynatac Update", ICC'78, Toronto, pp. 4.1.1 @ 4.1.4.

- S13 Smith, E.K.  
Reinhart, E.E. "Sharing the 620-790 MHz band allocated to terrestrial television with an audio-bandwidth social service satellite system", Jet Propulsion Laboratory publication 77-71, (Oct. 1977).
- S14 Sivo, J.N. "Satellite communications for disaster relief operations", NASA report #NASATM-79198, (Sept. 1979).
- S15 Shepherd, R.A.  
Gaddie, J.C. "Ignition noise of foreign and domestic vehicles in use in the United States", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-29, #3, (Aug. 1980), pp. 338-345.
- S16 Sengoku, M. "Telephone traffic in a mobile radio communication system using dynamic frequency assignments", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-29, #2, (May 1980), pp. 270-277.
- S17 Suzuki, T.  
Hanazawa, T.  
Kozono, S. "Design of a tunnel relay system with a leaky coaxial cable in an 800 MHz band land mobile telephone system", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-29, #3, (Aug. 1980), pp. 305-316.
- S18 Shortall, W.E. "A switched diversity receiving system for mobile radio", IEEE Trans. on Comm., vol. COM-21, #11, (Nov. 1973), pp. 1269 @ 1275.
- S19 Shepherd, N.H. "Radio wave loss deviation and shadow loss at 900 MHz", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-26, #4, (Nov. 1977), pp. 309 @ 313.
- S20 Schilling, D.L.  
Nelson, E.A.  
Clarke, K.K. "Discriminator response to an FM signal in a fading channel", IEEE Trans. on Comm. Tech., vol. COM-15, #2, (April 1967), pp. 252 @ 263.
- S21 Sakamoto, M.  
Kinoshita, K. "Mobile unit for 800 MHz band land mobile telephone system", Review of the Electrical Communication Laboratories, vol. 25, #11-12, (Nov. déc. 1977), pp. 1231 @ 1244.
- S22 Sin, J.K.S.  
Georganas, N.D. "A simulation study of a hybrid channel assignment scheme for cellular land-mobile radio systems with erlang-c service", IEEE Trans. on Comm., vol. COM-29, #2, (Feb. 1981), pp. 143 @ 147.

**T**

- T1 Thro, S. "Trunking, a new dimension in fleet dispatch communications", Intelcom'79, Dallas, pp. 277-281.
- T2 Tirro, S. "Advantages offered by multibeam antennas in telecommunications by satellite", Eurocom'77, (May 3-7, 1977), Italia, pp. 2.6.4.1 @2.6.4.9.
- T3 Thro, S. "Trunking, a new system configuration for fleet dispatch communications", IEEE Trans. Veh. Tech. Conf. 29th, Arlington Heights, Ill, (March 27-30, 1979), pp. 302-306.
- T4 Turin, G. "Introduction to spread-spectrum antimultipath techniques and their application tu urban digital radio", Proc. of the IEEE, vol. 68, #3, (March 80), pp. 328-353.
- T5 TRW "Mobile multiple access study", Final report, TRW, contract # NAS5-23454, (Aug. 16, 1977).
- T6 Turner, R.J. "Evaluation of cellular mobile telephone data receivers", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-29, #4, (Nov. 1980), pp. 353 @ 360.

U



V

**W**


- W1 Watanabe, K. "800 MHz band radio propagation characteristics for cellular land mobile telephone system", ICC'79, Boston, PP. 57.3.1 @ 57.3.6
- W2 Weiss, J.A. "Low cost satellite band mobile service for nationwide applications", IEEE Veh. Tech. Conf., Denver, (March 1978).
- W3 Wright, D.L. "Results of thin-route satellite communication system analysis including estimated service costs", INTELCOM'79, Dallas, pp. 380-391.
- W4 Welti, G.R. "Frequency reuse limits for the geostationary orbit", COMSAT Technical Review, vol. 9, #2B, (Fall 79), pp. 723-730.
- W5 White, B.E.  
Wilson, Q.C.  
Kota, S.L. "Satellite communications systems netting concepts for mobile terminals", NTC'78, Birmingham, pp. 28.2.1 @ 28.2.5.
- W6 Wishna, S. "Intelligibility improvement of analog communication systems using an amplitude control technique", IEEE Trans. on Comm., (May 73), pp. 655-658.
- W7 Watanabe, M.  
Miyachi, K. "Research and development on land mobile telephone systems", Review of the Electrical Communication Laboratories, vol. 25, #11,12, (Nov. Dec. 77), pp. 1141-1146.
- W8 White, B.E.  
Mersereau "A bandwidth conserving approach to multiple access satellite communication for mobile terminals", MIT report no. ESD-TR-75-329, (Dec. 17, 75).
- W9 Wilmotte, R.M.  
Lusignan, B.B. "Spectrum-efficient technology for voice communications", Stanford University, Report # FCC/OPP UTF 78-01, (Feb. 1978).
- W10 Weinberg, M. "Le point sur les radiocommunications mobiles", Journal des Télécommunications, vol. 47-VI/1980, pp. 386-388.
- W11 Weber, W.J.  
Naderi, F.  
Goldman, A.M. "Technology considerations for a 1990's operational land mobile satellite service", Jet Propulsion Laboratory.

**X**

Y

- Y1 Yoshikawa, N.  
Nomura, T. "On the design of a small zone land mobile radio system in UHF band", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. VT-25, #3, (Aug. 1976), pp. 57-67.
- Y2 Young, W.R. "Advanced mobile phone service: introduction, background and objectives", BSTJ, vol. 58, #1, (Jan. 1979), pp. 1-14.
- Y3 Yep, S.  
Thoma, G.R.  
Suthasinekul, S. "Digital Transmission over an FM-FDM/FM satellite audio channel", NTC'78, Birmingham, pp. 48.3.1 @ 48.3.5.
- Y4 Yoshikawa, N.  
Okasaka, S.  
Komagata, H. "800 MHz band land mobile telephone control system", Review of the Electrical Communication Laboratories, vol. 25, #11-12, (Nov. déc. 1977), pp. 1172 @ 1190.

**Z**



INDEX

SUJET



|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| SUJET | ANTENNE POUR STATION MOBILE |
|-------|-----------------------------|

|              |              |
|--------------|--------------|
| A            | 6- 10-       |
| B            | 1- 6- 7- 11- |
| C            | 1-           |
| D            | 9'           |
| E            |              |
| F            |              |
| G            |              |
| H            |              |
| I            | 4-           |
| J            | 5-           |
| K            |              |
| L            |              |
| M            | 23-          |
| N            |              |
| O            |              |
| P            | 4-           |
| Q            |              |
| R            |              |
| S            | 7-           |
| T            |              |
| U            |              |
| V            |              |
| W            |              |
| X            |              |
| Y            |              |
| Z            |              |
| ANO-<br>NYME |              |

|       |  |
|-------|--|
| SUJET | ANTENNE MULTI-FAISCEAUX POUR SATELLITE |
|-------|--|

|              |                 |
|--------------|-----------------|
| A            | 4- 5- 7- 9- 11- |
| B            | 7-              |
| C            | 9- 15- 17-      |
| D            | .               |
| E            | 11-             |
| F            | 8-              |
| G            | 3-              |
| H            |                 |
| I            |                 |
| J            |                 |
| K            | 5- 7-           |
| L            | 3-              |
| M            | 6- 11- 17- 18-  |
| N            | 2-              |
| O            | 2- 4-           |
| P            | 8-              |
| Q            |                 |
| R            | 1- 4- 5- 9-     |
| S            | 8- 9-           |
| T            | 2-              |
| U            |                 |
| V            |                 |
| W            | 4-              |
| X            |                 |
| Y            |                 |
| Z            |                 |
| ANO-<br>NYME |                 |

|       |   |
|-------|---|
| SUJET | SYSTEME DE COMMUNICATION CELLULAIRE PAR SATELLITE |
|-------|---|

|              |              |
|--------------|--------------|
| A            | 4- 9- 11- 15 |
| B            | 7-           |
| C            | 17-          |
| D            | 2- 8-        |
| E            |              |
| F            | 5-           |
| G            | 3-           |
| H            |              |
| I            |              |
| J            |              |
| K            | 13-          |
| L            | 2-           |
| M            | 6-           |
| N            |              |
| O            |              |
| P            |              |
| Q            |              |
| R            | 7-           |
| S            |              |
| T            |              |
| U            |              |
| V            |              |
| W            | 2- 11-       |
| X            |              |
| Y            |              |
| Z            |              |
| ANO-<br>NYME |              |

|       |                          |
|-------|--------------------------|
| SUJET | TECHNIQUES DE MODULATION |
|-------|--------------------------|

|              |                    |
|--------------|--------------------|
| A            | 1- 13-             |
| B            |                    |
| C            | 14- 17-            |
| D            | 4- 6               |
| E            |                    |
| F            |                    |
| G            | 2-                 |
| H            | 21-                |
| I            |                    |
| J            | 2- 5               |
| K            |                    |
| L            | 9-                 |
| M            | 7- 10- 12- 14- 20- |
| N            | 8-                 |
| O            |                    |
| P            | 6-                 |
| Q            |                    |
| R            |                    |
| S            | 6-                 |
| T            | 5-                 |
| U            |                    |
| V            |                    |
| W            | 6- 9-              |
| X            |                    |
| Y            | 3-                 |
| Z            |                    |
| ANO-<br>NYME |                    |

|       |   |
|-------|---|
| SUJET | ALLOCATION DYNAMIQUE DES CANAUX<br>(TRUNKING) |
|-------|---|

|              |      |
|--------------|------|
| A            |      |
| B            |      |
| C            |      |
| D            |      |
| E            |      |
| F            |      |
| G            |      |
| H            |      |
| I            |      |
| J            |      |
| K            |      |
| L            |      |
| M            | 5-   |
| N            |      |
| O            |      |
| P            |      |
| Q            |      |
| R            |      |
| S            |      |
| T            | 1- 3 |
| U            |      |
| V            |      |
| W            |      |
| X            |      |
| Y            |      |
| Z            |      |
| ANO-<br>NYME |      |

|       |   |
|-------|---|
| SUJET | UTILISATEURS POTENTIELS DE SYSTEMES<br>DE COMMUNICATION PAR SATELLITE |
|-------|---|

|              |          |
|--------------|----------|
| A            | 11- 15-  |
| B            | 4- 7- 8- |
| C            | 14-      |
| D            | 2-       |
| E            | 9- 11-   |
| F            |          |
| G            | 3-       |
| H            |          |
| I            |          |
| J            | 4- 5     |
| K            | 3-       |
| L            |          |
| M            |          |
| N            |          |
| O            |          |
| P            |          |
| Q            |          |
| R            | 3-       |
| S            | 5-       |
| T            |          |
| U            |          |
| V            |          |
| W            | 2-       |
| X            |          |
| Y            |          |
| Z            |          |
| ANO-<br>NYME |          |

|       |                                      |
|-------|--------------------------------------|
| SUJET | SPECIFICATIONS DE SYSTEMES POSSIBLES |
|-------|--------------------------------------|

|              |        |
|--------------|--------|
| A            | 4- 9-  |
| B            | 7- 11- |
| C            | 17-    |
| D            | 2- 8-  |
| E            |        |
| F            |        |
| G            |        |
| H            | 4-     |
| I            |        |
| J            |        |
| K            |        |
| L            | 2-     |
| M            | 14-    |
| N            |        |
| O            |        |
| P            |        |
| Q            |        |
| R            |        |
| S            |        |
| T            |        |
| U            |        |
| V            |        |
| W            | 2-     |
| X            |        |
| Y            |        |
| Z            |        |
| ANO-<br>NYME |        |

|       |  |
|-------|--|
| SUJET | SYSTEMES DE COMMUNICATION PAR SATELLITE<br>POUR USAGES MOBILES |
|-------|--|

|              |            |
|--------------|------------|
| A            | 6- 10- 11- |
| B            | 1- 6-      |
| C            |            |
| D            | .          |
| E            | 4-         |
| F            |            |
| G            |            |
| H            | 4-         |
| I            |            |
| J            | 5-         |
| K            | 4-         |
| L            | 2-         |
| M            | 8-         |
| N            |            |
| O            |            |
| P            |            |
| Q            |            |
| R            | 2-         |
| S            | 2-         |
| T            | 5-         |
| U            |            |
| V            |            |
| W            | 2- 5-      |
| X            |            |
| Y            |            |
| Z            |            |
| ANO-<br>NYME |            |



|       |                  |
|-------|------------------|
| SUJET | MODELE DE TRAFIC |
|-------|------------------|

|              |              |
|--------------|--------------|
| A            | 4- 9- 11-    |
| B            | 5-           |
| C            | 2- 3- 7- 24- |
| D            | 2-           |
| E            | 3- 10-       |
| F            | 5- 7         |
| G            |              |
| H            |              |
| I            |              |
| J            |              |
| K            | 1- 4-        |
| L            | 2-           |
| M            | 25-          |
| N            |              |
| O            |              |
| P            |              |
| Q            |              |
| R            |              |
| S            | 3- 16-       |
| T            | 5-           |
| U            |              |
| V            |              |
| W            |              |
| X            |              |
| Y            |              |
| Z            |              |
| ANO-<br>NYME |              |

|       |            |
|-------|------------|
| SUJET | SIMULATION |
|-------|------------|

|          |        |
|----------|--------|
| A        | 2-     |
| B        |        |
| C        | 4- 21- |
| D        | .      |
| E        |        |
| F        | 7-     |
| G        |        |
| H        |        |
| I        |        |
| J        |        |
| K        | 1-     |
| L        | 5-     |
| M        |        |
| N        | 7-     |
| O        |        |
| P        | 7-     |
| Q        |        |
| R        |        |
| S        | 22-    |
| T        |        |
| U        |        |
| V        |        |
| W        |        |
| X        |        |
| Y        |        |
| Z        |        |
| ANO-NYME |        |

|       |  |
|-------|--|
| SUJET | SYSTEMES A ETALEMENT DU SPECTRE<br>(SPREAD-SPECTRUM) |
|-------|--|

|              |                    |
|--------------|--------------------|
| A            |                    |
| B            |                    |
| C            | 8- 11- 12- 13- 16- |
| D            | 7-                 |
| E            | 5-                 |
| F            |                    |
| G            |                    |
| H            | 6-                 |
| I            |                    |
| J            |                    |
| K            |                    |
| L            |                    |
| M            | 19-                |
| N            |                    |
| O            | 7-                 |
| P            |                    |
| Q            |                    |
| R            |                    |
| S            |                    |
| T            | 4-                 |
| U            |                    |
| V            |                    |
| W            |                    |
| X            |                    |
| Y            |                    |
| Z            |                    |
| ANO-<br>NYME |                    |

| SUJET | CARACTERISTIQUE DE PROPAGATION |
|-------|--------------------------------|
|-------|--------------------------------|

|              |                        |
|--------------|------------------------|
| A            | 1- 11- 13- 14-         |
| B            | 12- 13-                |
| C            | 5- 14- 22- 23-         |
| D            | 5- 9-                  |
| E            | 8- 15-                 |
| F            |                        |
| G            | 3- 4-                  |
| H            | 9- 10- 11- 12- 14-     |
| I            |                        |
| J            | 6-                     |
| K            | 11- 12-                |
| L            | 6- 7- 8-               |
| M            | 8- 14- 19- 23- 24- 26- |
| N            |                        |
| O            | 5- 6-                  |
| P            | 9- 12-                 |
| Q            |                        |
| R            | 10- 11-                |
| S            | 10- 19-                |
| T            |                        |
| U            |                        |
| V            |                        |
| W            | 1-                     |
| X            |                        |
| Y            |                        |
| Z            |                        |
| ANO-<br>NYME |                        |

|       |  |
|-------|--|
| SUJET | INTERFERENCE & AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL |
|-------|--|

|              |                         |
|--------------|-------------------------|
| A            | 1- 7- 11- 13- 16-       |
| B            | 11- 13-                 |
| C            | 5- 17-                  |
| D            | 10- 11-                 |
| E            | 1- 2-                   |
| F            | 12- 13- 14-             |
| G            | 5-                      |
| H            | 10- 16- 17- 18- 19- 20- |
| I            |                         |
| J            |                         |
| K            | 9- 11-                  |
| L            | 1- 3-                   |
| M            | 14- 15- 23- 24- 26-     |
| N            | 5-                      |
| O            |                         |
| P            |                         |
| Q            |                         |
| R            | 10-                     |
| S            | 13- 15- 18- 19-         |
| T            |                         |
| U            |                         |
| V            |                         |
| W            |                         |
| X            |                         |
| Y            |                         |
| Z            |                         |
| ANO-<br>NYME |                         |

|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| SUJET | MOBILE CELLULAIRE TERRESTRE |
|-------|-----------------------------|

|              |                      |
|--------------|----------------------|
| A            | 2- 13-               |
| B            | 3-                   |
| C            | 6- 25-               |
| D            | .                    |
| E            | 1- 3- 7- 8- 14-      |
| F            | 1- 2- 4- 7- 10- 11-  |
| G            |                      |
| H            | 1- 3- 5-             |
| I            | 1- 2- 3-             |
| J            |                      |
| K            | 2- 6- 8- 9-          |
| L            | 4-                   |
| M            | 1- 3- 4- 16- 28- 29- |
| N            | 1- 4-                |
| O            | 1- 8-                |
| P            | 1- 2- 5-             |
| Q            |                      |
| R            |                      |
| S            | 1- 11- 12- 18- 21-   |
| T            | 6-                   |
| U            |                      |
| V            |                      |
| W            | 1- 7-                |
| X            |                      |
| Y            | 1- 2- 4-             |
| Z            |                      |
| ANO-<br>NYME |                      |

|       |                              |
|-------|------------------------------|
| SUJET | LOCALISATION DE RADIO-MOBILE |
|-------|------------------------------|

|              |        |
|--------------|--------|
| A            | 10-    |
| B            | 1- 11- |
| C            |        |
| D            |        |
| E            |        |
| F            |        |
| G            |        |
| H            | 15-    |
| I            |        |
| J            |        |
| K            |        |
| L            |        |
| M            |        |
| N            |        |
| O            | 1-     |
| P            |        |
| Q            |        |
| R            |        |
| S            | 2-     |
| T            |        |
| U            |        |
| V            |        |
| W            |        |
| X            |        |
| Y            |        |
| Z            |        |
| ANO-<br>NYME |        |

|       |  |
|-------|--|
| SUJET | COMMUNICATION MOBILE POUR<br>URGENCE ET DESASTRE |
|-------|--|

|              |     |
|--------------|-----|
| A            |     |
| B            |     |
| C            |     |
| D            |     |
| E            | 12- |
| F            |     |
| G            |     |
| H            |     |
| I            | 5-  |
| J            |     |
| K            |     |
| L            |     |
| M            |     |
| N            | 6-  |
| O            |     |
| P            |     |
| Q            |     |
| R            |     |
| S            | 14- |
| T            |     |
| U            |     |
| V            |     |
| W            |     |
| X            |     |
| Y            |     |
| Z            |     |
| ANO-<br>NYME |     |



|       |                   |
|-------|-------------------|
| SUJET | ASPECT ECONOMIQUE |
|-------|-------------------|

|              |         |
|--------------|---------|
| A            |         |
| B            | 14-     |
| C            | 18-     |
| D            | 8-      |
| E            | 12-     |
| F            |         |
| G            |         |
| H            |         |
| I            |         |
| J            | 5-      |
| K            |         |
| L            |         |
| M            |         |
| N            |         |
| O            |         |
| P            | 11- 13- |
| Q            |         |
| R            |         |
| S            |         |
| T            |         |
| U            |         |
| V            |         |
| W            | 2- 3-   |
| X            |         |
| Y            |         |
| Z            |         |
| ANO-<br>NYME |         |

|       |                   |
|-------|-------------------|
| SUJET | RAPPORT TECHNIQUE |
|-------|-------------------|

|              |             |
|--------------|-------------|
| A            | 10- 11-     |
| B            | 11-         |
| C            | 16- 17-     |
| D            |             |
| E            | 9- 10- 12-  |
| F            |             |
| G            |             |
| H            | 10- 11- 22- |
| I            |             |
| J            | 4- 5-       |
| K            |             |
| L            |             |
| M            | 22- 23- 29- |
| N            | 6-          |
| O            |             |
| P            | 9- 11-      |
| Q            |             |
| R            | 7-          |
| S            |             |
| T            | 5-          |
| U            |             |
| V            |             |
| W            | 8- 9-       |
| X            |             |
| Y            |             |
| Z            |             |
| ANO-<br>NYME |             |

| SUJET | DIVERS |
|-------|--------|
|-------|--------|

|              |                          |
|--------------|--------------------------|
| A            | 3-                       |
| B            | 2- 4- 9- 10-             |
| C            | 10- 19- 20-              |
| D            | 1-                       |
| E            | 13-                      |
| F            | 3- 6-                    |
| G            | 1- 6-                    |
| H            | 2- 7- 13-                |
| I            |                          |
| J            | 3- 7-                    |
| K            | 10- 14-                  |
| L            |                          |
| M            | 6- 8- 9- 13- 21- 22- 27- |
| N            |                          |
| O            | 3-                       |
| P            | 10- 12-                  |
| Q            |                          |
| R            | 6- 8-                    |
| S            | 17- 20-                  |
| T            |                          |
| U            |                          |
| V            |                          |
| W            | 3-                       |
| X            |                          |
| Y            |                          |
| Z            | 1-                       |
| ANO-<br>NYME |                          |

## APPENDICE I

### LE RESEAU CELLULAIRE

#### 1. INTRODUCTION

L'idée de base consiste à subdiviser une surface totale à desservir en plusieurs surfaces élémentaires.

L'absence d'une structure géométrique ordonnée rendrait l'adaptation à la croissance du trafic trop difficile pour rien.

Si une antenne omnidirectionnelle était utilisée, le contour d'équivalence serait circulaire. La forme de la cellule de base serait alors circulaire. Le cercle s'avère toutefois peu pratique car, du point de vue conception, un réseau de cellules circulaires produit des zones ambiguës non couvertes par aucune cellule ou couvertes par plusieurs, tel qu'illustré à la figure A-1.

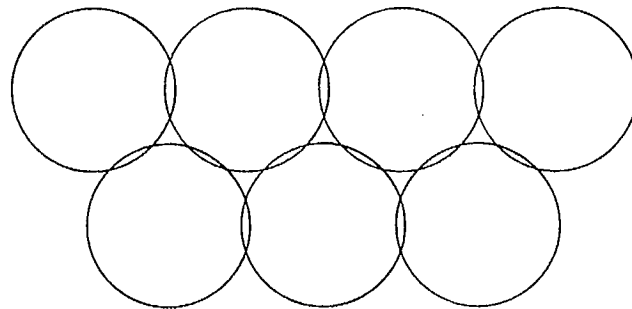


Fig. A-1- Réseau de cellules circulaires.

Trois types de polygones, le triangle équilatéral, le carré et l'hexagone régulier, couvrent entièrement une surface sans se chevaucher

et sans laisser de trou libre (figure A-2).

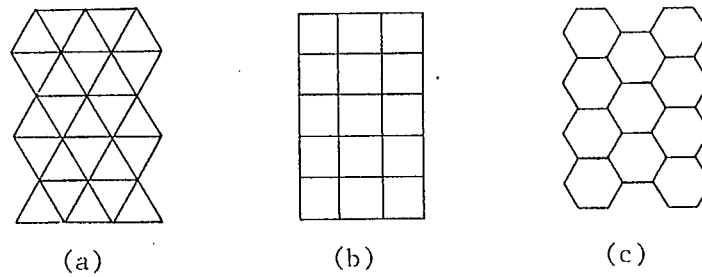


Fig. A-2- Réseau de polygone régulier. (a) triangles équilatéraux, (b) carrés, (c) hexagones réguliers.

La structure hexagonale s'avère toutefois être celle conduisant à un système de coût moindre. En effet, se rappelant que les sommets d'un polygone sont les points les plus éloignés du centre, il s'avère qu'à distance sommet-centre égale, l'hexagone régulier couvre beaucoup plus de surface que le triangle ou le carré (figure A-3). Un plus petit nombre de cellules, donc de transmetteurs, est alors requis pour couvrir une surface donnée si nous utilisons des cellules de base de formes hexagonales.

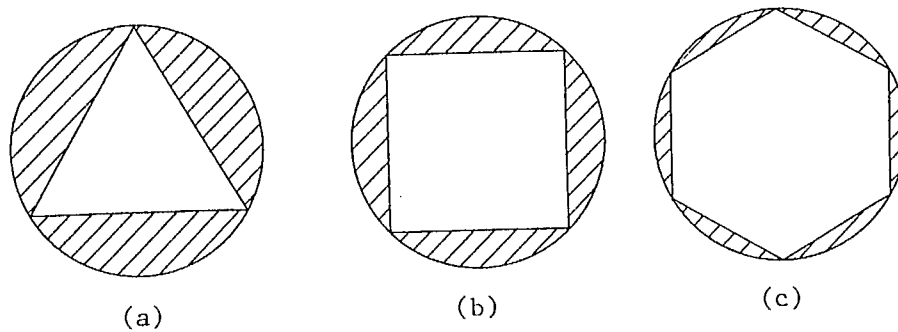


Fig. A-3- Surface couverte par (a) un triangle, (b) un carré, (c) un hexagone.

Utilisant une antenne omnidirectionnelle placée au centre de la cellule, à puissance d'émission identique, l'interférence entre cellules adjacentes se trouve donc réduite si une structure hexagonale est utilisée (fig. A-4).

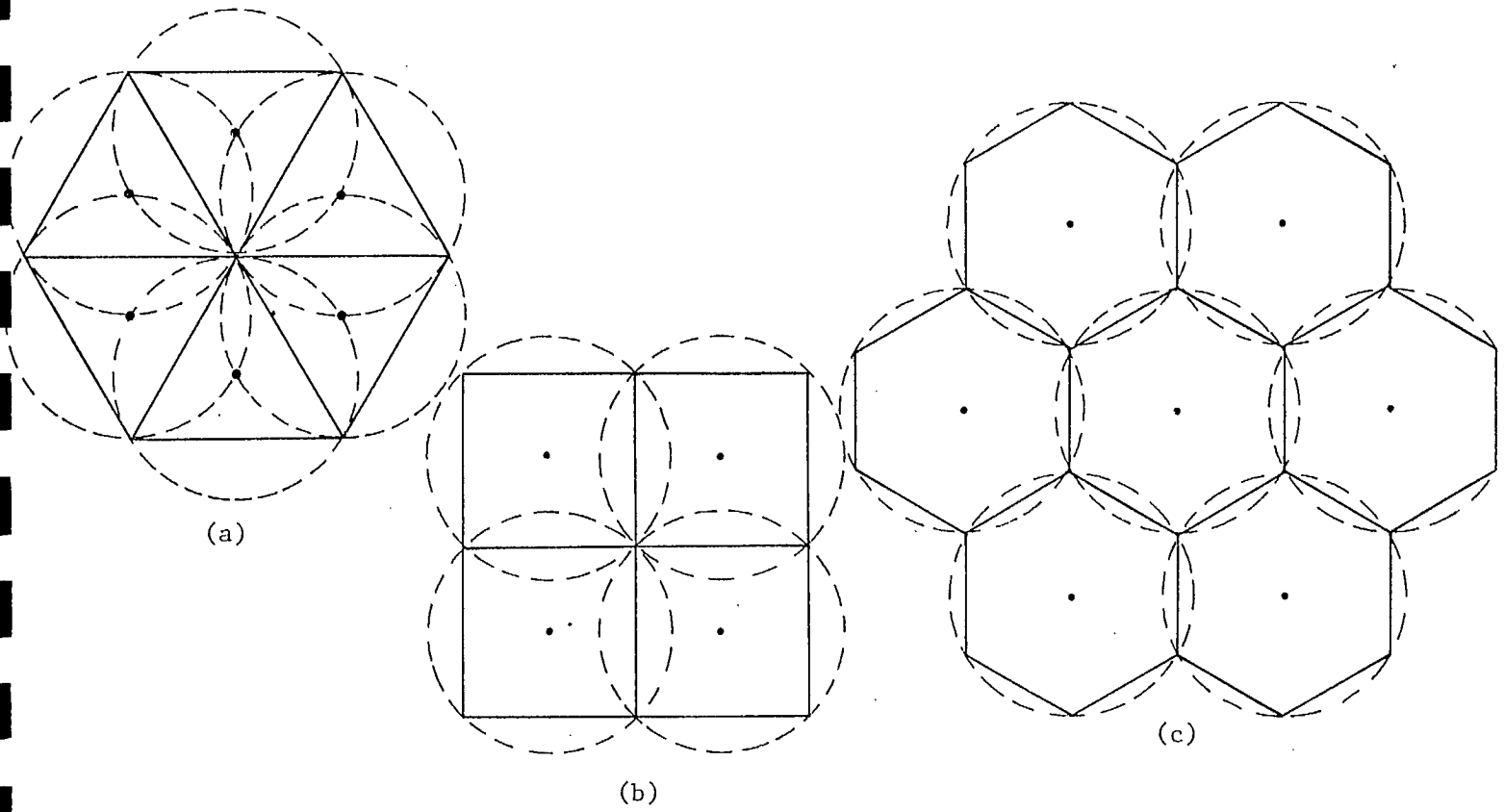


Fig. A-4- Interférence résultante pour cellule de base: (a) triangulaire, (b) carrée, (c) hexagonale.

2. PROPRIETES GEOMETRIQUES D'UN RESEAU D'HEXAGONES

La figure A-5 représente le système d'axes le plus utile pour un réseau d'hexagones réguliers.

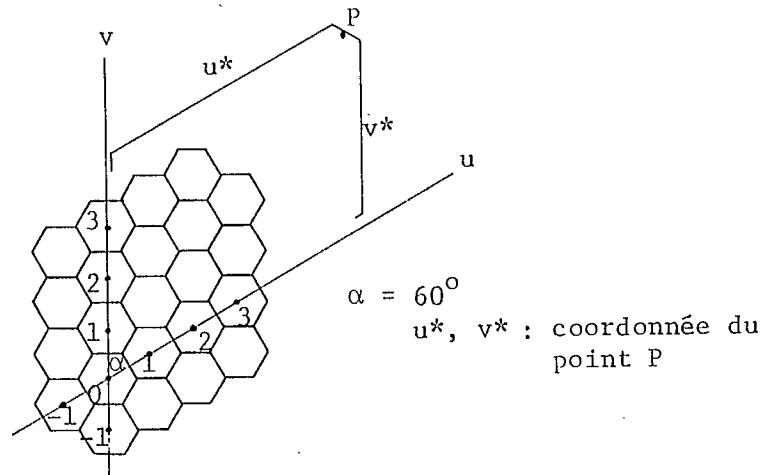


Fig. A-5- Système d'axes utile pour un réseau cellulaire hexagonale.

Utilisant ce système de coordonnées à  $60^\circ$ , la distance  $d_{12}$  entre deux points ayant respectivement les coordonnées  $(u_1, v_1)$  et  $(u_2, v_2)$  est:

$$d_{12} = \sqrt{(u_2 - u_1)^2 + (u_2 - u_1)(v_2 - v_1) + (v_2 - v_1)^2} \quad (1)$$

Comme la distance centre-centre fut posée égale à l'unité, dans la figure 4, utilisant (1), il est facile de vérifier que le rayon d'une cellule (distance centre-sommet) est donnée par:

$$R = 1/\sqrt{3} \quad (2)$$

Une cellule hexagonale de base est entourée de 6 autres cellules de même dimension (fig. A-6).

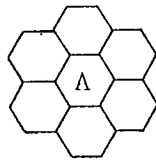


Fig. A-6- Entourage immédiat d'une cellule de base.

L'ensemble de la surface à desservir peut être vue comme étant en fait subdivisée en plusieurs agglomérations de 7 cellules ayant chacune comme centre, la cellule hexagonale de base A. Ceci est illustré à la figure A-7.

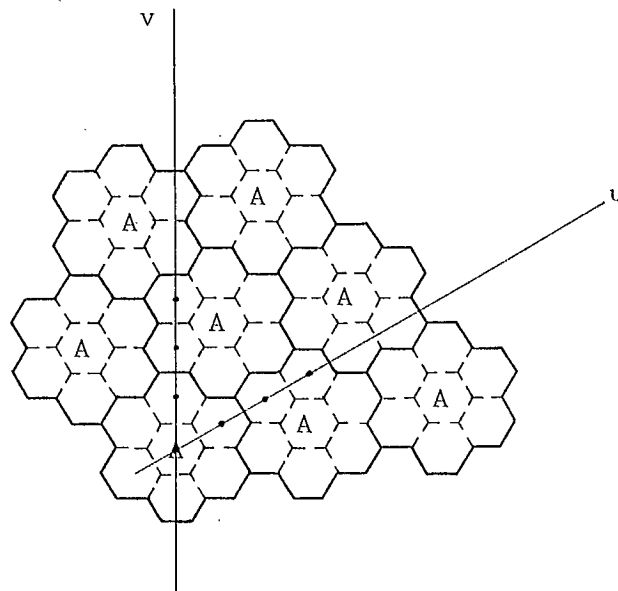


Fig. A-7- Ensemble d'agglomérations de 7 cellules.

Prenant (0,0) comme coordonnée du centre d'une de ces agglomérations, le centre de l'agglomération la plus près se trouve alors à (1,2). Utilisant la relation (1), la distance centre-centre devient:

$$D = \sqrt{i^2 + i_j + j^2} \quad \text{avec} \quad i = 1$$

$$= \sqrt{7} \quad j = 2$$
(3)

De même, la surface pourrait être subdivisée en plusieurs agglomérations de 19 cellules ayant chacune comme centre, la cellule hexagonale



de base A (figures A-8 et A-9).

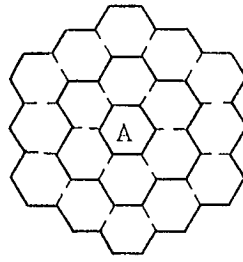


Fig. A-8- Agglomération de 19 cellules.

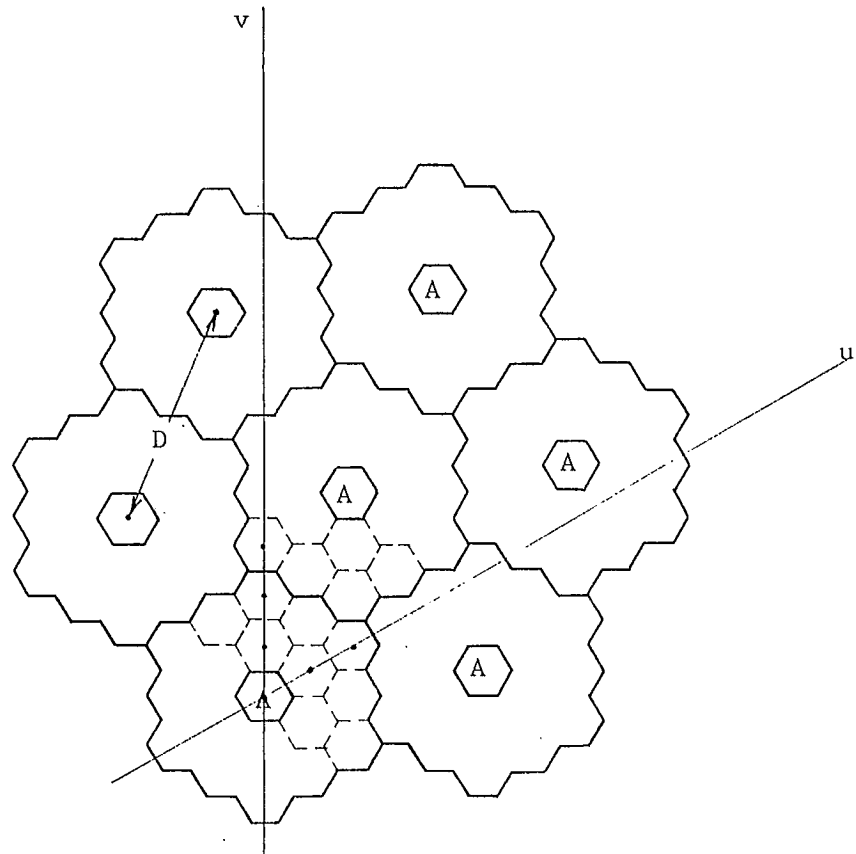


Fig. A-9- Ensembles d'agglomérations de 19 cellules.

La distance centre-centre devient alors:

$$D = \sqrt{i^2 + i_j + j^2} \quad \text{avec} \quad i = 2$$

$$D = \sqrt{19} \quad j = 3$$

(4)

Nous pourrions ainsi continuer à subdiviser la surface en plusieurs autres agglomérations de plus en plus grosses. Il est bon toutefois de remarquer le point suivant.

Des relations (3) et (4), il ressort que le nombre  $N$  de cellules distinctes formant une agglomération est égale au carré de la distance  $D$  centre-centre de deux agglomérations adjacentes.

$$N = D^2 \quad (5)$$

La relation (5) peut être déduite de façon plus formelle. En effet, comme l'indique la figure A-10, il est possible d'obtenir un hexagone régulier de surface identique à une agglomération.

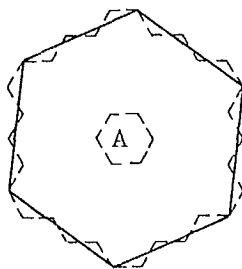


Fig. A-10- Hexagone de surface égale à une agglomération.

La surface totale à desservir pourrait alors être subdivisée en hexagones plutôt qu'en agglomérations (fig. A-11).

Comme ce réseau d'hexagones n'est qu'une réplique agrandie du réseau cellulaire de départ de la figure 4 dans lequel la distance centre-centre est passée de l'unité à  $\sqrt{i^2 + i_j + j^2}$ , et que la surface d'un hexagone est proportionnelle au carré de son rayon, il ressort que le nombre total de cellules distinctes contenues à l'intérieur de ce gros hexagone ou de l'agglomération équivalente est égale au carré de la distance centre-centre de deux agglomérations adjacentes.

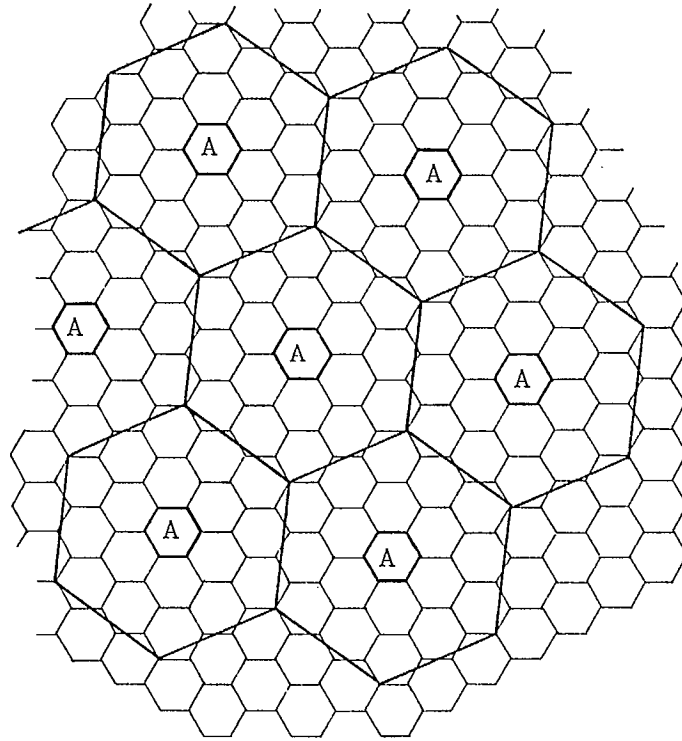


Fig. A-11- Subdivisión en hexagones.

