

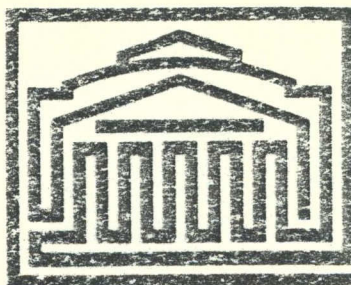
FACULTÉ DES SCIENCES ET DE GÉNIE
FACULTY OF SCIENCE AND ENGINEERING

RAPPORT FINAL

ETUDE DE METHODES DE LA GESTION DU
SPECTRE DES FREQUENCES POUR LES
SYSTEMES DE COMMUNICATIONS MOBILES
PHASE II

PAR

DR NICOLAS D. GEORGANAS
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE
UNIVERSITE D'OTTAWA



UNIVERSITÉ D'OTTAWA
UNIVERSITY OF OTTAWA

P
91
C655
U67
1980

UNIVERSITÉ D'OTTAWA



OTTAWA ONTARIO
CANADA K1N 6N5

UNIVERSITY OF OTTAWA

Queen
P
91
C655
U67
1980

FACULTÉ DES SCIENCES ET DE GÉNIE
GÉNIE ÉLECTRIQUE

FACULTY OF SCIENCE AND ENGINEERING
ELECTRICAL ENGINEERING

RAPPORT FINAL

ETUDE DE METHODES DE LA GESTION DU
SPECTRE DES FREQUENCES POUR LES
SYSTEMES DE COMMUNICATIONS MOBILES :
PHASE II

PAR

DR NICOLAS D. GEORGANAS
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE
UNIVERSITE D'OTTAWA

POUR

MINISTERE DES COMMUNICATIONS
IMMEUBLE JOURNAL NORD
300, RUE SLATER
OTTAWA, ONTARIO
K1A-0C8

Industry Canada
Library Queen
JUL 23 1998
Industrie Canada
Bibliothèque Queen

COMMUNICATIONS CANADA
APR 9 1998
LIBRARY - BIBLIOTHEQUE

P
91
C655
W67
1980

DD 6378117
DL 6378215

30 MARS 1980

RAPPORT FINAL

TITRE DU PROJET

ETUDE DE METHODES DE LA GESTION DU
SPECTRE DES FREQUENCES POUR
LES SYSTEMES DE COMMUNICATIONS MOBILES
PHASE II

POUR

MINISTERE DES COMMUNICATION
IMMEUBLE JOURNAL NORD
300, RUE SLATER
OTTAWA, ONTARIO
K1A-0C8

No. du Dossier MAS : 20SU-36100-9-2008
No. de Série du Contrat: OSU79-00260

REDIGE PAR

Dr N.D. GEORGANAS
Département de Génie Electrique
Université d'Ottawa
OTTAWA, Ontario
K1N-6N5

30 NOVEMBRE 1979 AU 31 MARS 1980

PERSONNEL DU PROJET

CHERCHEUR PRINCIPAL : Dr Nicolas D. Georganas

ETUDIANT DU 2^e CYCLE : George Nehme

ETUDIANTS DU 1^{er} CYCLE: Guy Mousseau
Alain Michaud

RESUME

Ce rapport se concentre sur les systèmes cellulaires pour la communication terrestre-mobile. Un modèle de simulation d'un système cellulaire uniforme, ayant l'attribution des canaux hybride et la discipline Erlang-B, est développé et étudié. Cette méthode d'attribution est comparée avec l'attribution fixe et l'attribution dynamique par rapport au trafic maximum par cellule que chaque méthode d'attribution peut supporter, pour une qualité de service donnée. Pour ce même système cellulaire on détermine le nombre minimum des canaux nécessaires pour fournir une qualité de service donnée, pour des taux différents de trafic offert par cellule. Finalement, on compare l'efficacité spectrale du système hybride par rapport au système fixe.

TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
SOMMAIRE	1
I. CONCEPTS DE TRAFIC	4
1.1 Introduction	4
1.2 Formules utilisées dans l'analyse du trafic	6
1.2.1 Appels-bloqués-éliminés (ABE) (Erlang-B)	7
1.2.2 Appels-bloqués-retardés (ABR) (Erlang-C)	8
1.2.3 Appels-bloqués-retenus (ABr.)	12
II. SYSTEMES CELLULAIRES	14
2.1 Introduction	14
2.2 Système cellulaire	16
2.2.1 Concepts de base	16
2.2.2 Communication mobile-terrestre	18
2.3 Distribution cellulaire	19
2.4 Taille des cellules	22
2.5 Bruit et interférence	23
2.6 Diversité	28
2.7 Performance du système	30
2.7.1 Rapport signal sur bruit requis	30
2.7.2 Coût d'un système	34
2.7.3 Taux de service	35
III. SCHEMAS D'ATTRIBUTION DES CANAUX	38
3.1 Introduction	38
3.2 Canaux attribués en permanence, système fixe	39
3.3 Système dynamique	43
3.3.1 Stratégie utilisée dans l'attribution des canaux	45
3.4 Système hybride	48
3.4.1 Concept général	48

	<u>PAGE</u>
IV. DESCRIPTION DU SYSTEME SIMULE	52
4.1 Développement du modèle de simulation	52
4.2 Diagramme de simulation	55
V. RESULTATS DE SIMULATION GPSS	59
5.1 Configuration du système simulé	59
5.2 Performance	59
5.2.1 Système qui supporte le trafic maximum par cellule	59
5.2.2 No. minimum de canaux nécessaires	65
5.2.3 Efficacité spectrale: hybride vs. fixe	74
VI. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS POUR ETUDES ULTERIEURES	84
REFERENCES	87

SOMMAIRE

Dans la première phase du contrat (novembre 23, 1978-mars 31, 1979) (voir Rapport Final soumis au Département des Communications) nous avons débuté l'étude de deux méthodes de gestion du spectre des fréquences pour la communication terrestre-mobile, c'est-à-dire les systèmes cellulaires et les techniques d'étalement du spectre. Un modèle de simulation d'un système cellulaire uniforme, ayant un schéma hybride d'attribution des canaux et la discipline Erlang-C, était développé et étudié. Des conclusions étaient atteintes au sujet de la performance de la répartition des canaux entre les allocation fixes et dynamiques.

Ce rapport ci présent une continuation des recherches mentionnée ci-dessus pour les systèmes cellulaires et uniformes, par rapport au trafic offert, avec la discipline Erlang-B.

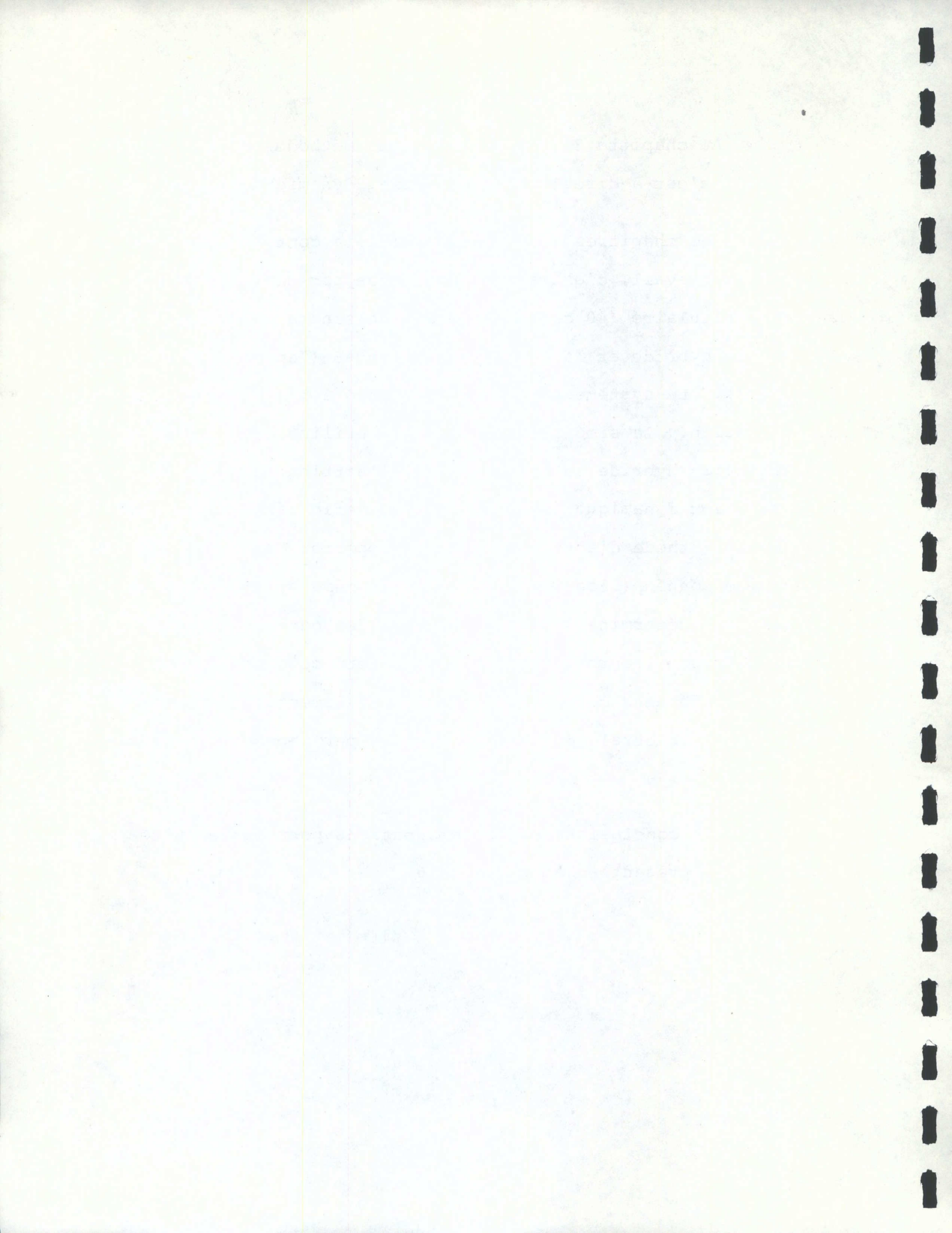
Le chapitre 1 fournit les concepts de trafic de base. Les trois disciplines (i) appels-bloqués-éliminés (Erlang-B), (ii) appels-bloqués-retardés (Erlang-C) et (iii) appels-bloqués-retenus sont présentées.

Le chapitre 2 offre une introduction au concept de base des systèmes cellulaires et aux concepts de bruit et d'interférence.

Au chapitre 3 on parle de trois méthodes d'attribution de canaux, c'est-à-dire les schemas fixe, dynamique et hybride.

Les chapitres 4 et 5 présentent la contribution majeure à ce travail, c'est-à-dire une étude par simulation d'un système cellulaire (40 cellules) ayant un schema d'attribution des canaux hybride et la discipline Erlang-B ("appels-bloqués-éliminés"). Le système simulé est présenté à l'aide de diagramme de simulation. La simulation GPSS a été utilisé pour l'étude. L'attribution hybride est comparé avec l'attribution fixe et l'attribution dynamique pour rapport au trafic maximum par cellule que chaque méthode d'attribution peut supporter, pour une qualité de service donnée (bloquage 2%). Pour ce même système cellulaire uniforme, on détermine le nombre minimum des canaux par cellule nécessaires pour fournir une qualité de service donnée, pour des taux différents de trafic offert. Finalement, on compare l'efficacité spectrale du système hybride par rapport au système fixe.

Les conclusions et recommandations pour études ultérieures sont présentées au chapitre 6.



I. CONCEPTS DE TRAFIC

1.1 Introduction

L'étude du trafic est une discipline bien établie dans l'ingénierie de téléphone. Nous allons donc utiliser le terme 'trafic', à travers cette étude, comme il est compris dans le contexte téléphonique, où il signifie le 'nombre d'appels' par heure.

Les appels téléphoniques sont effectués par des utilisateurs individuels, d'après leurs habitudes journalières, où d'après leur travail. Le nombre d'appels varie durant la journée; donc, la quantité de lignes (ou canaux-radio) requise doit être suffisante pour satisfaire la demande aux heures de pointe.

Les facteurs de base impliqués dans le calcul du nombre de lignes nécessaires sont les suivants: le taux d'appels, la durée des appels, et la qualité de service. Le produit des deux premiers facteurs donne ce qu'on appelle le 'trafic offert', qui exprime le temps qu'une certaine quantité d'utilisateurs désire occuper les lignes; l'unité généralement utilisée est le 'Erlang'. Un (1) Erlang est le montant de trafic qu'une ligne (canal) peut supporter durant une (1) heure, si elle est constamment occupée en d'autres mots, 3600 appels-secondes de trafic.

Ce qu'on appelle la 'durée d'un appel' comprend le temps de conversation ainsi que le temps requis pour établir la liaison entre les deux clients. Les réseaux de téléphones terrestres voient la durée des appels suivre une distribution exponentielle négative. De même, on peut prévoir une telle distribution dans les réseaux de téléphones mobiles [1].

La qualité de service peut être décrite soit par la probabilité de blocage, c'est-à-dire la probabilité que toutes les lignes (canaux) soient occupées, soit par le délai moyen subit par les appels.

C'est une pratique générale de présumer qu'un client utilise le système de façon aléatoire et indépendamment des autres. Cette assertion n'est pas strictement valide parce que lorsque deux clients discutent, leurs possibilités d'effectuer d'autres appels indépendamment l'un de l'autre est restreinte. Néanmoins, dans un réseau de téléphone ordinaire, les appels sont effectués de façon aléatoire. A cause de cela, et aussi à cause du grand nombre d'utilisateurs, les appels arrivent d'après le processus de Poisson et le temps entre deux appels suit une distribution exponentielle négative. On prévoit la même chose pour les communications mobiles. De plus, il est présumé que, durant une longue

période de temps, chaque client offre un même nombre de Erlangs. Evidemment, le taux d'appels de chaque individu varie beaucoup mais la valeur moyenne du taux d'appel sera tout de même utilisée. Suite à cela, la probabilité que quelque utilisateur particulier utilise le téléphone à n'importe quel temps est une constante.

1.2 Formules utilisées dans l'analyse du trafic

Un appel ne trouvant pas de canal libre attend dans une queue jusqu'à ce qu'il y en ait un qui se libère.

Dépendamment de l'équipement disponible, du nombre d'appels et du nombre de canaux, certains utilisateurs n'obtiendront pas immédiatement l'accès au système; ils sont les 'appels bloqués'.

Il existe deux disciplines extrêmes pour résoudre le problème des appels bloqués; la première rejette simplement les appels (appels-bloqués-éliminés) et la dernière fait patienter les clients jusqu'à ce qu'un canal soit disponible (appels-bloqués-retardés). Une solution intermédiaire ne retient les appels bloqués que quelque temps pour ensuite les rejeter (appels-bloqués-retenus).

La théorie des probabilités ainsi que celle des queues permettent la dérivation de formules de trafic établissant des rapports entre le trafic offert, le nombre de canaux et la qualité de service pour les trois disciplines ci-haut mentionnées.

1.2.1 Appels-bloqués-éliminés (ABE) (Erlang-B)

Cette discipline élimine définitivement un appel bloqué. Elle peut être représentée par le modèle M/M/m/m de queues (fig. 1.1) dans lequel il y a m serveurs identiques (canaux), chacun ayant un temps de service (durée d'appel) identique. Ce dernier est régi par une distribution exponentielle négative avec une moyenne de $1/\mu$ s. Les appels arrivent suivant un processus de Poisson avec un taux d'arrivée moyen de λ appels/hr. Les appels qui arrivent lorsqu'un canal est disponible sont servis immédiatement. Un appel qui arrive lorsque tous les canaux sont occupés est bloqué et quitte le système.

Le facteur d'utilisation (occupation des canaux) pour le modèle de la figure 1.1 se calcule de la façon suivante:

$$\rho = \frac{\lambda(1/\mu)}{3600 m} \quad 1.1$$

ou

$$m\rho = \frac{\lambda/\mu}{3600} \text{ charge offerte en Erlang}$$

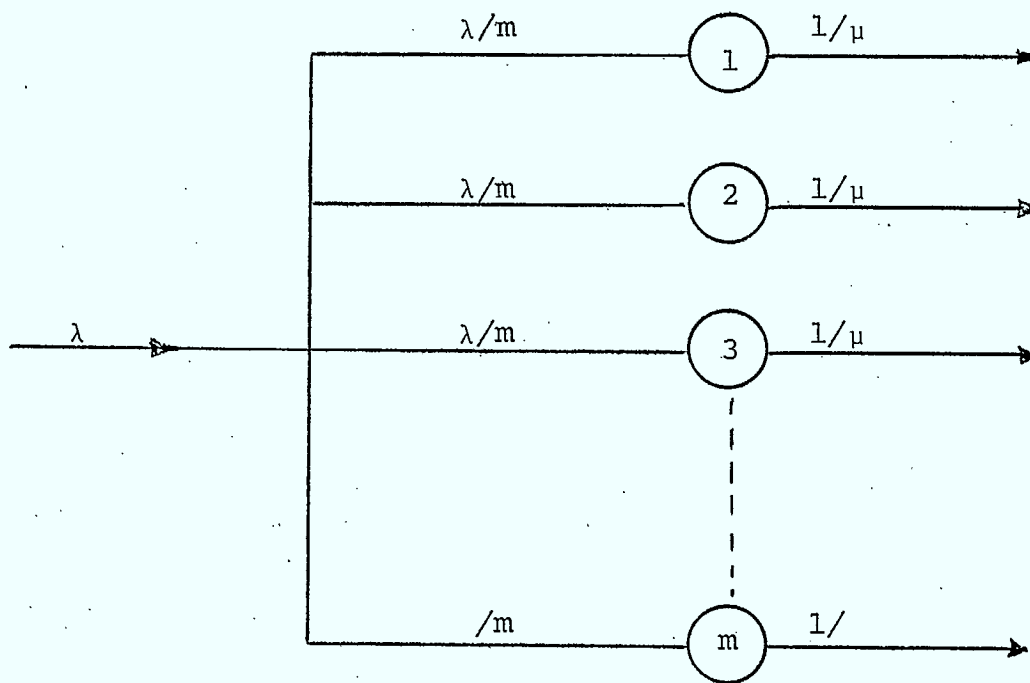


Fig. 1.1 Un modèle de queues pour la discipline ABE.

La probabilité de blocage est donnée par la formule de Erlang-B

$$P_b = \frac{(m\rho)^m}{m!} \frac{1}{\sum_{k=0}^m \frac{(m\rho)^k}{k!}} \quad 1.2$$

Des tables de cette formule se trouvent à la référence 2. Puisqu'aucune queue n'est permise dans la discipline Erlang-B, le temps d'attente moyen est nul.

1.2.2 Appels-bloqués-retardés (ABR) (Erlang-C)

Un appel ne trouvant pas de canal libre attend dans une queue jusqu'à ce qu'il y en ait un qui se libère et l'utilise pour la durée entière de son appel. Cette discipline, ABR, est la base des formules de Erlang-C pour obtenir la probabilité d'attendre en queue.

Cette discipline peut être représentée par le modèle M/M/m/ de queues (fig. 1.2). Ce dernier est formé de m serveurs avec un temps de service (durée d'appel) régit par une distribution exponentielle négative avec une moyenne de $1/\mu$ s., et d'appels qui arrivent à un taux qui suit le processus de Poisson, dont la moyenne est de λ appels/hr. De plus, la queue n'a pas de limite. Les appels qui trouvent un canal libre (serveur) reçoivent le service immédiatement. Ceux qui arrivent lorsque tous les

serveurs sont occupés, font la queue et seront servis en ordre (premier-arrivé-premier-servi-FIFO). Lorsqu'un serveur se libère, le premier de la ligne obtiendra ses services.

Deux cas se présentent dans le modèle ABR et sont démontrés aux figures 1.2(a) et 1.2(b).

La figure 1.2(a) représente la situation où les appels n'ont pas de serveurs préférés, c'est-à-dire qu'ils seront servis par le premier serveur libéré. Dans le modèle de la figure 1.2(b), les appels seront servis par un serveur prédéterminé. Le temps d'attente dans la queue de ce dernier modèle est plus grand que celui du premier cas.

Les caractéristiques des appels sont présumés identiques dans les deux modèles. Encore ici, le facteur d'utilisation de chaque serveur est donné par l'équation 1.1, et la probabilité d'attendre en queue pour le modèle de la figure 1.2(a) se trouve par la formule de Erlang-C comme suit:

$$P_c = \frac{1 - \frac{\sum_{k=0}^{m-1} \frac{(m\rho)^k}{k!}}{\sum_{k=0}^m \frac{(m\rho)^k}{k!}}}{1 - \rho} \quad 1.3$$

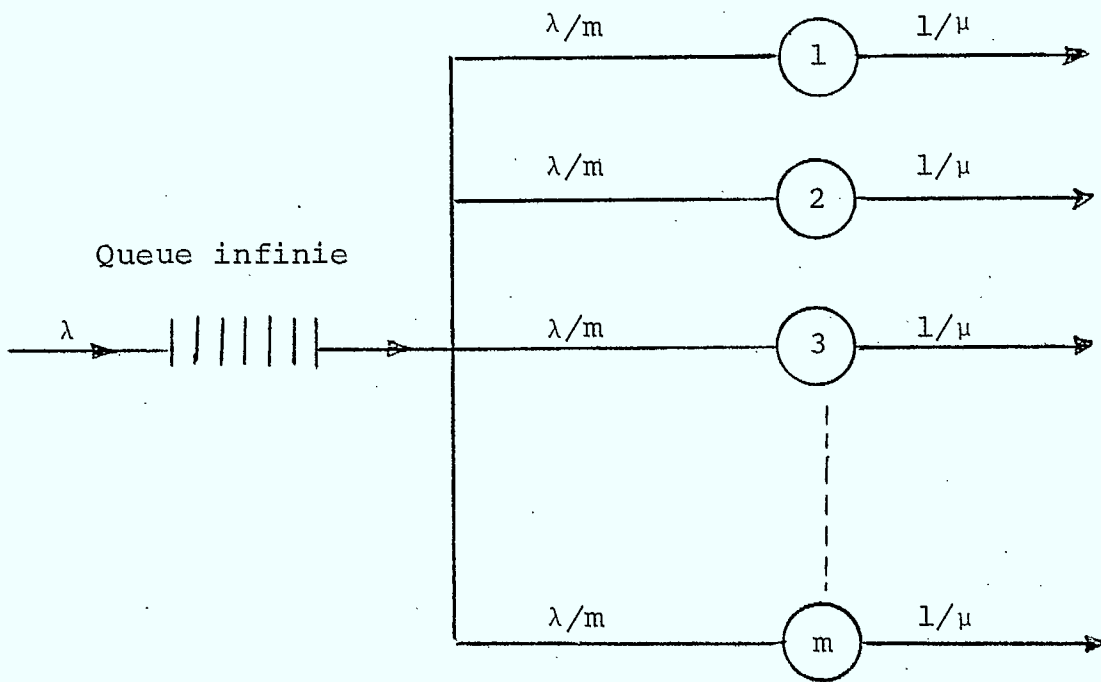


Fig. 1.2a Une queue à serveurs-multiples avec m serveurs

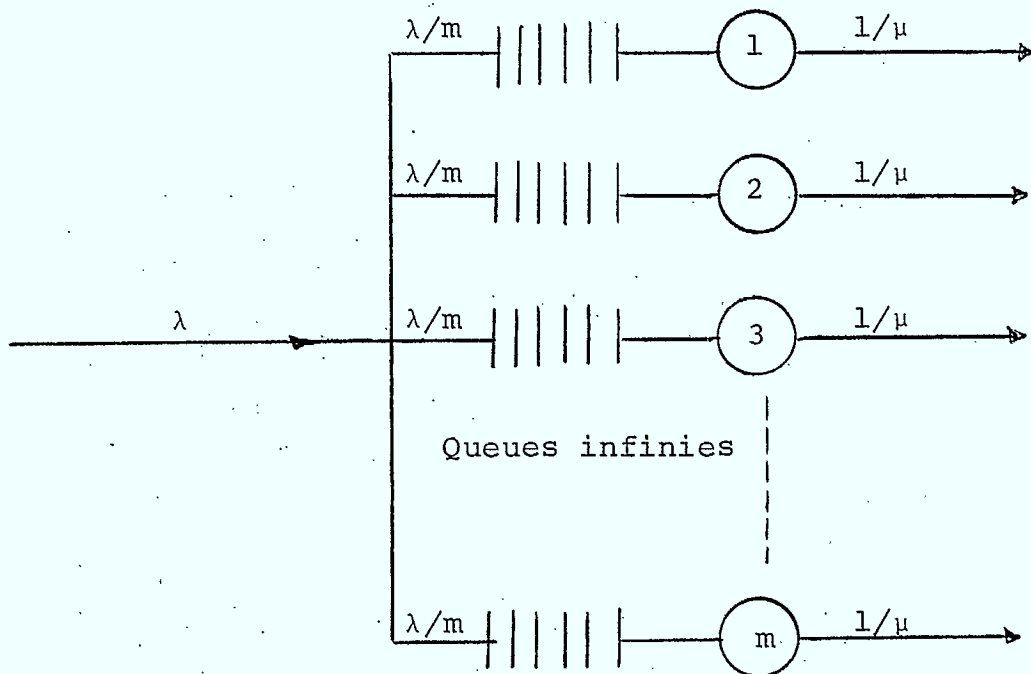


Fig. 1.2b m queues à serveur-unique en parallèle

Il est intéressant de noter qu'avec la formule de Erlang-C (ABR), aucun appel ne quitte le système sans avoir été servi. La probabilité de blocage est donc nulle. Par contre, le temps d'attente moyen n'est pas zéro.

1.2.3 Appels-bloqués-retenus (ABr)

Dans un tel système, les appels qui trouvent un canal libre sont servis immédiatement. Si un appel entre dans le système lorsque tous les canaux sont occupés, il sera retenu pour une période égale au temps de la durée moyenne des appels (pré-déterminé). Si, pendant ce temps, un canal se libère, un appel retenu l'utilisera pour la durée de sa conversation. Si, après un temps égal à la durée moyenne des appels, un appel n'a toujours pas été servi, il quitte le système.

Utilisant les mêmes hypothèses, au sujet de la distribution des appels et de leur durée, que dans les deux disciplines précédentes, la probabilité de blocage est donnée par [3], comme suit:

$$P_{-H} = \sum_{k=m}^{\infty} \frac{(m\rho)^k}{k!} e^{-m\rho} \quad 1.4$$

où m est le nombre de serveurs et ρ est le facteur d'utilisation de chaque serveur décrit par l'équation 1.1.

La façon dont les appels bloqués sont traités influence la probabilité que tous les canaux soient occupés. Dans le modèle ABE, les appels bloqués n'occupent pas de canal et par conséquent, pour une certaine charge, la probabilité que tous les canaux soient occupés est la plus faible des trois disciplines. Lorsque les appels bloqués sont retenus (ABr), ils occupent un canal pour un certain temps. Si la probabilité qu'aucun canal ne soit disponible est grande, les appels bloqués occuperont pratiquement toute la période de retenue. Dans le modèle ABR, les appels bloqués peuvent attendre dans le système, et l'occuperont le temps qu'il faudra pour se faire servir. Il en suit que la probabilité que tous les canaux soient occupés est la plus grande des trois disciplines. Le service de téléphones mobiles actuel est plutôt décrit par le modèle Erlang-B, et le service des dépêches est plus près de la discipline Erlang-C.

Le modèle Erlang-B adopté dans les services actuels de téléphones mobiles provoquent la réjection de plusieurs appels lorsque le système est lourdement chargé. Un meilleur service peut être offert aux appels qui ne trouvent aucun canal disponible s'ils demeurent dans le système en attendant qu'un canal se libère. Les appels qui attendent dans la queue seront informés aussitôt qu'un canal est disponible.

II. SYSTEMES CELLULAIRES

2.1 Introduction

La plupart des premiers systèmes de communication mobile utilisaient un système de recouvrement global et la technique de modulation FM. Dans ce type de système, on tente de couvrir la plus grande région possible en érigeant les antennes, qui transmettent à une très forte puissance, sur les plus hautes montagnes ou édifices. Puisqu'une unité mobile ne peut transmettre à une si grande puissance, des récepteurs additionnels ont dû être distribués dans l'aire de service, pour fournir la connection base-mobile nécessaire. De plus, à cause des montagnes, des tunnels et des autres obstructions, il existait plusieurs trous dans la région où le signal de l'antenne primaire était très faible. Eventuellement, d'autres émetteurs et antennes ont dû être installés pour réduire le nombre de trous. Par contre, cette solution causa un problème de recouvrement, comme indiqué dans la figure 2.1, à cause des différences de phase entre les émetteurs. En plus, le délai dans les circuits des différents émetteurs doit être soigneusement équilibré pour maintenir un niveau acceptable de distortion.

Ce système de communication global a été jugé incapable de répondre à la demande croissante de service mobile par radio, car en plus des insuffisances déjà mentionnées, les canaux ne

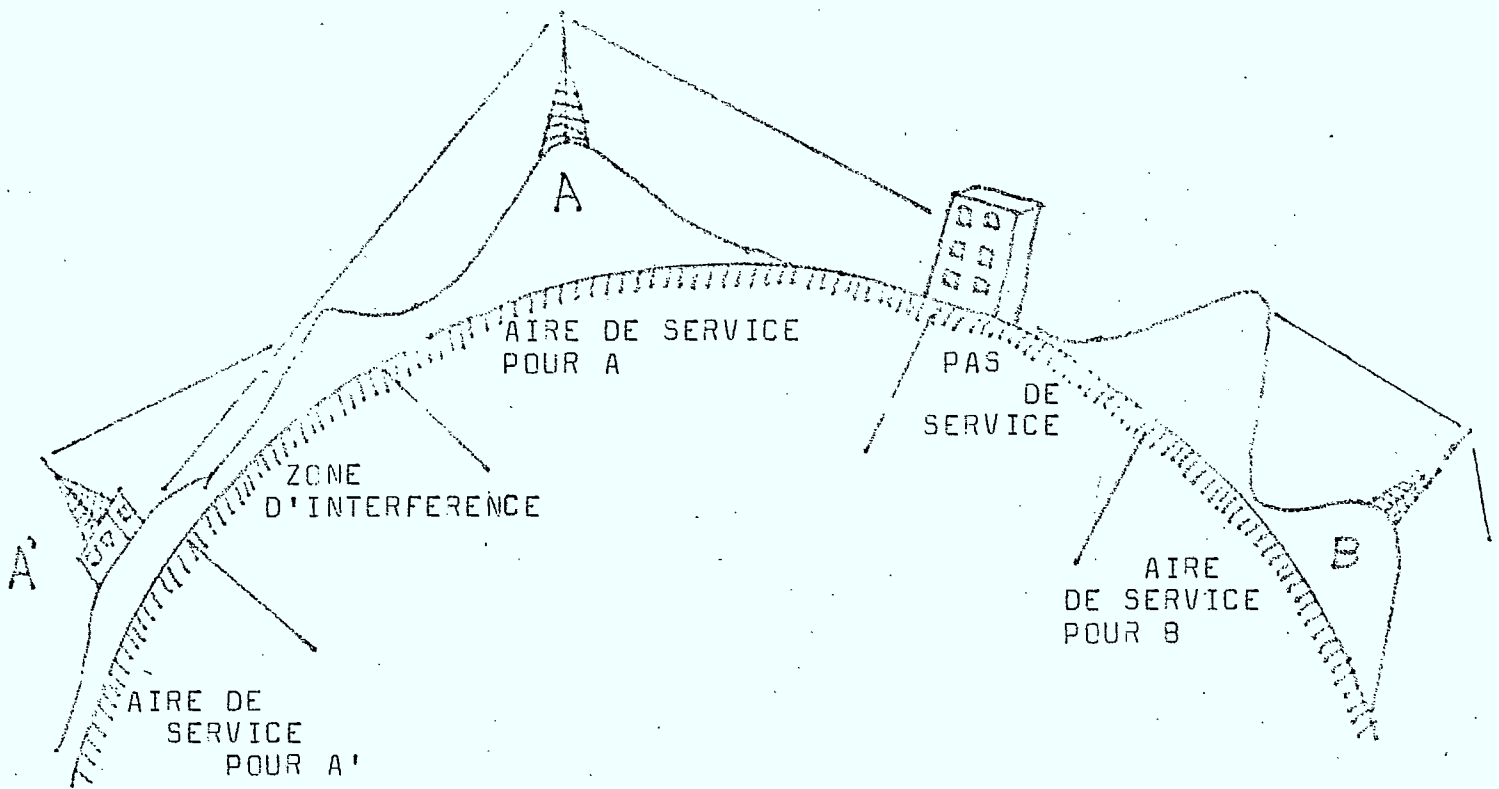


Figure 2.1 Système de communication desservant une région très étendue

sont pas en général réutilisables à l'intérieur de l'aire de service. Les instigateurs actuels des systèmes de radio mobile à haute capacité sont hautement en faveur de la structure cellulaire qui est considérée capable de résoudre le manque sérieux de canaux et simultanément répondre à la demande croissante pour un service de radio mobile.

2.2 Système cellulaire

2.2.1 Concepts de base

Dans les systèmes cellulaires, l'aire de service dans sa totalité est divisée en zones ou cellules n'emboîtant pas les unes sur les autres. Une station de base équipée d'une antenne omnidirectionnelle se trouve dans chaque cellule. Une antenne de haute puissance n'est pas requise puisque les stations de base sont responsables du trafic de leurs cellules seulement. Les stations de base sont reliées à une station centrale de commutation (MSO, "Mobile Switching Office") qui est elle-même reliée au réseau téléphonique, comme illustré dans la figure 2.2. La station centrale de commutation (MSO) est équipée d'un système électronique de commutation avec des terminaux, des mémoires et des programmes de façon à obtenir la coordination précise nécessaire et le contrôle de façon à administrer l'attribution des stations de base, l'attribution des canaux et d'interconnecter les mobiles

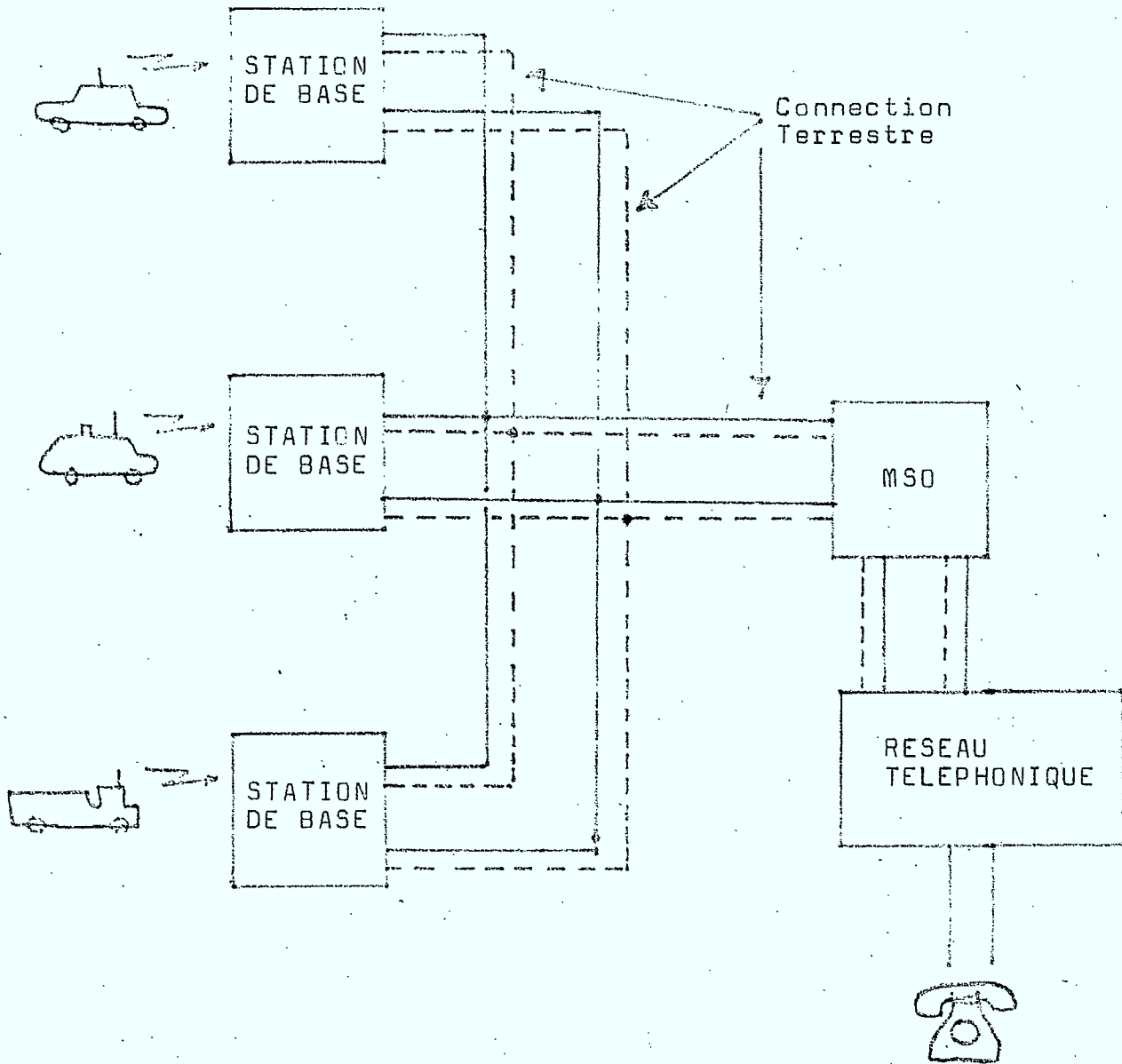


Figure 2.2 Diagramme d'un réseau de communication cellulaire

avec l'un et l'autre ou avec le réseau téléphonique. Les stations de base agissent effectivement comme des cocentrteurs de fréquence sous le contrôle du MSO.

2.2.2 Communication mobile-terrestre

Un utilisateur du système cellulaire est habituellement inscrit dans une seule région métropolitaine, qui peut comprendre une ou plusieurs cellules. Un seul numéro de code, de la forme NPA-NNX-XXX, est donné à chaque utilisateur où NPA indique la région où l'utilisateur est inscrit; N est n'importe quel chiffre autre que 0 et 1, et X peut prendre n'importe quelle valeur entre 0 et 9 inclusivement. Les six premiers chiffres du code sont utilisés pour obtenir le service mobile et sont utilisés seulement dans une région métropolitaine.

a) Appel terrestre-mobile

Lorsqu'un numéro de code d'un utilisateur est introduit dans le système via le réseau téléphonique, le système dirigera l'appel vers la région métropolitaine décrite par le code et le mobile sera signalé par l'intermédiaire d'un canal spécial. Lorsqu'un mobile est signalé, le système retournera une sonnerie au correspondant téléphonique, indiquant que le mobile est demandé. En même temps le système envoie un signal sonore au mobile pour l'avertir qu'il est demandé. Un utilisateur d'une région métropolitaine qui se trouve dans une autre région métropolitaine, doit être rejoint par l'intermédiaire d'un opérateur.

b) Appel mobile-terrestre

Tous les appels provenant des mobiles, même s'ils se trouvent dans une autre région métropolitaine, seront acheminés en signalant seulement le numéro demandé. Le ton standard de téléphone sera utilisé pour indiquer à l'utilisateur qu'il peut signaler.

2.3 Distribution cellulaire

Une distribution cellulaire du système de communication terrestre-mobile est représenté dans la figure 2.3. Des cellules hexagonales sont préférées par rapport aux autres formes géométriques comme des cellules triangulaires ou carrées, puisqu'elles approchent le plus la forme circulaire qui est produite par l'antenne omnidirectionnelle de la base. En plus, les cellules hexagonales ont le moins de cellules voisines, donc moins de signaux qui peuvent causer de l'interférence.

Puisque chaque station de base transmet seulement dans sa propre cellule, une réutilisation des mêmes canaux de fréquence dans d'autres cellules est possible, fournissant ainsi plusieurs communications avec la même fréquence. Une utilisation efficace des fréquences radio nécessite l'attribution de canaux dans des cellules qui sont séparées par la distance la plus petite

GROUPE DE CANAL

FRONTIERE
DU GROUPE
D'INTERFERENCE

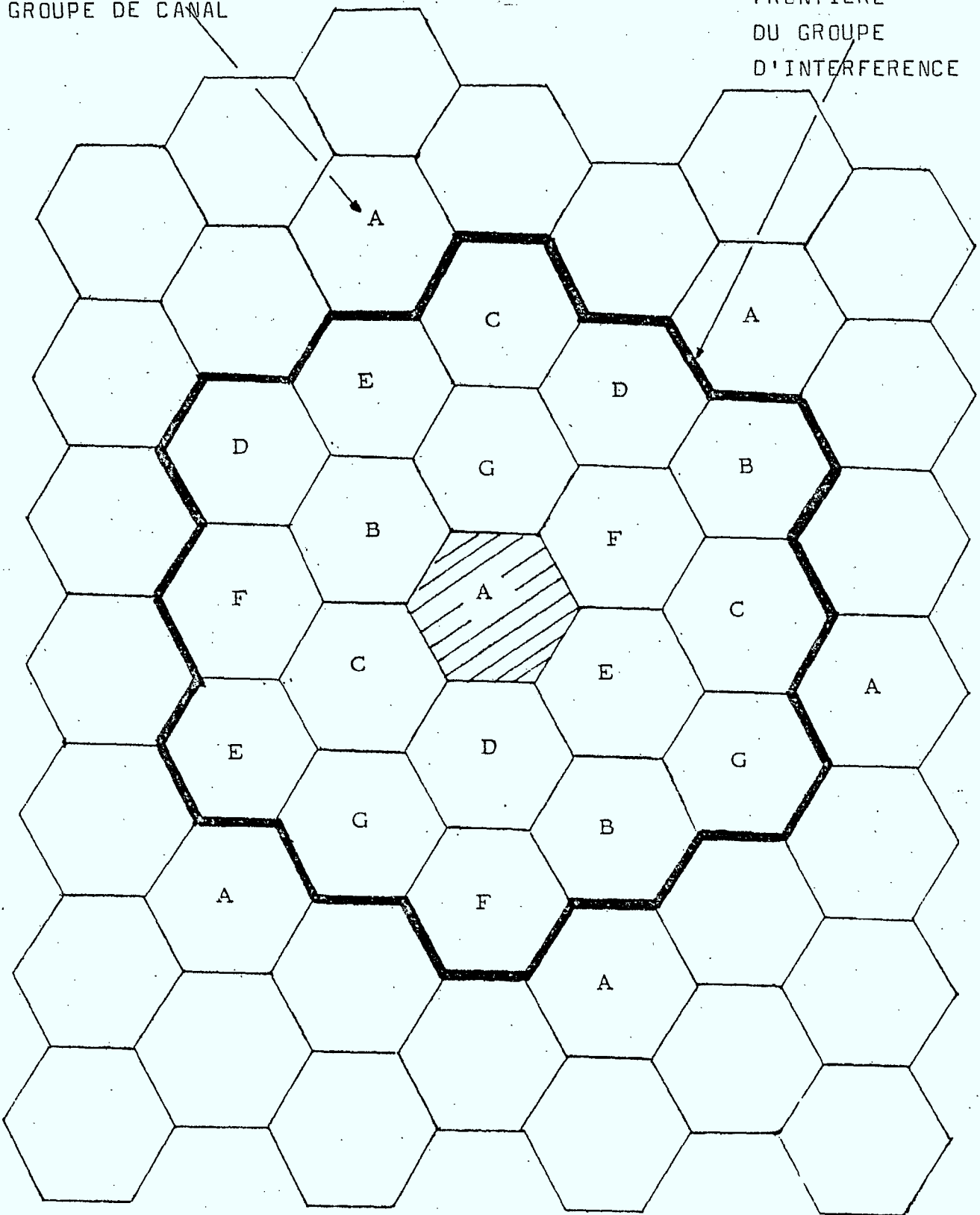


Figure 2.3 Schéma d'un système cellulaire à haute capacité

sans produire d'interférence. Par contre, il existe une distance minimum à l'intérieur de laquelle un canal ne peut être réutilisé. Cette séparation minimum est appelée la distance minimum de réutilisation ou distance (γ), elle est donnée par:

$$\gamma = \frac{D}{R} \quad 2.1$$

où D est la séparation géographique entre deux stations de base qui utilisent simultanément le même canal, et R est le rayon de la cellule. La distance minimum de réutilisation dépend du rapport signal sur interférence, de la taille de la cellule, de la hauteur et du gain de l'antenne, des émetteurs, du milieu de propagation, de la fréquence d'opération et aussi de la technique de modulation utilisée.

Pour n'importe quelle valeur γ il existe un groupe d'interférence associé à chaque cellule. L'attribution d'un canal ne peut se faire à un autre endroit dans le groupe d'interférence, si le canal est déjà utilisé dans une cellule. En plus le groupe d'interférence peut être considéré comme le bloc de base, puisque chaque cellule du groupe doit obtenir un groupe de fréquence différent. Donc, ce bloc de base peut être répété jusqu'à ce que l'aire de service entière soit recouverte.

Un groupe d'interférence est représenté pour la cellule hachurée de la figure 2.3 par la courbe grasse. Il y a 19 membres dans ce groupe. Les lettres majuscules indiquent le groupe de fréquence utilisé dans chaque cellule. On peut remarquer, qu'une réutilisation du groupe de fréquence A est interdit à l'intérieur du groupe d'interférence.

2.4 Taille des cellules

En général, le système cellulaire le plus économique, utilise des cellules qui sont assez petites pour fournir le service au trafic le plus élevé en utilisant tous les canaux. Ceci minimise le nombre de stations de base et attribue les fréquences radio disponibles dans le plus gros groupes, puisque d'après la théorie, un groupe très grand de canaux est plus efficace qu'un petit groupe.

Pour n'importe quelle capacité, la densité du nombre d'utilisateurs varie du centre d'une ville au contour de celle-ci, donc la grandeur des cellules varie de la même façon. En plus, la capacité du système varie en fonction du temps. Ces faits suggèrent un système dont la taille des cellules varieraient continuellement avec le temps et la position, mais un tel système est économiquement irréalisable. Mais la grandeur optimale

des cellules peut être obtenue approximativement dans un système qui réduit la grandeur des cellules dans des étapes discrètes en additionnant de nouvelles stations de base sans changer celles déjà existantes, comme représenté dans la figure 2.4.

La frontière minimale sur la taille des cellules est principalement contrôlée par la contrainte pratique du montant de données requi par chaque station de base pour retenir la position des véhicules en mouvement et de transférer un mobile d'une cellule à une autre. Des cellules de rayon d'environ un mille sont présentement possibles et un rayon beaucoup plus petit sera possible dans le futur à cause de la technologie des microprocesseur. La taille maximale sur la grandeur des cellules dépend de la puissance de l'émetteur du mobile et de la base, de la largeur de bande des canaux, des récepteurs, de la grandeur de l'antenne et de son gain, du rapport signal sur bruit minimum requis et dépend aussi de la diversité si elle est employée ou non. Des cellules d'un rayon de 20 milles sont possible aujourd'hui.

2.5 Bruit et interférence

Un signal transmis dans un environnement donné est en général dégradé en rapport avec le bruit et l'interférence.

+ site original

o nouveau site

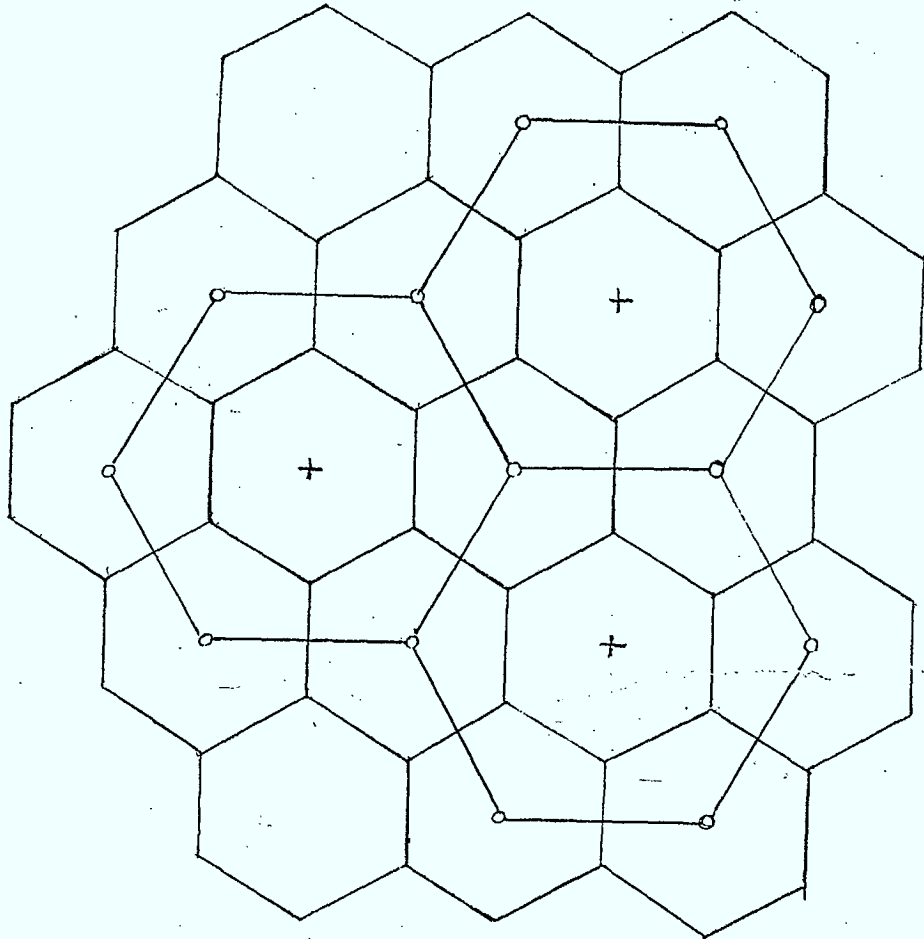


Figure 2.4 Réduction de la taille des cellules

Les signaux radio en communication mobile ne sont pas exempts de ces dégradations qui proviennent des sources suivantes:

a) Affaiblissement Rayleigh

Puisque les caractéristiques des milieux de propagation varient continuellement entre la station de base et le mobile, lorsque le mobile se déplace, les ondes réfléchies provenant des autres sources peuvent causer de l'interférence destructive de degré variable. Cette interférence cause une variation de l'enveloppe du signal qui varie d'après la distribution Rayleigh:

$$P_r(\alpha) = \begin{cases} 0 & , \alpha < 0 \\ \left(\frac{\alpha}{r_0}\right) e^{-\frac{\alpha^2}{2r_0}} & , \alpha \geq 0 \end{cases} \quad 2.2$$

où r_0 est la puissance moyenne de la distribution.

b) Affaiblissement Log-normal

La valeur moyenne du niveau du signal reçu,

$$S = \sqrt{\frac{\pi r_0}{2}} \quad 2.3$$

varie lentement en fonction de la longueur d'onde lorsque la distance entre le mobile et la station de base varie. Cette variation lente est très bien évaluée approximativement par la distribution log-normal. Donc r_0 varie comme $B^{-\Omega}$ où B est la

distance entre la station de base et le mobile et Ω est le facteur d'atténuation situé entre 2 et 4. Plus spécifiquement, la densité de la probabilité de la moyenne du signal reçu en décibel est donné par:

$$P_S(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp \left[-\frac{(\alpha - \alpha_0)^2}{2\sigma^2} \right] \quad 2.4$$

où α , α_0 , et σ sont exprimés en décibel et la valeur attendue α_0 du signal moyen reçu est

$$\alpha_0 = A - 10\Omega \log \left(\frac{B}{B_0} \right) \quad 2.5$$

où la constante A dépend du terrain et de l'environnement, de la hauteur et du gain de l'antenne et de la fréquence de modulation, et B_0 est le rayon de la cellule.

c) Interférence causé par la réutilisation d'un canal

La réutilisation des canaux de fréquence par les mobiles et les stations de base dans les cellules suffisamment éloignées cause de l'interférence qui est en général inexistante dans un système de communication conventionnel. Cette interférence dépend du facteur de propagation du milieu, de la distance de réutilisation, des caractéristiques du message, de l'index de modulation et aussi de la structure du récepteur.

d) Interférence due aux canaux adjacents

L'information transmise sur un canal adjacent au canal local produit une source d'interférence. Le niveau d'interférence dépend de la séparation en fréquence entre les canaux, de l'index de modulation, du facteur de propagation, de la distance de séparation et de la structure du récepteur.

e) Affaiblissement sélectif de la fréquence

Il existe parfois plusieurs chemins de transmission entre la station de base et le mobile. L'interférence entre ces différents chemins peut être, à n'importe quel moment, soit constructive, destructive ou aucun dépendant de la fréquence du signal transmis. Puisque la fréquence instantanée d'un signal modulé FM dépend de l'amplitude du signal de base, alors des fluctuations dans la puissance du signal reçu peuvent se produire même si le mobile est stationnaire.

f) Interférence dû aux autres signaux FM

Lorsque le mobile se déplace, la phase instantanée du signal reçu peut varier brusquement à cause du changement soudain du chemin du signal. Ceci cause un bruit qui est proportionnel à

$$f_m = \frac{V}{\tau}$$

2.6

où V est la vitesse du véhicule et τ est la longueur d'onde du signal transmis.

g) Ombres macroscopiques

Des caractéristiques de terrain telles des montagnes et des geattes-ciel causent des variations dans la puissance du signal reçu. Ces variations se produisent sur des distances d'une dizaines à une centaine de pieds.

2.6 Diversité

Dans un sens général la diversité, comprend l'utilisation de plusieurs branches indépendantes de transmission dans le chemin de communication pour protéger le système contre la panne d'une branche. Dans un système radio de communication, ces branches peuvent être obtenues en utilisant des différentes fréquences de base sur le même chemin ou en utilisant une seule fréquence de base avec différents chemins, polarizations ou temps de transmission.

La technique la plus souvent utilisé dans les systèmes de communication mobile est la diversité d'espace. Dans cette technique plusieurs sites de bases ou positions d'antennes créent une multitude de chemins bases-mobiles, dans lesquels le paramètre critique est le degré de séparation entre les chemins nécessaire pour obtenir une indépendance.

a) Diversité contre l'affaiblissement Rayleigh

i) Diversité d'espace

Puisqu'une aire d'une dizaine ou centaine de pieds d'étendue tend à avoir une moyenne constante sur laquelle la variable Rayleigh est distribuée, alors dans l'environnement à 850 MHz, les antennes séparées de quelques pouces produiront des signaux de Rayleigh indépendants. Cette faible distance d'espacement entre les antennes permet l'implantation de la diversité d'espace pour la communication mobile possible.

ii) Diversité de polarisation

Des signaux de polarisation vertical et horizontale, même s'ils sont transmis et reçus par la même antenne dénoteront des signaux d'affaiblissement Rayleigh indépendants. Si deux signaux polarisés orthogonalement sont transmis simultanément vers le mobile, alors des antennes très rapprochées à la station de base produiront des branches de diversité indépendante.

b) Diversité contre les ombrages

Dans un système typique où une seule station de base est implantée au coeur de chaque cellule, de l'ombrage est créé par de grandes obstructions, qui produiront ainsi des trous dans la surface de communication. Ces trous peuvent être remplis en utilisant une station de base satellite. Par contre l'usage

d'un satellite par cellule est extrêmement coûteux. Au lieu de ceci, la diversité d'espace peut être réalisée en plaçant des stations de base à tous les deux coins des cellules hexagonales, comme indiqué dans la figure 2.5.

Une telle distribution nécessite seulement une station de base par cellule puisque chaque cellule est desservie par trois bases, et chaque base sert trois cellules simultanément. L'utilisation d'antenne directionnelle aux trois bases peut aussi augmenter le niveau du signal dans la cellule et ainsi réduire l'interférence causé par les autres appels qui utilisent le même canal dans d'autres cellules.

2.7 Performance du système

2.7.1 Rapport signal sur bruit requis

Les signaux FM utilisés dans un système de communication mobile subissent parfois des affaiblissements très rapides de même que le bruit et l'interférence. Ceci complique la structure du récepteur FM. Durant un cycle d'affaiblissement, le récepteur passe à travers une séquence de plusieurs conditions différentes.

- 1) Si le signal est assez élevé par rapport à l'interférence, les qualités du récepteur sont bonnes;

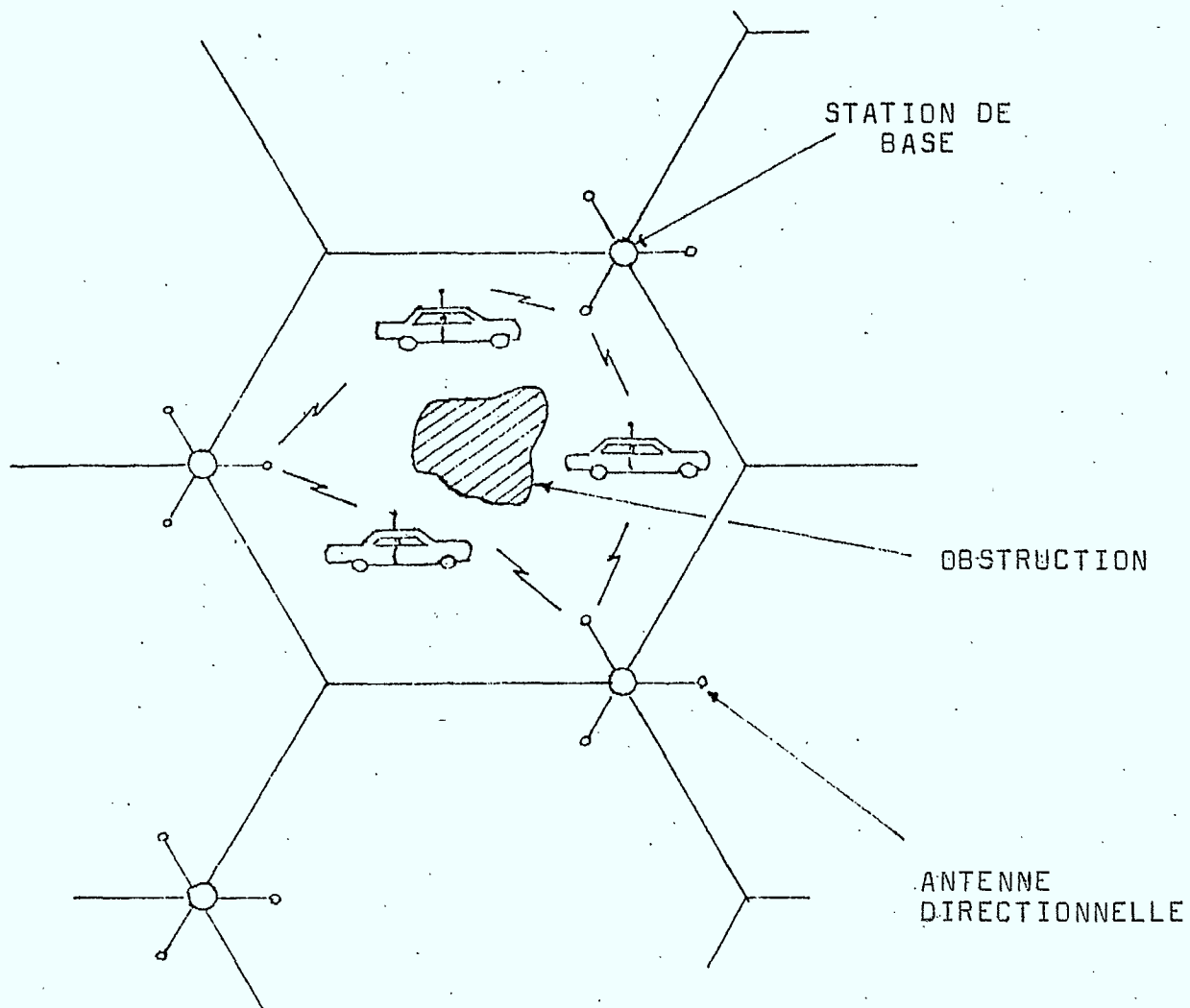


Figure 2.5 Diversité d'espace contre les ombrages

- 2) Lorsque le niveau du signal baisse et approche le niveau de l'interférence, une distorsion se manifeste;
- 3) Lorsque le niveau du signal tombe sous le niveau de l'interférence, un "clic" en résulte;
- 4) Lorsque l'interférence domine, les autres conversations sont perçues.

Puis, lorsque le signal augmente de nouveau, la même séquence est répétée mais dans le sens inverse.

En présence de l'interférence et pour obtenir une bonne diversité et/ou un rapport signal sur bruit assez élevé pour garder le signal au-dessus du seuil, le rapport signal sur bruit requis par cellule est donné par:

$$\text{SNR} = \left\{ \left[\sum_{i=1}^I \left(\frac{R}{D_i} \right)^\Omega \frac{P_i}{P} \right] \beta^{-3} + \left[\frac{1.5 \beta^2}{R^\Omega} \text{CNR} \right]^{-1} \right\}^{-1} \quad 2.7$$

où P_i/P = rapport de la puissance du $i^{\text{ème}}$ canal produisant de l'interférence sur la puissance du signal en question,

D_i = séparation géographique entre l'émetteur éloigné ($i^{\text{ème}}$) et le récepteur local,

I = nombre de canaux produisant de l'interférence,

R = rayon d'une cellule,

Γ = constante dépendant de I , le nombre d'affaiblissements subits par le signal et l'interférence, et aussi sur les caractéristiques moyennes du signal,

β = index de modulation,

Ω = facteur d'atténuation, se situe entre 2 et 4,

CNR = rapport signal sur bruit à une distance unité de l'émetteur ($= P/N_0W$),

W = largeur de bande du signal audio

et $N_0/2$ = densité spectrale du bruit gaussien blanc.

Le premier terme de l'équation 2.7 se préoccupe de l'interférence produit par un autre canal, tandis que la deuxième partie considère le bruit gaussien blanc. En plus, l'équation 2.7 donne un rapport sur bruit moyen sur la cellule de rayon R . Des variations dans le rapport signal-bruit peuvent se produire à cause, des changements dans le terrain, des édifices, de la hauteur et du gain de l'antenne, et aussi à cause d'autres conditions de l'environnement. Le rapport signal sur bruit requis, pour la communication mobile, est situé dans l'intervalle de 15 à 30 db.

2.7.2 Coût d'un système

Le coût d'un système cellulaire comprend le coût des stations de base, les coûts associés aux liens terrestres (ligne téléphonique) et aux autres frais divers tels que, le coût des permis, de la planification, de l'entretien de l'équipement etc. Le coût total d'un système, peut être exprimé en fonction de la somme des coûts fixes et des coûts variables. Les coûts fixes, sont ceux nécessaires lors de l'implémentation d'un système de base, tandis que les coûts variables sont les coûts additionnels requis pour obtenir un meilleur système, soit en améliorant le rapport signal-bruit, ou en augmentant le nombre de stations de base ou même en augmentant le nombre de canaux. Le coût du système, normalisé, est donné par la formule suivante [12]:

$$C = 1 + KL^{b-1} \sum_{i=1}^L M_i^a (\text{CNR}_i)^c \quad 2.8$$

où k = facteur du coût variable normalisée par rapport au coût fixe,

L = nombre de cellules,

M_i = nombre de canaux dans la cellule i ,

CNR_i = rapport signal sur bruit pour la cellule i ,

a, b, c = indice du coût déterminant le taux de changement du coût variables; $a < 1$, $b < 1$ et $c > 1$.

Pour toutes les stations de base ayant les mêmes valeurs de CNR_i et M_i et si chaque canal est attribué à une et seulement une cellule, alors avec $CNR_i = CNR$ et $M_i = M/L$

$$C = 1 + KL^{b-a} M^a (CNR)^c \quad 2.9$$

où M est le nombre total de canaux de fréquence.

2.7.3 Taux de service

Le taux de service du système Q est définie comme étant le nombre d'appels qui seront servis dans une période de temps donnée.

Pour la discipline Erlang-B le taux de service est donné par:

$$\begin{aligned} Q &= \sum_{i=1}^L \lambda_i (1 - P_{Bi}) \frac{1}{N} \\ &= \sum_{i=1}^L \rho_i (1 - P_{Bi}) \end{aligned} \quad 2.10$$

où L = nombre de cellules,

P_{Bi} = probabilité de blocage dans la cellule i ,

$\rho_i = \lambda_i/\mu$ = pourcentage d'utilisation du canal dans la cellule i ,

$1/\mu$ = durée moyenne d'un appel.

Pour la discipline Erlang-C, les appels ne sont jamais refusés, c'est-à-dire, ils attendent jusqu'à ce qu'un canal soit disponible. Alors la probabilité de blocage (P_{bi}) est zero, et alors:

$$Q = \sum_{i=1}^L \rho_i \quad 2.11$$

Pour d'autres disciplines, les appels bloqués peuvent être re-essayés plus tard. De ceci, le taux moyen d'appels tentés peut être modifié de la façon suivante:

$$\begin{aligned} \lambda_i^1 &= \lambda_i [1 + q_i P_{Bi} + (q_i P_{Bi})^2 + (q_i P_{Bi})^3 + \dots] \\ &= \frac{\lambda_i}{1 - q_i P_{Bi}} \end{aligned} \quad 2.12$$

où q_i est la probabilité qu'un appel bloqué dans la cellule i sera essayé de nouveau plus tard.

La structure cellulaire permet la réutilisation des canaux de fréquence dans l'aire de service augmentant ainsi l'utilisation du spectre de fréquence attribué à la communication mobile. En plus, le système cellulaire nécessite une puissance de transmission beaucoup plus faible qui, ainsi réduit considérablement le coût de l'équipement des stations de bases et des mobiles.

Par contre, une connaissance plus précise de la position du véhicule est nécessaire dans ce genre de système. Comme nous l'avons mentionné auparavant, la taille des cellules, leur forme et leur position, ainsi que la puissance de transmission, le nombre de canaux, le nombre des stations de base, le rapport signal sur interférence en plus des autres facteurs, ont un effet étonnant sur la performance du système cellulaire de communication mobile.

III. SCHEMAS D'ATTRIBUTION DES CANAUX

3.1 Introduction

Dans les systèmes radio cellulaires, chaque station de base (SB) est responsable des transmissions radio à travers sa propre cellule. Alors les canaux assignés à une cellule peuvent être réutilisés par d'autres cellules, selon certaines contraintes. Il reste à savoir de quelle façon les canaux seront distribués aux cellules, dans un système de radio-mobile cellulaire à grande capacité, de telle sorte qu'un canal soit utilisé au maximum (utilisation plus efficace du spectre de fréquences) sans, pour autant, dépasser les limites acceptables de l'interférence entre les canaux.

L'attribution des canaux devient une issue critique dans la conception d'un système radio-mobile cellulaire, à grande capacité, puisqu'elle affecte la capacité du système ainsi que la conception de l'équipement. En fait, cette issue s'est mérité beaucoup d'attention et d'efforts depuis que le concept cellulaire a été proposé. Différents schémas d'attribution des canaux ont été étudiés et évalués par des gens comme L.G. Anderson [1], D.C. Cox et D.O. Reudink [5-9], J.S. Engel [10, 11], T.J. Kahwa et N.D. Georganas [18], et bien d'autres.

Ce chapitre commence par présenter deux schémas de base d'attribution des canaux qui sont l'attribution fixe et l'attribution dynamique, ainsi que leur performance. La compréhension de ces deux modes a provoqué la conception du schéma hybride d'attribution des canaux qui sera présenté à la dernière section de ce chapitre.

A travers la discussion des trois schémas d'attributions des canaux, les hypothèses suivantes sont faites. La puissance émise par l'antenne d'une station de base est suffisante pour offrir un rapport signal/bruit adéquat aux limites de la cellule et même un peu plus. Alors, la qualité de la réception, à l'intérieur d'une cellule, est limitée par l'interférence - surtout l'interférence entre les canaux, et aussi un peu par l'interférence d'intermodulation et non pas par manque de puissance du signal ou par la présence de bruit thermique.

3.2 Canaux attribués en permanence, système fixe

Dans ce système les canaux sont attribués en permanence dans les bases. Les canaux sont réutilisés lorsque la séparation géographique le permet. Seulement les canaux assignés à la base peuvent être utilisés pour servir un appel. Si tous les canaux sont utilisés dans une base, aucun service ne pourrait

être fournit à un autre client, même s'il existe des canaux libres dans les autres bases.

La figure 3.1 montre un système fixe unidimensionnel utilisant quatre ensembles de canaux A, B, C, et D avec $D/R = 8$.

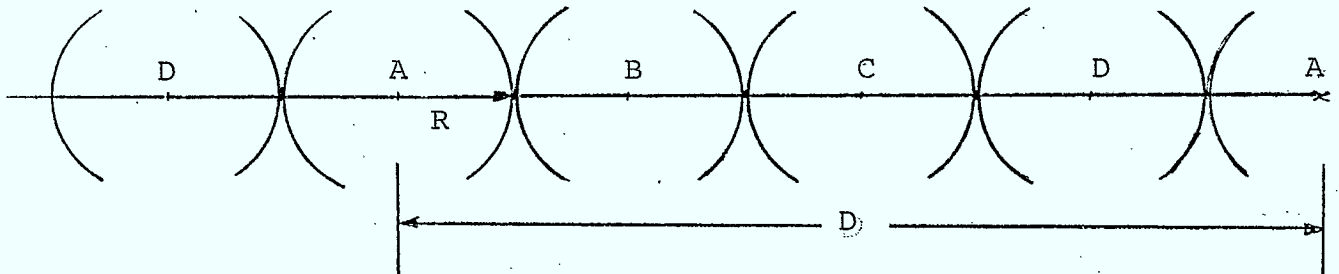


Fig. 3.1 Système cellulaire unidimensionnel

La recherche d'un canal pour desservir un mobile nécessite seulement de regarder dans l'ensemble des canaux disponibles pour cette base. Donc les groupes de canaux sont indépendants. Le nombre total (T) de canaux de communications est premièrement divisé en N ensembles, où N est relié à l'équation suivante:

$$N = \frac{1}{3} \gamma^2 \text{ (pour les cellules hexagonales)}$$

où N peut prendre seulement les valeurs entiers 3, 4, 7, 9, ... etc. N est généralement représenté par la série $(i+j)^2 - i \cdot j$;

i et j sont des nombres entiers. Chaque cellule du système obtient un des N ensembles, en observant la distance de réutilisation. Figure 3.2 est un exemple où la distance $D = 5R$. La lettre majuscule dans chaque cellule représente le canal nominal, et la description avec chaque lettre indique combien de fois ce canal a été réutilisé dans le système. Si on assume qu'aucun véhicule traverse la frontière d'une cellule, alors le trafic offert à un ensemble de canaux est le produit du taux d'appel, A , et la durée moyenne d'un appel, H .

Un véhicule qui traverse une frontière entre deux cellules produit les effets suivants:

1. La durée moyenne des appels est diminuée, car un mobile doit changer de canal prématurément.
2. Le taux d'appels augmente, car un appel qui entre dans une cellule reçoit la même considération qu'un nouvel appel.
3. Quelques appels doivent être terminés prématurément lorsqu'il n'y a pas de canaux disponibles dans la nouvelle cellule. Ceci réduit la durée des appels.

frontière des limites d'interférence
du groupe des cellules par rapport
à la cellule centrale

ensemble des canaux nominaux

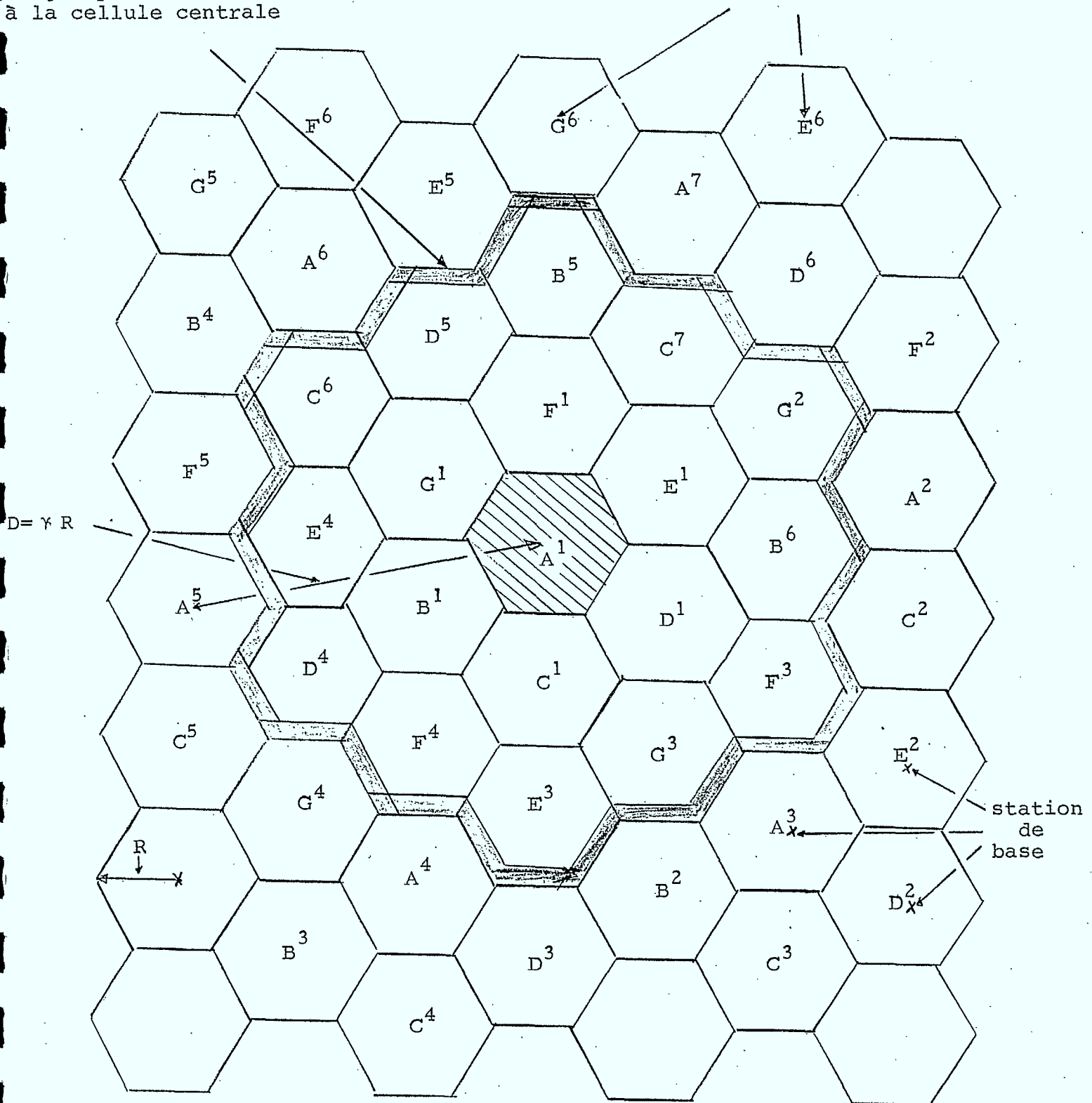


Fig. 3.2 Schema du canal fixe avec un ensemble des canaux attribués

Les points 1 et 2 n'affectent pas le trafic offert HxA. L'effet de trois (3) peut être minimisé en donnant priorité au mobile qui traverse une frontière, sur les nouveaux appels. Si les mobiles qui traversent une frontière n'ont pas priorité, le pourcentage de ces appels bloqués à cause du manque de canaux est égal au pourcentage de nouveaux appels bloqués.

Dans la plupart des cas, le trafic offert par cellule ne sera pas uniforme pour toute l'aire, mais sera plus grand dans le centre des villes. Si T , le nombre total de canaux disponibles pour le système de communication mobile, est assez grand de façon à offrir le service nécessaire dans toute l'aire, alors le nombre de canaux nécessaires dans les banlieux serait plus petit que T/N , ou N est le nombre de sous-ensembles de canaux nécessaires pour couvrir toute la surface sans interférence (rapport D/R suffisant). Par contre, dans le centre des villes, le nombre de canaux nécessaire serait plus grand que T/N , donc quelques canaux ne servant pas en banlieu pourraient être déposés dans les cellules où le trafic est plus grand.

3.3 Système dynamique

La forme la plus générale du système dynamique assume que les canaux peuvent être utilisés dans n'importe quelles

cellules. Les canaux sont assignés de façon à fournir le meilleur rendement en tenant compte des lois d'interférence. La recherche d'un canal à être assignée dans une cellule à un temps donné, doit être faite dans tout l'ensemble des canaux. Une cellule peut utiliser n'importe quels canaux qui permettent un rapport D/R suffisant. Si aucun canal n'est trouvé qui remplisse ces conditions, le service ne peut être donné au mobile.

La recherche d'un canal peut être faite de façon ordonnée ou tout à fait au hasard. Si plus d'un canal est disponible, la sélection doit être faite de façon à maximiser l'efficacité du système. Les stratégies employées pour maximiser l'efficacité sont basées sur la distance entre les cellules utilisant le même canal, le nombre de fois qu'un canal est utilisé à l'intervalle D/R minimum et sur la méthode de recherche des canaux.

Le contrôle d'un système dynamique nécessite l'emploi d'ordinateur à haute capacité. L'état de chaque canal doit être emmagasiné de façon qu'il puisse être changé rapidement. Le contrôleur de la base doit identifier la fin d'une conversation, les nouveaux appels et les mobiles qui traversent les frontières de façon à pouvoir prendre des actions rapides.

L'identité des véhicules doit être connue pour déterminer l'état du mobile (en conversation ou non), et pour les questions financières. L'équipement utilisé doit être capable de fonctionner pour plusieurs différentes fréquences. Ceci augmente en général le prix de cet équipement. Dans un système dynamique, plus de canaux sont utilisés lors d'un trafic faible que pour le système fixe.

L'interaction entre les cellules et le nombre considérable de possibilités d'attribution des canaux rendent le système dynamique très difficile à étudier. Présentement, la seule façon d'étudier ce système avec assez de précision, est en utilisant la simulation par ordinateur.

3.3.1 Stratégie utilisée dans l'attribution des canaux

En cherchant pour un canal dans l'ensemble des canaux dynamiques, il y a en général plus d'un canal qui satisferait la distance minimum de réutilisation. Une décision doit être prise sur le choix du canal. Les stratégies suivantes pour l'attribution de canaux ont été beaucoup étudiées [6, 7, 8].

a) Le premier disponible

Le premier canal trouvé dans l'ensemble, qui satisfait les règles de l'interférence, c'est-à-dire, un canal qui n'est pas utilisé dans aucune cellule appartenant au groupe d'interférence, est choisi pour répondre à l'appel.

b) Plus près voisin (NN, 'nearest neighbour')

Cette stratégie choisit le canal qui est utilisé dans la cellule la plus près, mais qui est quand même à une distance D (où $R_{\gamma} = D$). Cette stratégie minimise la distance L entre la première cellule qui utilise le canal et la cellule dans laquelle le canal sera attribué. Si, il y a plus d'un canal disponible, le premier obtenu sera utilisé.

c) Plus près voisin + k (NN+k)

Cette stratégie est semblable à la NN sauf qu'elle minimise la distance $D < \gamma + k$ où $k = 1, 2, 3, \dots$. Cette stratégie tend à permettre à plus d'appels de conserver leur canal lors de la traversée d'une frontière. Si aucun canal n'est trouvé qui satisfait à ces exigences, le canal avec $D = \gamma$ est utilisé.

d) Usage maximum

Cette stratégie trouve un canal qui est utilisé le plus souvent à une distance $\gamma R(D)$ de la cellule nécessitant le canal. C'est-à-dire, un canal qui est présentement en usage dans le plus de cellules près du cercle d'interférence de la cellule en question, est choisi pour être attribué. S'il y a plus d'un canal de disponible, le premier obtenu sera attribué.

e) MSQ ('mean square')

Dans cette stratégie l'expression:

$$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n D_j^2 \quad \gamma \leq D_j \leq 2\gamma$$

est minimisée. D_j est la distance entre la cellule demandant un canal et la cellule utilisant le même canal dans l'intervalle $[\gamma, 2\gamma]$, qui est choisie parce que le canal utilisé à une distance de plus de 2γ de la cellule demandant le canal permettrait la réutilisation de ce canal pour servir un autre appel dans cette distance. Si $n=0$, pour un canal en particulier, il n'est donc pas utilisé dans aucune cellule dans l'intervalle; le premier canal répondant à ces exigences est utilisé.

Il a été découvert que la stratégie NN donne la meilleure performance. La performance du Premier disponible,

par contre, ne dévie pas trop des autres stratégies, mais est la plus simple et plus économique à implanter. Aussi elle nécessite moins de transformation des données impliquées dans l'attribution des canaux. Nous choisissons la stratégie du Premier disponible dans le système hybride étudié.

3.4 Système hybride

3.4.1 Concept général

Les systèmes cellulaires de communication mobile utilisant le système fixe et le système dynamique d'attribution des canaux ont été beaucoup étudiés. La différence entre la performance de ces deux systèmes d'attribution des canaux, éclaire le concept du système hybride, lequel utilise un mélange du système fixe et du système dynamique [18].

Dans le système hybride, concerné dans ce travail, le nombre total (T), (comme on a déjà mentionné), de canaux de communication est premièrement divisé en N ensembles, où N est relié à l'équation suivante:

$$N = \frac{1}{3} (D/R)^2 = \frac{1}{3} \gamma^2 \quad 3.1$$

(pour les cellules hexagonales). Chaque cellule du système obtient un des N ensembles, en observant la distance de réutilisation. Si la distribution du trafic offert est uniforme, le nombre moyen de canaux par cellule sera donné par:

$$M = \frac{T}{N} \quad 3.2$$

Mais le nombre de canaux par cellule peut être distribué inégalement de façon à répondre au trafic offert, si celui-ci n'est pas constant pour toutes les cellules.

Après la première division des canaux, chacun des N ensembles est divisé en un nombre de canaux fixes (f) et un nombre de canaux dynamiques (d), tel que

$$f + d = M \quad 3.3$$

Tous les canaux fixes demeurent dans leurs cellules respectives, tandis que les canaux dynamiques sont retournés au système de façon à servir lors d'attribution utilisant le système dynamique. Il y a donc N.d canaux dynamiques qui peuvent être empruntés temporairement pour servir un client dans n'importe quelle cellule, à condition que la séparation soit suffisante, de façon à limiter l'interférence.

La division des ensembles de canaux procure un nombre moyen de canaux par cellule, donné par [18]:

$$M = f + \frac{Ndj}{Z}$$

où Z est le nombre de cellules dans le groupe d'interférence et j est le nombre de fois qu'un canal dynamique peut être réutilisé à l'intérieur du groupe d'interférence. En général, le nombre d'ensembles de canaux nécessaires est plus petit que le nombre de cellules dans le groupe d'interférence (i.e. $N < Z$). Donc le nombre moyen de canaux par cellule après la division (entre fixe et dynamique), est généralement plus petit que celui obtenu avant la division. En d'autres mots, avec le système hybride, chaque cellule utilise, en moyenne, moins de canaux qu'avec le système fixe.

Les appels provenant d'une cellule particulière donneront préférence aux canaux fixes. S'il y a de canaux disponibles au moment de la requête. Si non, la cellule empruntera les canaux dynamiques éligibles des facilités communes du système afin d'asservir les appels. Si aucun des canaux fixes nominaux ou aucun canaux dynamiques ne sont disponibles au moment où l'appel est initié dans la cellule, l'appel sera traité en concordance avec la discipline de service préconçue pour cette situation.

Puisque les appels sont faits au hasard, les canaux dynamiques vont être attribués pour répondre aux appels de façon aléatoire. La conséquence de ceci est démontrée dans les appels utilisant le même canal; en général, ces appels proviennent de cellules séparées par une distance plus grande que l'intervalle minimum γ . Donc, les canaux ne sont pas toujours utilisés le maximum de fois possible [9, 12]. Par contre, les canaux fixes sont attribués à des cellules observant la distance de réutilisation. Pour maximiser l'occupation des canaux, les appels utilisant les canaux dynamiques devraient être transférés, le plutôt possible, sur un canal fixe.

Pour tenir compte de ceci, une technique de réattribution de canaux est incorporée dans le système hybride, de façon à utiliser les canaux au maximum.

TABLEAU 3.3

Performance des systèmes hybridés avec
la discipliné de service ERLANG-B

Augmentation de trafic au-dessus de la charge* de base	La division de canaux procurant la plus petite probabilité de blocage
0-15%	avec plus de canaux dynamiques
15-35%	avec un nombre moyen des canaux dynamiques
35-50%	avec moins de canaux dynamiques
au-dessus de 50%	seulement des canaux fixes

* La charge de base est le trafic offert en Erlang qui donne une qualité de service de 0.02.

IV. DESCRIPTION DU SYSTEME SIMULE

4.1 Développement du modèle de simulation

Dans le développement du modèle, on a considéré un système cellulaire dans lequel:

- a) de manière à étudier la performance de la division entre les canaux dynamiques et les canaux fixes, un nombre infini de cellules devrait être utilisé. La raison pour utiliser un nombre infini de cellules est que pour un système de dimension finie, les cellules près des limites du système ont moins de voisins qui provoquent de l'interférence. A cause de cela, les appels provenant des cellules près des limites auraient une chance plus grande de se faire servir par un canal disponible que les appels provenant des cellules centrales. Ceci amènerait une augmentation de la probabilité que tous les canaux soient utilisés dans les cellules centrales. A cause de cet effet, on a décidé de rassembler les statistiques provenant des 20 cellules centrales, pour obtenir un système infini d'après le système fini de 40 cellules.

- b) Les appels sont faits d'après la loi de poisson avec un nombre d'appels moyen de λ appels/heure.
- c) La durée des appels est distribuée exponentiellement avec une moyenne de 120 sec. Donc le changement est égal à $\lambda_i \times \frac{120}{3600} = \frac{\lambda_i}{30}$ (Erlangs).
- d) Le premier canal disponible dans la recherche est réutilisé, s'il satisfait la condition où la distance $D = \gamma R$.
- e) Le trafic offert est uniformément distribué sur le système en entier.
- f) La stratégie du premier canal disponible qui a été prouvée économique, facile à implanter et permettant d'avoir une performance acceptable est adoptée.

Aussi nous considérons les hypothèses suivantes:

- 1) Tous les mobiles sont identifiables et peuvent communiquer sur n'importe quelle fréquence provenant des stations de bases.
- 2) Toutes les stations de bases peuvent transmettre sur n'importe quelle fréquence à tout moment comme stipulé par le contrôleur du système (mobile switching office).

- 3) Le niveau de puissance provenant des antennes des stations de bases est suffisant pour donner un rapport signal sur bruit adéquat, à la frontière de la cellule. Donc, la limitation de l'aire est due seulement à l'interférence entre les canaux.
- 4) Les appels qui sont attribués aux canaux éligibles restent en service pour la durée de l'appel, spécifiée par la distribution exponentielle.
- 5) Il n'y a pas de changement de cellule lorsqu'un appel est en cours.

Avec une distance minimum de réutilisation de 3 fois le rayon d'une cellule, le nombre (N) d'ensembles de canaux nécessaires, donnés par l'équation $N = \frac{1}{3} (D/R)^2 = \frac{1}{3} \gamma^2$, est égal à trois, tandis que le nombre (Z) de cellules dans un groupe d'interférence est égal à sept, et le nombre moyen (m) de canaux par cellule, après la division, est donné par:

$$f + \frac{3d}{7} .j$$

Les données nécessaires pour partir la simulation sont les taux d'arrivée moyen des appels λ et le rapport des divisions des canaux $f:d$.

Le système simulé est exposé dans la figure 4.1. Un système de quarante cellules a été choisi, à cause de la limitation due au langage GPSS/360 [15, 16].

4.2 Diagramme de simulation

Le modèle de simulation peut être expliqué le plus facilement en utilisant le diagramme représenté dans la figure 4.2

Un appel quelconque (disons l'appel X), de la cellule i en entrant dans le système, suivra un des chemins indiqués dans le diagramme, dépendant des résultats des tests sur les activités des canaux fixes et dynamiques de la cellule i. Si l'appel X passe le test de disponibilité des canaux fixes de la cellule i, il prendra le premier canal fixe disponible dans cette cellule et sera servi par le canal. Si tous les canaux fixes de la cellule i sont occupés, l'appel X sera acheminé vers le deuxième test, déterminant si un canal dynamique peut être emprunté pour servir l'appel à cet instant. En passant ce test, l'appel X sera dirigé vers le premier canal dynamique disponible satisfaisant les règles de l'interférence et recevra le service de ce canal. Si l'appel X ne trouve pas de canal (ni fixe, ni dynamique) à l'instant d'entrée dans le système, cet appel repart immédiatement.

Ensembles des canaux nominaux

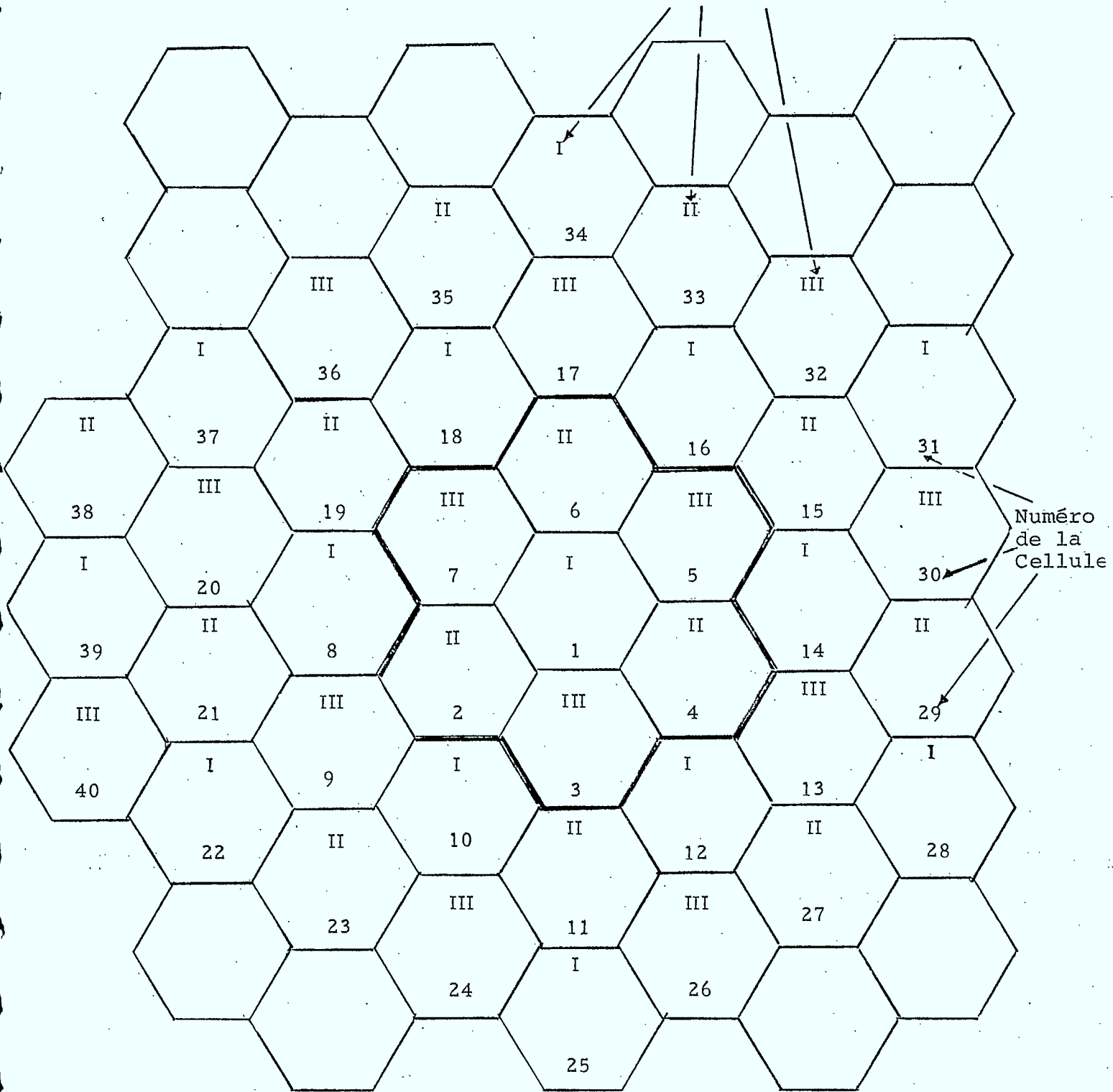
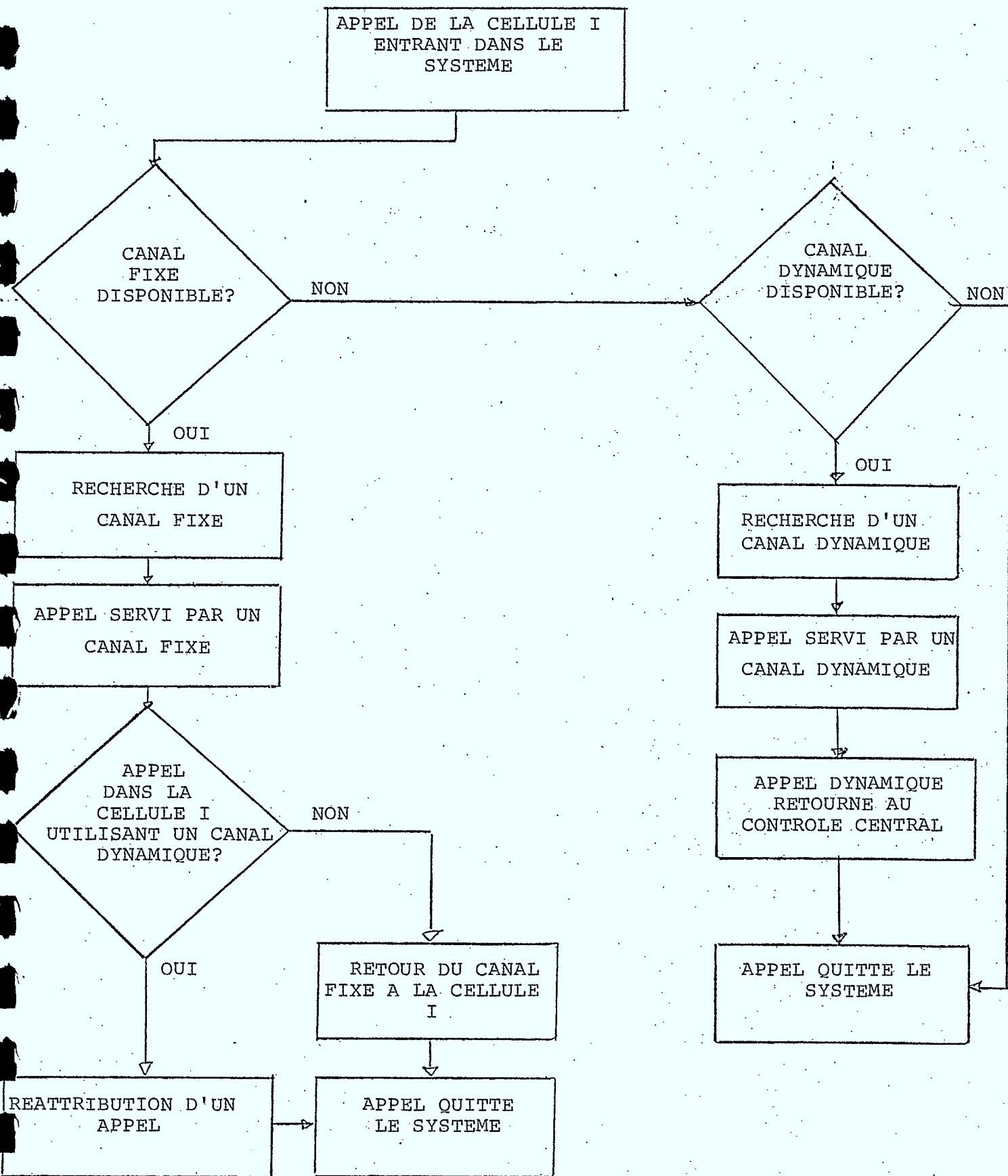


Fig. 4.1. Le système radio mobile structuré en cellules qui a été simulé

Après l'achèvement du service par un canal fixe, l'appel X libère le canal. Mais avant de retourner le canal à la cellule i, l'appel X vérifie si d'autres appels dans la même cellule sont présentement servis par un canal dynamique. Si un appel est servi par un canal dynamique, la réattribution des canaux est instituée. Dans le processus de réattribution des canaux, le premier appel entré dans le système reçoit le canal fixe, libérant ainsi le canal dynamique qui était précédemment occupé. Cet appel sera maintenant servi par ce canal fixe pour le reste de la durée de l'appel. L'appel X, après complétion de la mission de réattribution des canaux, laisse le système. Le canal dynamique, retournera au contrôle central du système pour être réattribué.

Fig. 4.2 - DIAGRAMME D'OPERATION POUR L'ATTRIBUTION HYBRIDE DES CANAUX AVEC UN SERVICE ERLANG-B



V. RESULTATS DE SIMULATION GPSS

5.1 Configuration du système simulé

Le système cellulaire exposé dans la figure 4.1 a été simulé. La simulation a été réalisée sur l'I.B.M. 360/65 et a été partie sans aucun appel dans le système. Les statistiques furent récoltées après chaque simulation.

Le tableau 5.1 présente les configurations des systèmes étudiés.

5.2 Performance

5.2.1 Système qui supporte le trafic maximum par cellule

Dans les figures 5.1 à 5.7, l'axe des y représente le pourcentage moyen pour la probabilité que tous les canaux soient occupés (probabilité de blocage). Le pourcentage est calculé d'après les statistiques d'une cellule, simplement en prenant le rapport du nombre d'appels qui ne sont pas servis sur le nombre total d'appels institués dans cette cellule pour un temps donné. Comme mentionné auparavant, ces rapport sont pris seulement des 20 cellules centrales et la moyenne est ensuite prise pour obtenir le pourcentage moyen d'appels qui doivent sortir du système sans service. Aussi dans ces figures, l'axe

TABLEAU 5.1

Configuration des systèmes étudiés

Nombre moyen de canaux par cellule avec trafic uniforme et système fixe	Division des canaux fixe: dynamique	Trafic offert en Erlang, utilisé dans le système
10	10:0 8:2 7:3 6:4 5:5 4:6	5*, 5.5, 6, 6.75, 7, 8, 9, 10
18	18:0 16:2 14:4 12:6 10:8	11, 11.25*, 12, 13, 14, 15, 16
21	21:0 17:4 15:6	13*, 14, 15, 16, 17, 18
25	25:0 22:3 20:5 18:7	17*, 18, 19, 20, 21, 21.5, 22
30	30:0 28:2 25:5 22:8 20:10 15:15	21.5*, 22, 23, 23.5, 24, 25, 26
35	35:0 33:2 31:4 28:7 25:10	26*, 27, 28, 29, 30, 31

* Charge de base

x représente le taux de trafic en Erlang. La qualité de service dans cette simulation est directement reliée à la probabilité que tous les canaux soient occupés. On a premièrement trouvé le trafic offert, en Erlang, requis pour donner la qualité de service demandé avec un nombre de canaux fixes par cellule. Ce trafic nécessaire est la charge de base, qui a été utilisée pour calculer le pourcentage d'augmentation du trafic offert. Par exemple, avec une durée d'appel moyenne de 120 sec, la charge de base, correspondant à une probabilité que tous les canaux soient occupés de 0.01838, est 5 Erlangs (i.e. $\lambda = 150$ appels/hr). Ayant déterminé la charge de base, le trafic est maintenant augmenté de 5 Erlangs à 10 Erlangs par étape de 1 Erlang. Pour le système comprenant initialement 18 canaux fixes, en moyenne, par cellule, le système fixe (i.e. division des canaux 18:0) a été simulé pour vérifier le fonctionnement du programme. Les résultats obtenus ont été tracés avec les valeurs théoriques obtenues de la formule Erlang-B, comme indiqué dans la figure 5.2. La faible erreur entre ces deux ensembles montre que le programme fonctionnait comme désiré.

Figure 5.1 montre que pour des augmentations de charge d'à peu près 24% au-dessus de la charge de base, le système 6:4 donne une probabilité un peu plus élevée que le système 5:5 que

tous les canaux soient occupés, mais, la division des canaux de 6:4 est plus efficace pour des augmentations entre 2% et 24% au-dessus de la charge de base. Par contre, après une augmentation dans le trafic de 30% et une probabilité de blocage de 2%, la division des canaux 7:3 est plus efficace pour des augmentations au-dessus de la charge de base. Encore une fois, la division 7:3 est la plus efficace avec 6.4 Erlangs et 0.02 probabilité de blocage.

De la figure 5.2, on trouve que pour des augmentations d'à peu près 10% au-dessus de la charge de base, la division des canaux de 14:4 donne la plus petite probabilité. En augmentant la charge de 8% au-dessus de la charge de base, le système 10:8 donne le meilleur résultat, avec une probabilité de blocage de 2% (i.e. 13 Erlangs). Pour une augmentation au-dessus de 30%, la division des canaux 16:2 est la meilleure. Encore une fois, pour une augmentation de plus de 60% de la charge de base, le système fixe surpasse tous les autres.

La performance des différentes divisions de canaux utilisés, avec en moyenne 21 canaux fixes par cellule est présentée dans la figure 5.3. Cette figure montre que pour une augmentation d'à peu près 22%, au-dessus de la charge de base,

le système 15:6 a le moins d'appels et donne la plus petite probabilité. Au-dessus de 22% et 0.02 probabilité de blocage, le système 17:4 donne le meilleur résultat (i.e. 16 Erlangs).

De la figure 5.4, on observe encore une fois qu'à de faible trafic d'à peu près 3% au-dessus de la charge de base, le système 22:3 ayant le plus de canaux fixes donne la plus petite probabilité que tous les canaux soient occupés. Par contre, le système ayant une division des canaux de 18 fixes et 7 dynamiques remporte sur les autres, quand l'augmentation de la charge est de 15% (i.e. 19.5 Erlangs) et 0.02 probabilité de blocage; la division 18:7 est la meilleure.

De la figure 5.5, on trouve que pour des augmentations au-dessus de la charge de base de 16% et 0.02 probabilité de blocage (i.e. 23 Erlangs), la division des canaux de 24:4 donne le meilleur résultat. Pour une augmentation entre 16% et 45%, la division 24:4 est la meilleure. Encore une fois, pour une augmentation de plus de 45% de la charge de base, le système fixe 28:0 surpasse tous les autres.

La performance des différentes divisions de canaux utilisés, avec en moyenne 30 canaux fixes par cellule est présentée dans la figure 5.6. Cette figure montre que pour une

augmentation d'à peu près 17% au-dessus de la charge de base, le système 22:8 est le meilleur, avec 0.02 maximum probabilité de blocage (i.e. 25 Erlangs).

De la figure 5.7, on observe que pour des augmentations d'à peu près 12% au-dessus de la charge de base, le système 25:10 ayant le plus de canaux dynamiques donne la plus petite probabilité que tous les canaux soient occupés. Par contre, le système ayant une division des canaux de 31 fixes et 4 dynamiques, remporte sur les autres, quand l'augmentation de la charge est au-dessus de 12%. Le système 31:4 est le meilleur avec 0.02 probabilité de blocage (i.e. 29 Erlangs).

Les résultats présentés ci-dessus montrent une tendance générale pour la performance des différentes configurations de système simulé en considérant la probabilité qu'un appel soit bloqué. C'est-à-dire un système qui a plus de 50% des canaux fixes utilisés d'une façon dynamique, démontre la plus petite probabilité pour des augmentations du trafic jusqu'à 10% de la charge de base. Pour une augmentation de trafic de 10% à 30% au-dessus de la charge de base, les systèmes utilisant à peu près 11% à 20% de leurs canaux fixes comme dynamiques, causent moins de blocage d'appels. Et les systèmes ayant moins de 10%

des canaux fixes utilisés de façon dynamique sont plus efficaces si le trafic offert augmente de 15% à 30% au-dessus de la charge de base. Après une augmentation de 35%, les systèmes fixes surpassent les systèmes hybrides et dynamiques.

Des figures 5.1 - 5.7 on obtient la figure 5.8 qui donne les meilleurs systèmes par rapport au trafic supporté par cellule, pour une qualité de service de 2%. De cette figure on voit qu'on ne peut pas obtenir des conclusions générales sur la répartition optimale de canaux entre fixes et dynamiques, mais seulement sur le meilleur système hybride pour un nombre de canaux par cellule donné.

5.2.2 No minimum de canaux nécessaires

Dans les figures 5.9 à 5.15, l'axe des Y représente la probabilité de blocage d'un appel qui tente la communication. Cette probabilité est calculée d'après les statistiques obtenues de la simulation, en calculant le rapport du nombre d'appels bloqués sur le nombre d'appels total. Comme mentionné auparavant, cette probabilité est calculée par les 20 cellules centrales seulement. L'axe des x représente le trafic total offert, en Erlang.

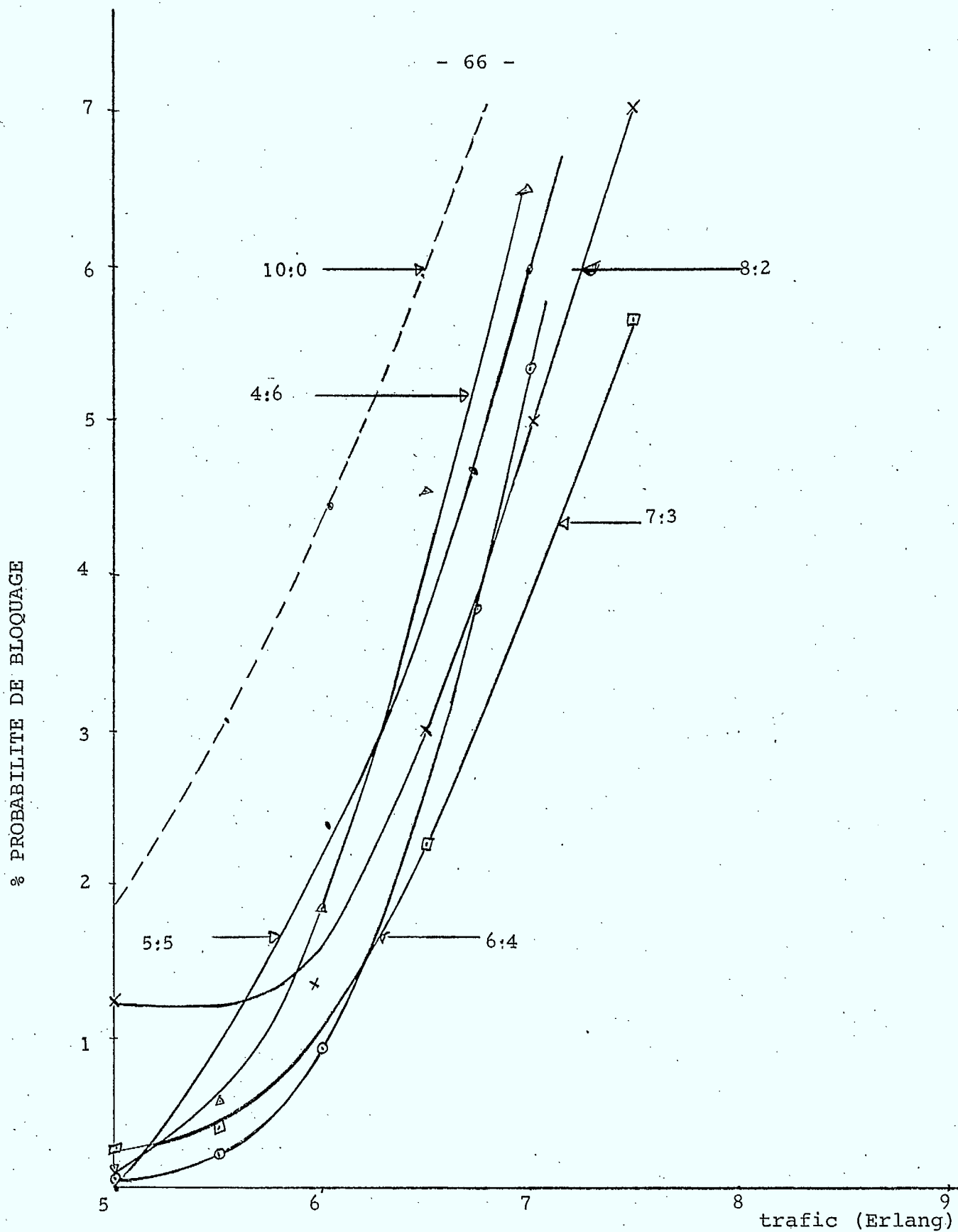


Fig. 5.1 Performance du système avec initialement 10 canaux par cellule

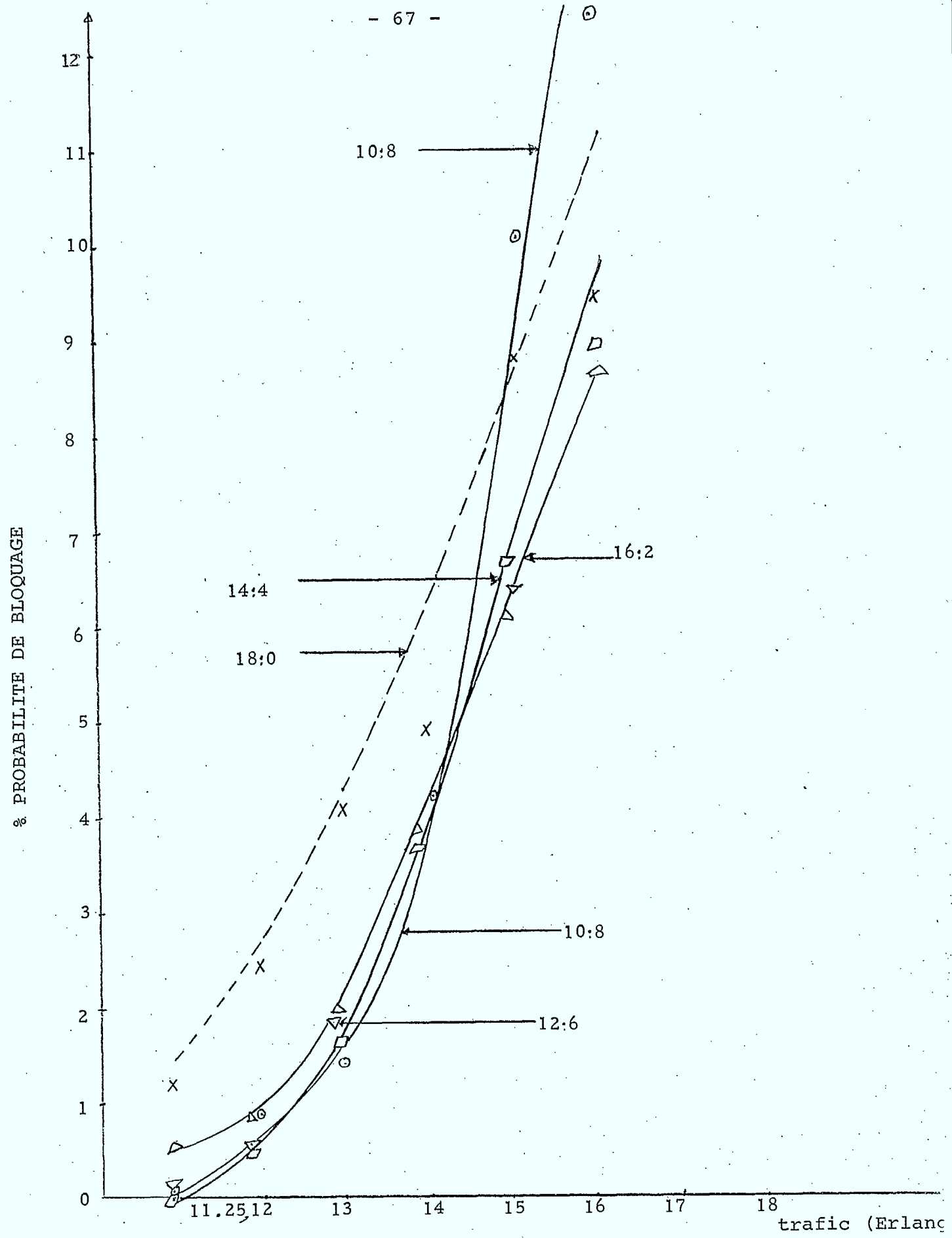


Fig. 5.2 Performance du système avec initialement 18 canaux par cellule

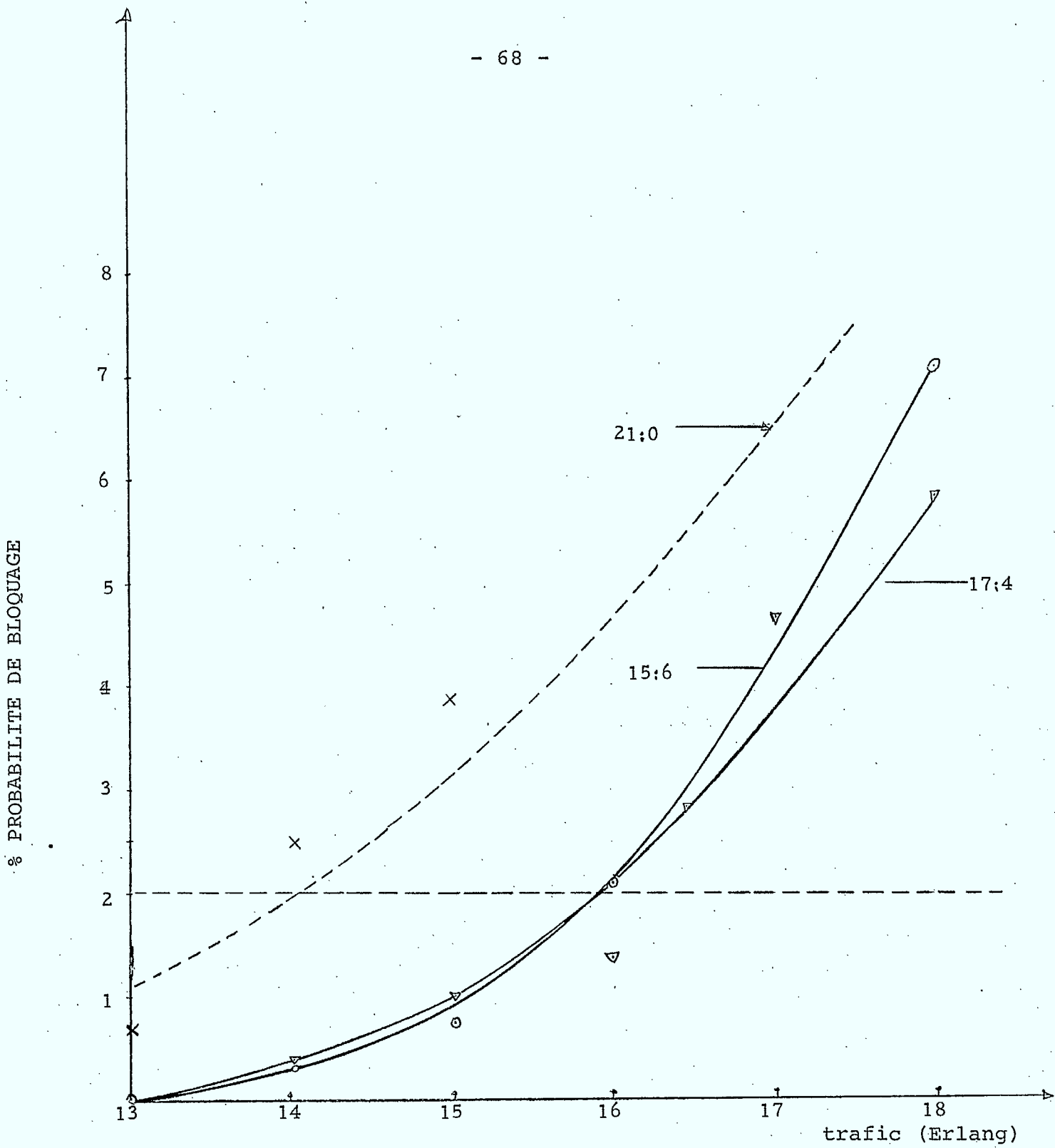


Fig. 5.3 Performance du système avec initialement 21 canaux fixes par cellule

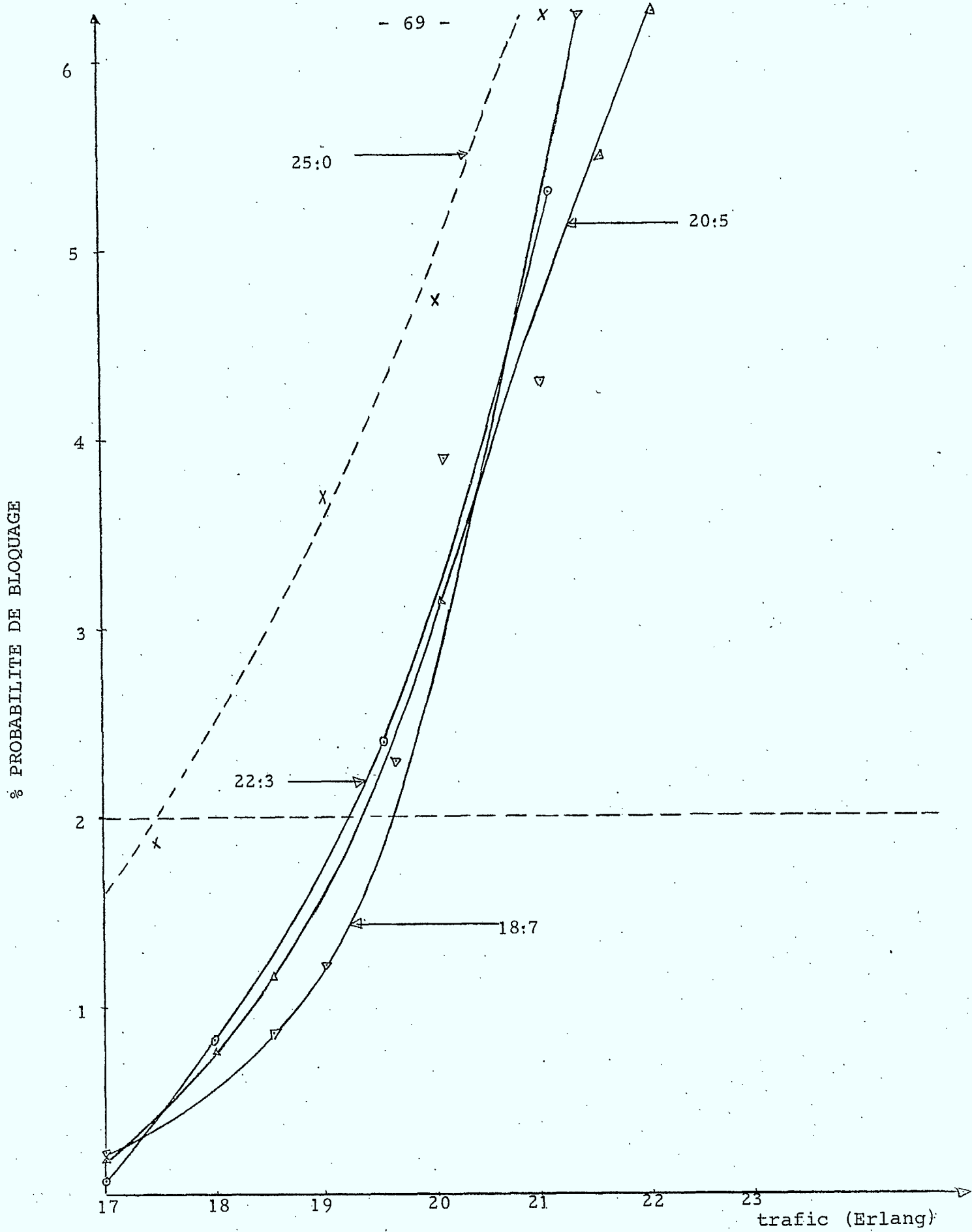


Fig. 5.4 Performance du système avec initialement 25 canaux fixes par cellule

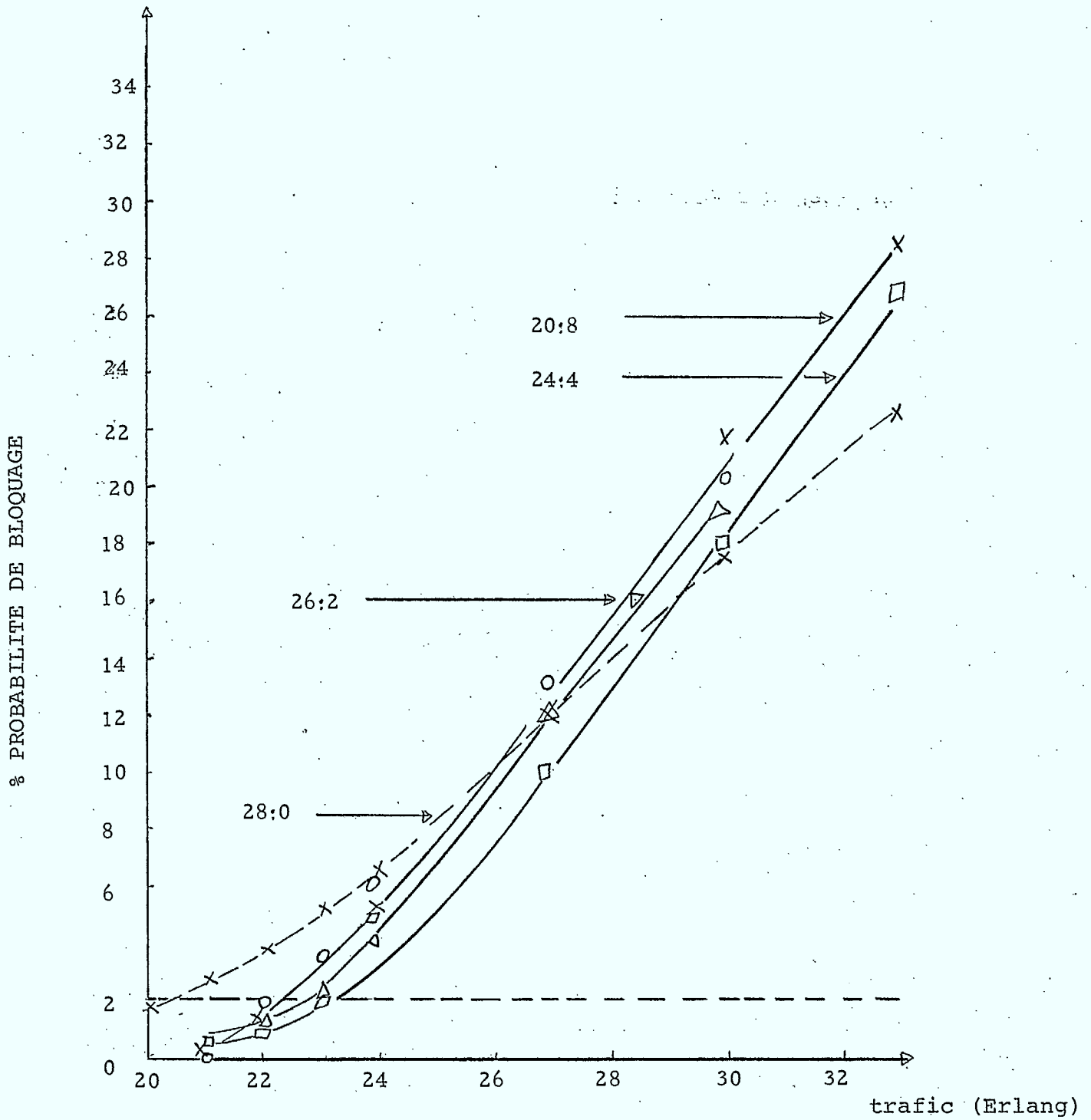


Fig. 5.5. Performance du système avec initialement 28 canaux fixes par cellule

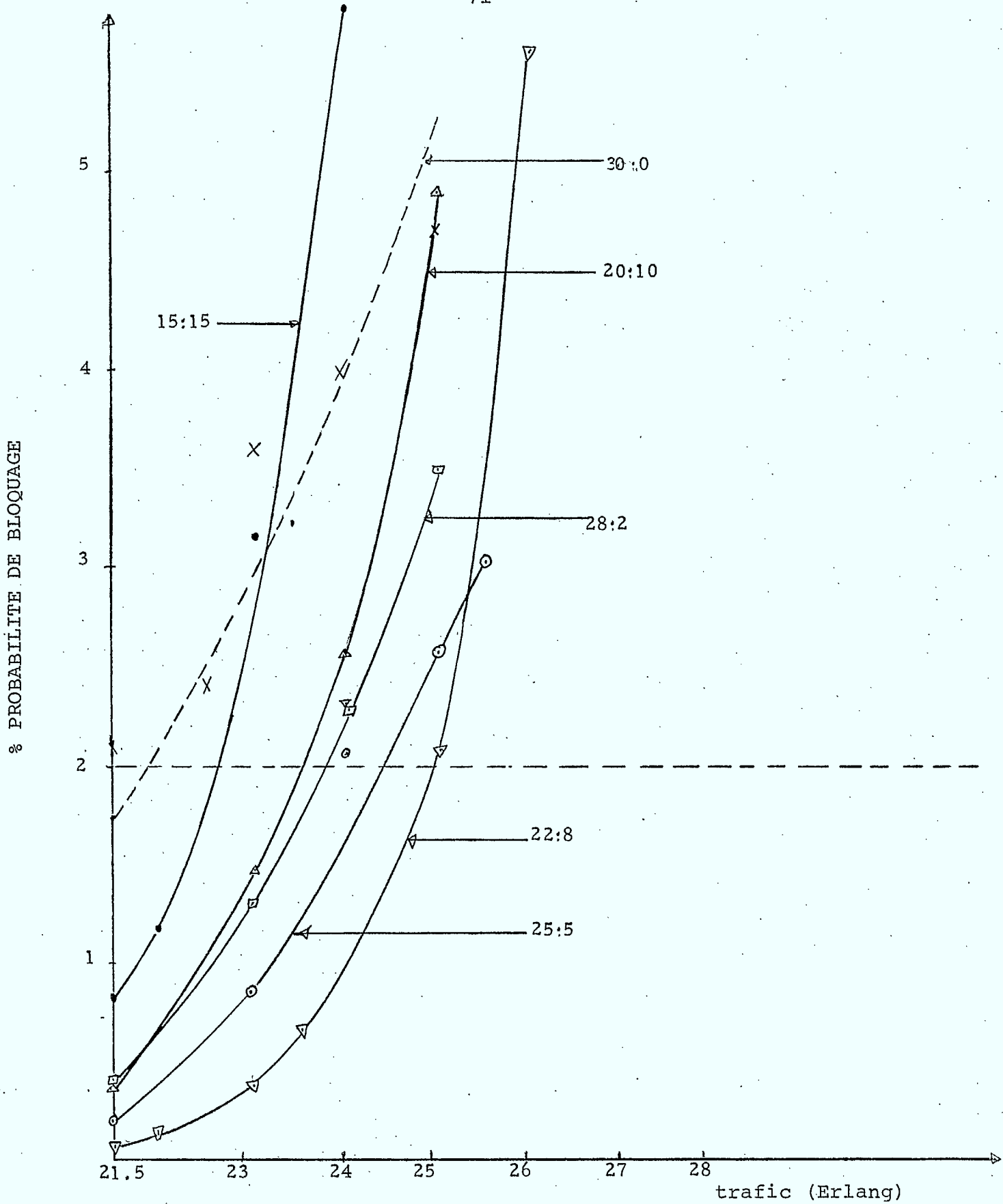


Fig. 5.6 Performance du système avec initialement 30 canaux fixes par cellule

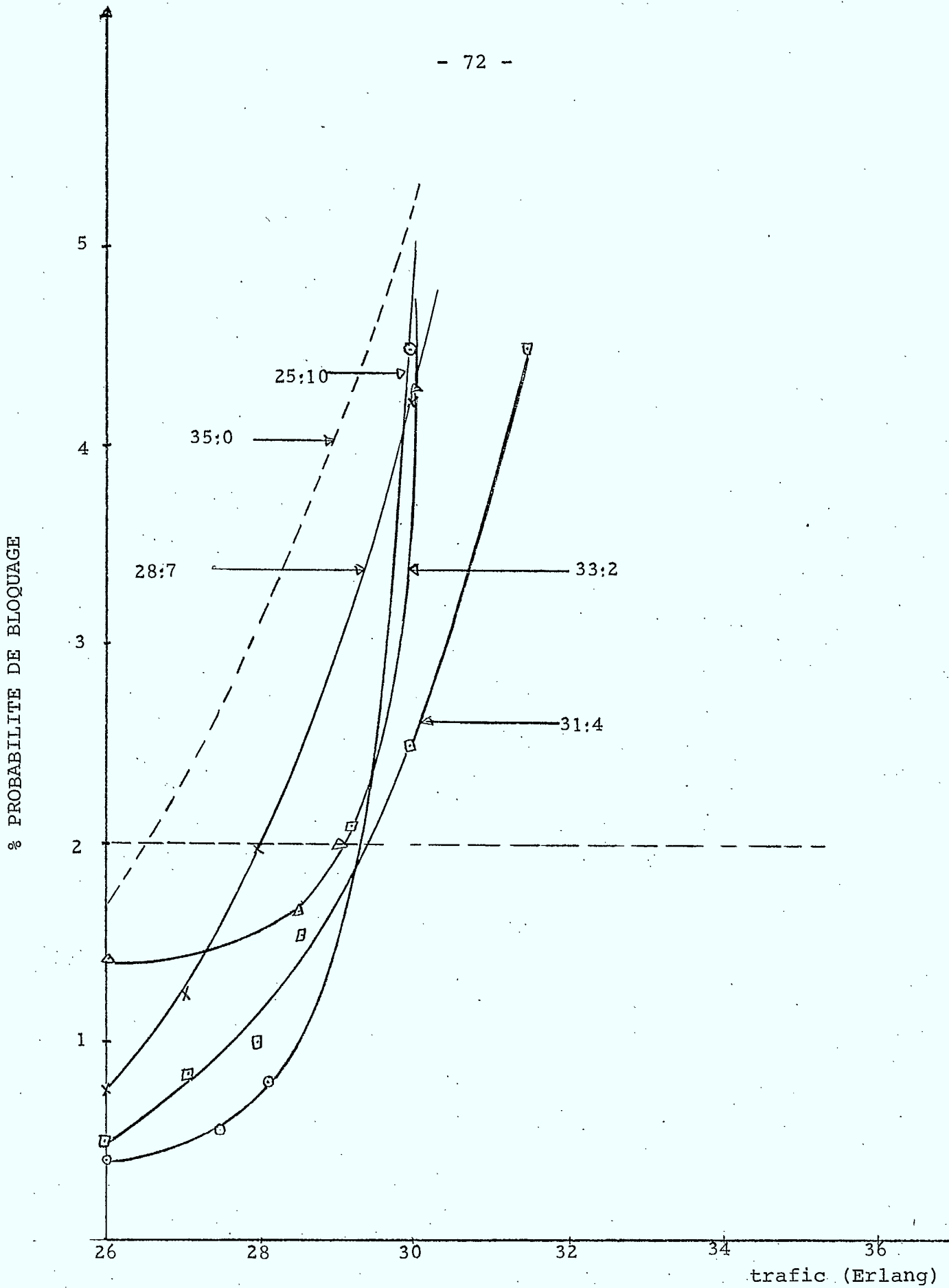


Fig. 5.7 Performance du système avec initialement 35 canaux fixes par cellule

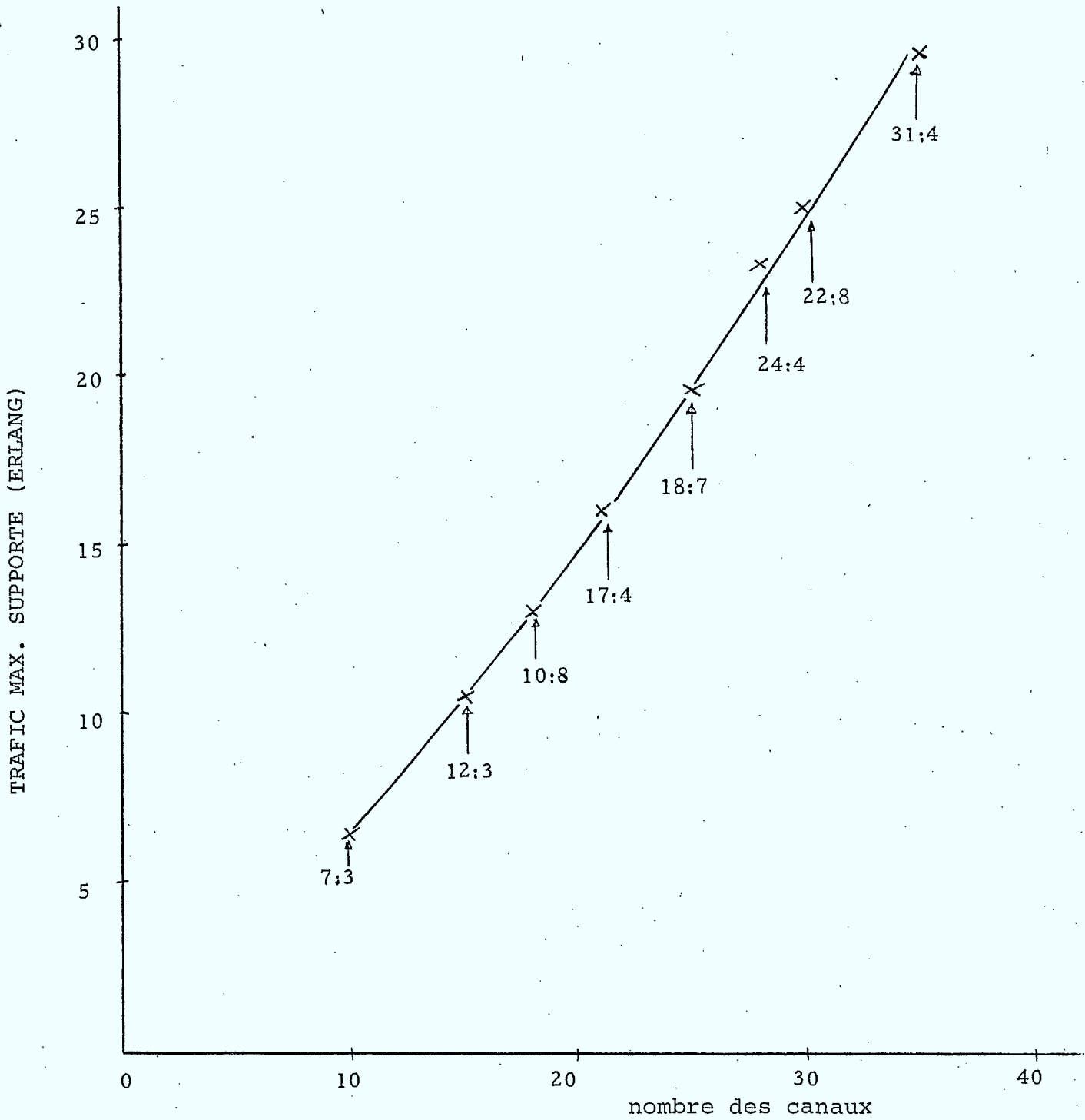


Fig. 5.8 Meilleurs systèmes hybrides obtenus avec maximum 0.02 probabilité de blocage

Chaque graphique représente une attribution donnée. Par exemple, les figures 5.9 à 5.14 représentent la probabilité de blocage en fonction du trafic en Erlang pour un système d'attribution fixe.

De ces graphiques, on obtient facilement la distribution (fixe: dynamique) qui donne la meilleure qualité de service avec le plus petit nombre de canaux; la qualité de service considérée est une probabilité de blocage de 2% au maximum. Ces résultats sont représentés à la figure 5.15; par exemple, pour un trafic de 16 Erlangs, on remarque que la distribution des canaux 17:4 est la configuration (fixe: dynamique) qui requiert le moins de canaux (21 en tout) pour une probabilité de blocage de 2% ou moins.

5.2.3 Efficacité spectrale, hybride vs. fixe

Les résultats obtenus des figures 5.1 à 5.14, ont été tracés comme indiqué dans la figure 5.15. La figure 5.15 représente une comparaison entre les systèmes hybrides optimaux et les systèmes fixes par rapport au nombre des fréquences requises. De cette figure on trouve quel système est le plus efficace pour le même taux des trafic offert par cellule.

Par exemple, pour un trafic de 5 Erlangs, le système hybride 6:4 offre un service comparable à cel du système fixe 15:0, ce qui est en soit un gain de 5 canaux; en d'autres termes, le système hybride augmente de 33% l'efficacité spectrale par rapport au système fixe.

Figure 5.16 représente le pourcentage de l'efficacité spectrale des systèmes hybrides par rapport aux systèmes fixes. De cette figure on conclu que 15% est la moyenne de l'efficacité spectrale des systèmes hybrides par rapport aux systèmes fixes. Cette efficacité spectrale est bien considérable pour la construction des systèmes cellulaires.

% Probabilité de blocage

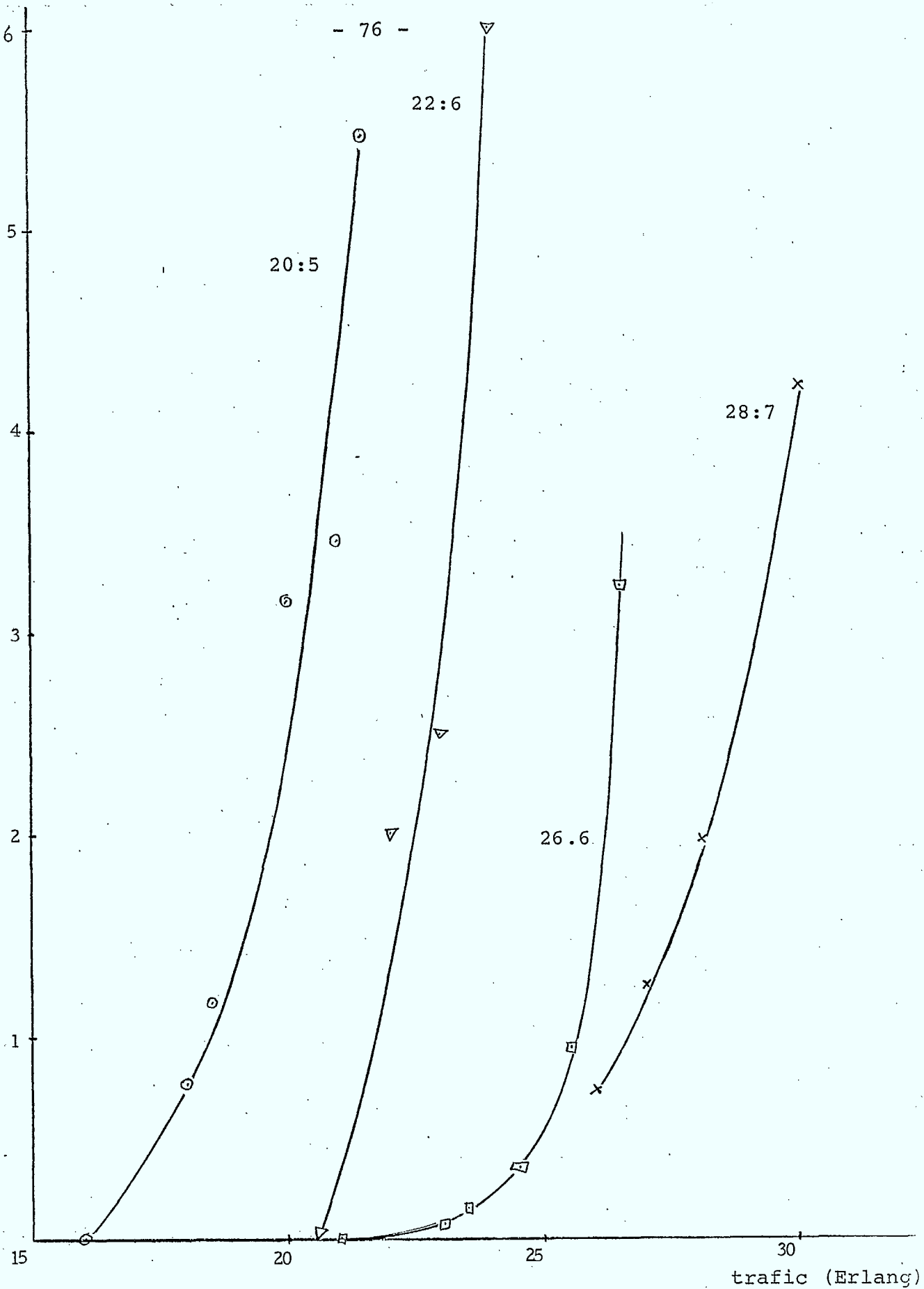


Fig. 5.9 Probabilité de blocage pour une attribution hybride (80% fixe et 20% dynamique) avec 25, 28, 32 et 35 canaux

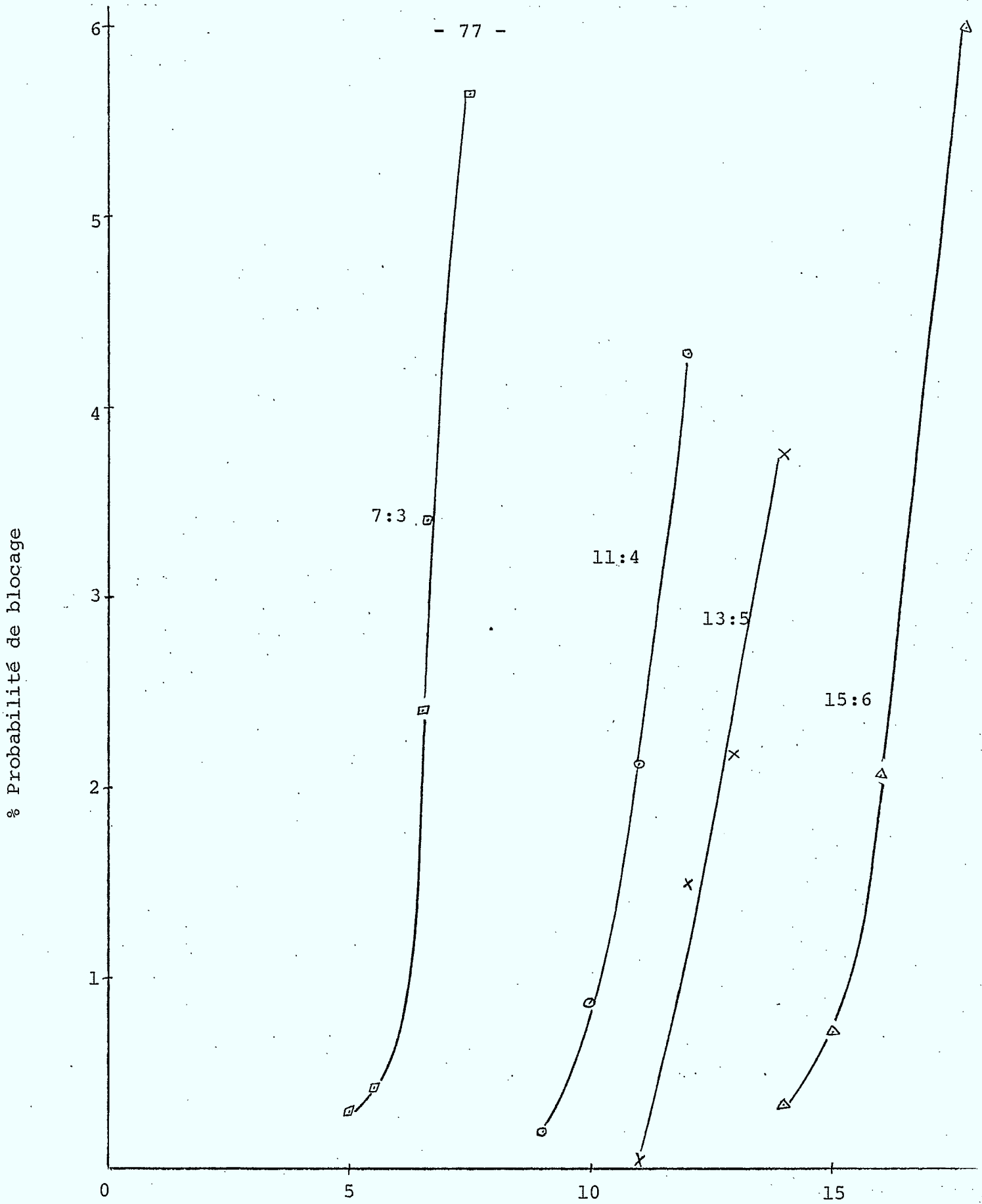


Fig. 5.10 Probabilité de blocage pour une attribution hybride (70% fixe et 30% dynamique) avec 10, 15, 18, 21 canaux

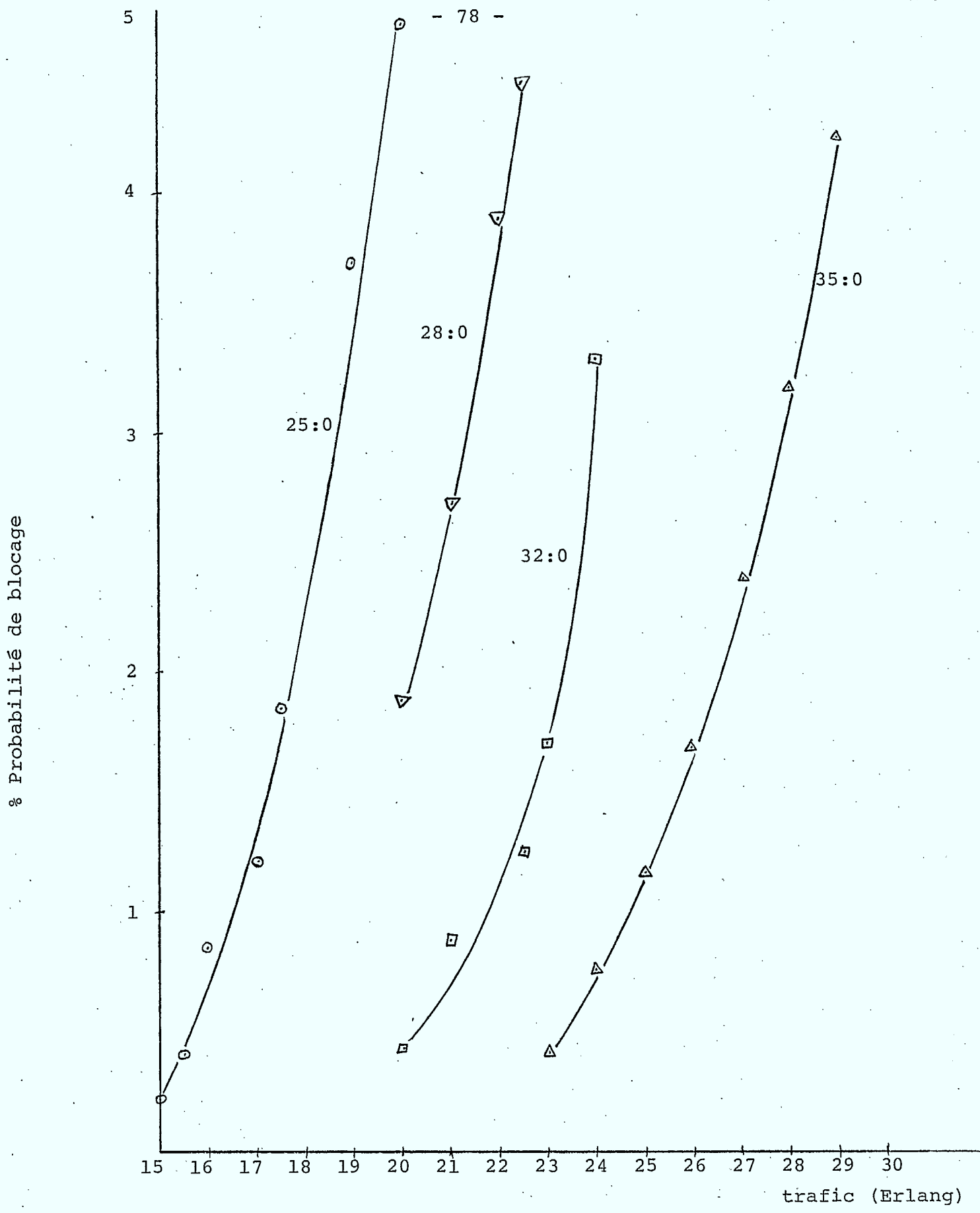


Fig. 5.11 Probabilité de blocage pour une attribution fixe avec 25, 28, 32 et 35 canaux

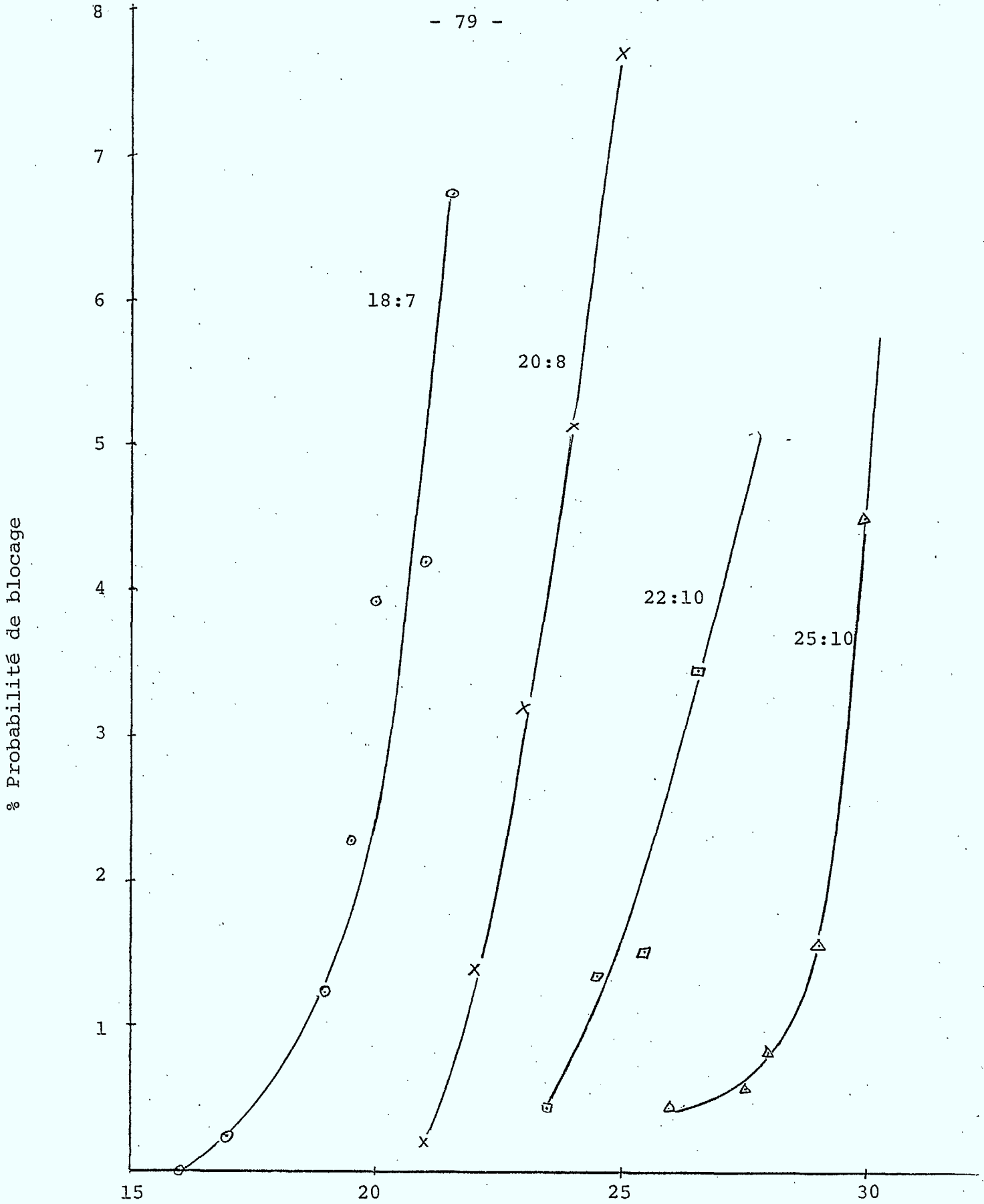


Fig. 5.12 Probabilité de blocage pour une attribution hybride (69% fixe et 31% dynamique) avec 25, 28, 32, 35 canaux

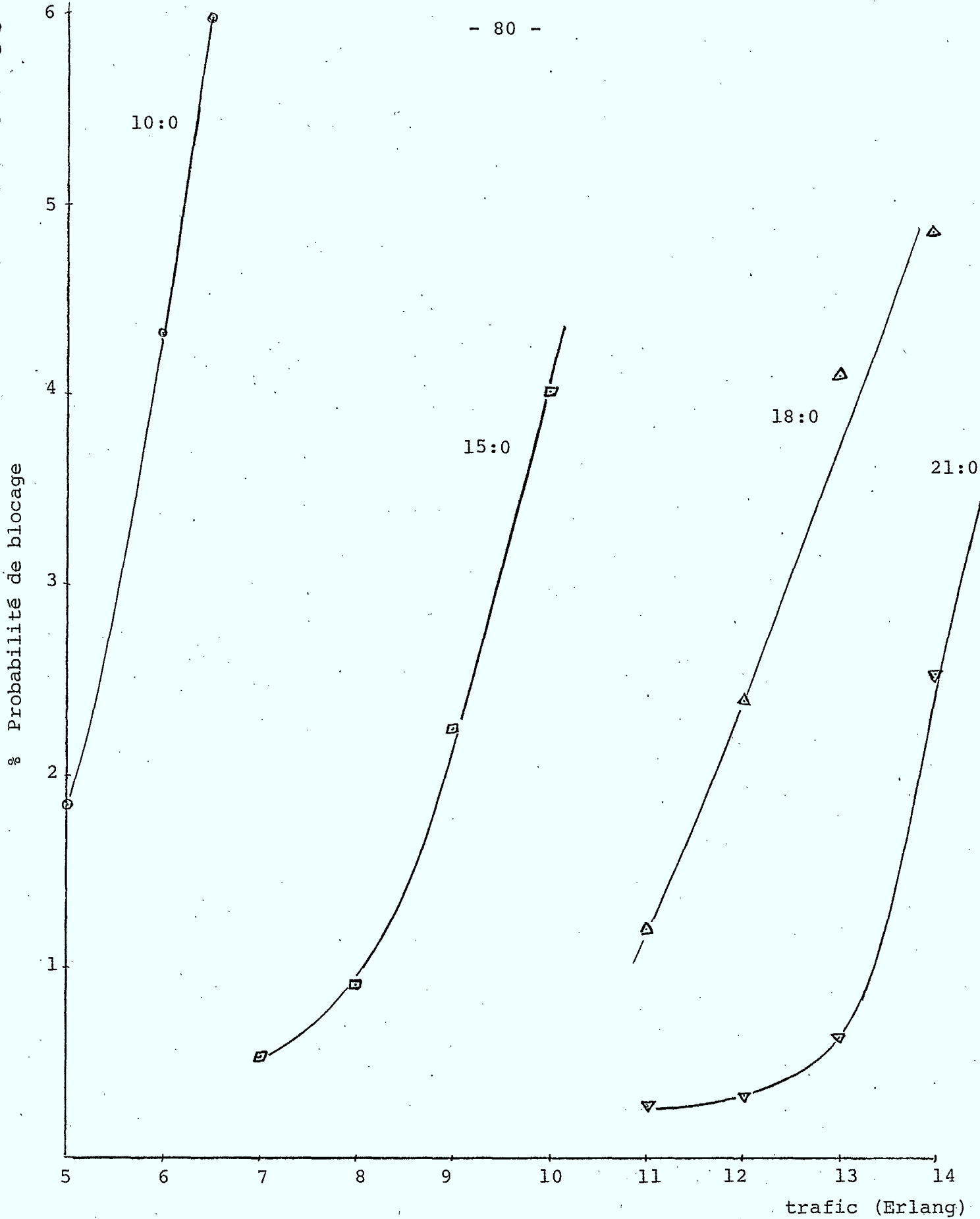


Fig. 5.13 Probabilité de blocage pour une attribution fixe avec 10, 15 18 et 21 canaux

% Probabilité de blocage

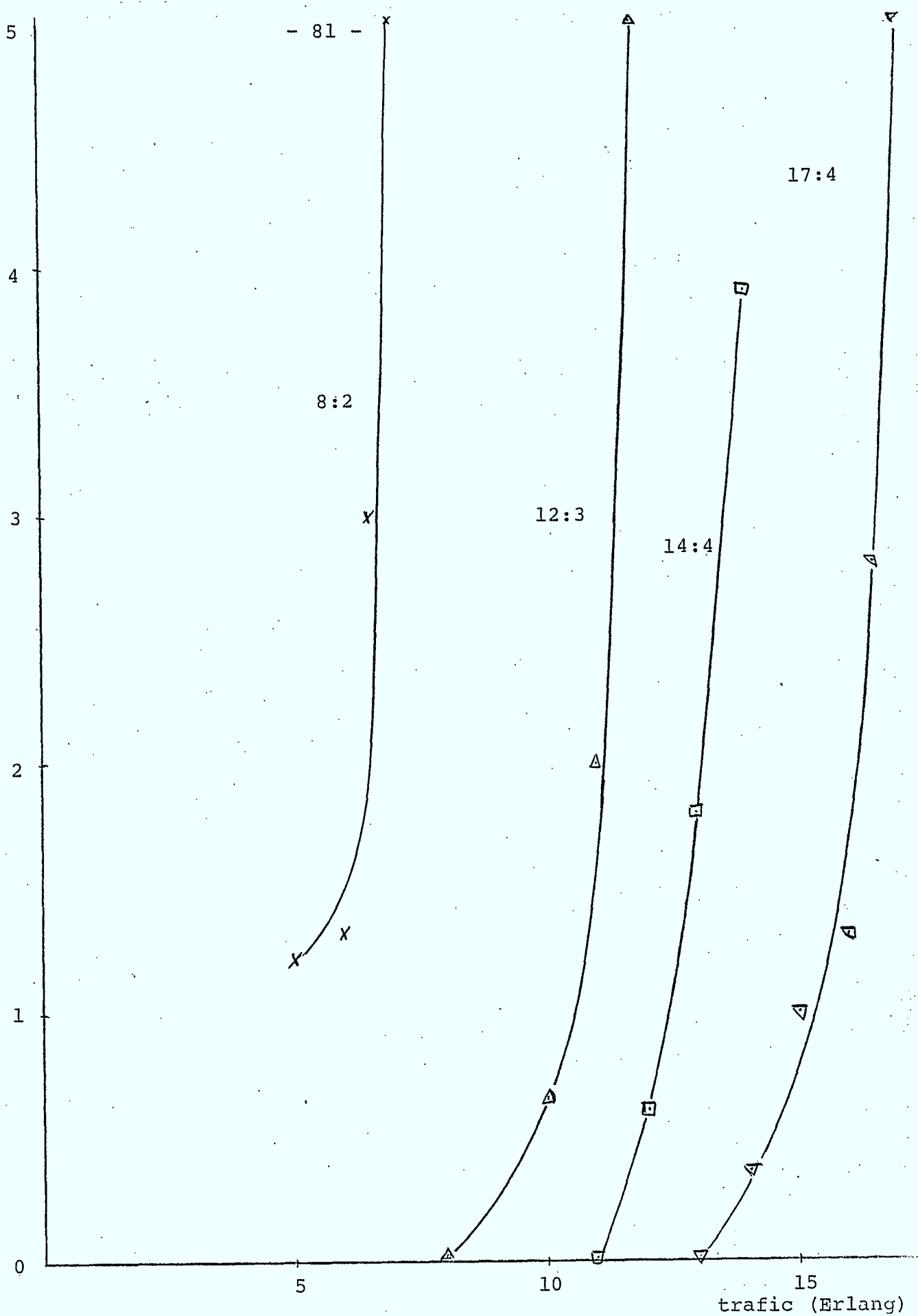


Fig. 5.14 Probabilité de blocage pour une attribution hybride (80% fixe, 20% dynamique) avec 10, 15, 18 et 21 canaux.

NOMBRE MINIMUM DE CANAUX

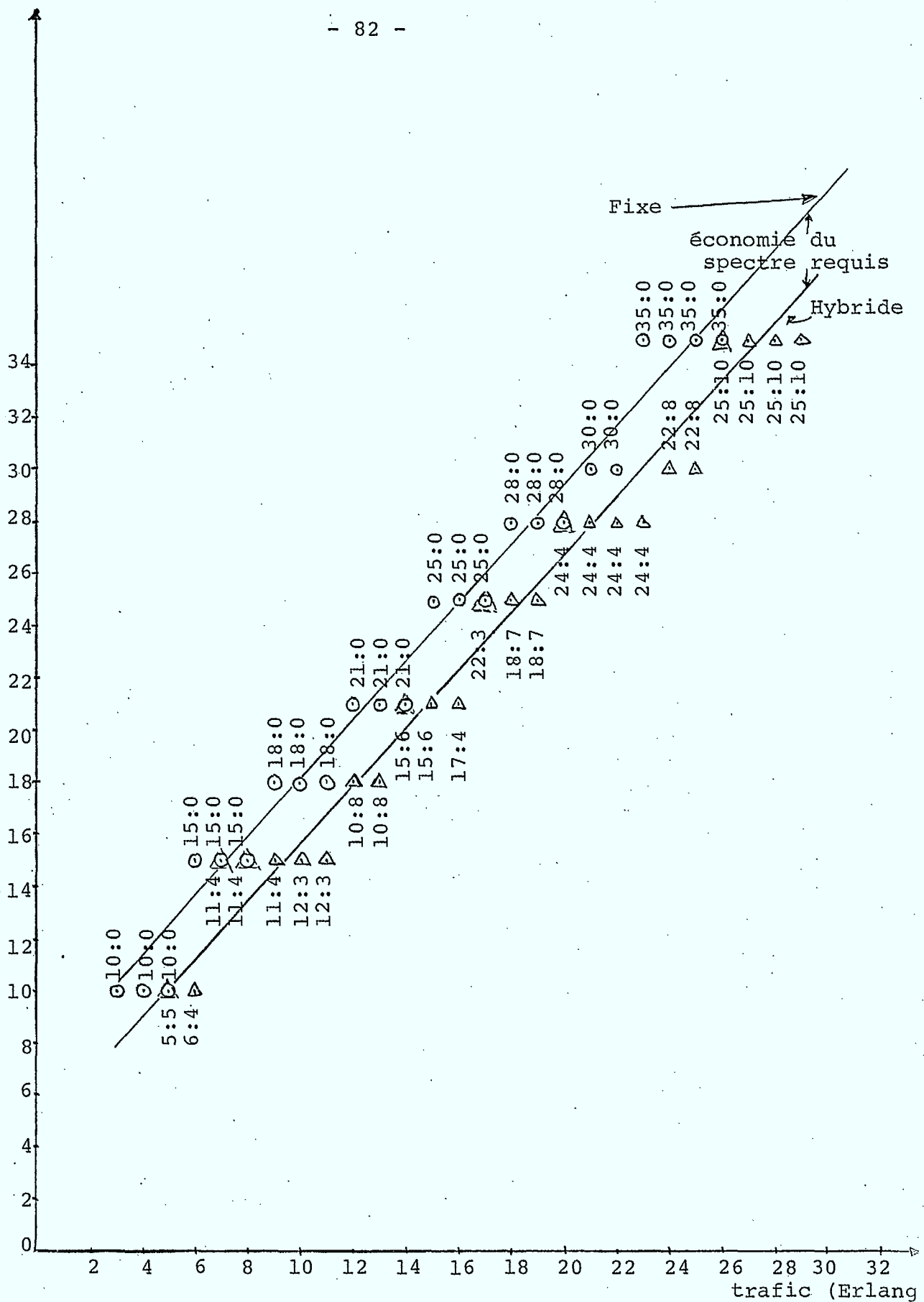


Fig. 5.15. Systèmes hybrides optimaux par rapport au nombre des fréquences requises, comparaison avec les systèmes fixes

% EFFICACITE SPECTRALE DE SYSTEMES HYBRIDES PAR RAPPORT
AUX SYSTEMES FIXES

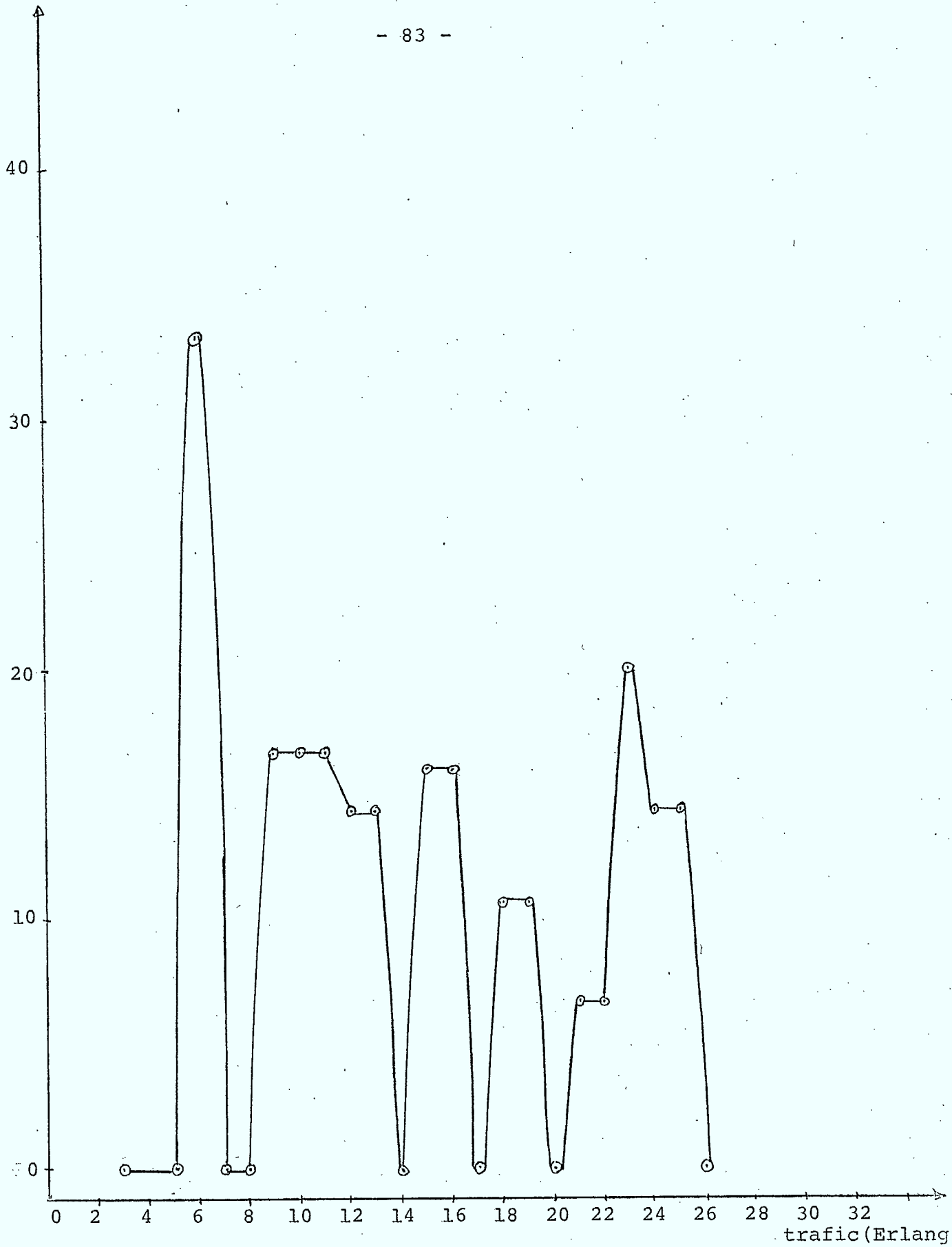


Fig. 5.16 Efficacité spectrale de systèmes hybrides par rapport aux systèmes fixes

VI. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS POUR ETUDES ULTERIEURES

Dans ce rapport nous avons considéré une méthode de gestion du spectre de fréquence pour la communication terre-mobile, notamment les systèmes cellulaires. Cette méthode permet la réutilisation des fréquences. Un système de 40 cellules avec une distribution de trafic uniforme, par rapport aux cellules, et la discipline de service Erlang-B ("appels-bloqués-éliminés") a été étudié par simulation GPSS. Nous avons considéré trois méthodes d'attribution des canaux dans les cellules: les schémas fixe, dynamique et hybride. Pour des taux différents de trafic offert par cellule, nous avons déterminés la probabilité de blocage pour chaque méthode d'attribution des canaux et pour des nombres différents de canaux disponibles pour cellule. De ces résultats, nous avons obtenus deux conclusions importantes, notamment quel système d'attribution peut supporter le plus grand trafic, pour une probabilité de blocage 2%, et quel système offre le nombre minimum de canaux nécessaires pour des taux de trafic différents et blocage 2%. Nous avons démontré aussi que les systèmes hybrides présente une économie spectrale d'à peu près 15% par rapport aux systèmes fixes. Ces résultats seront très utiles pour la réalisation pratique des systèmes cellulaires.

Plusieurs problèmes restent à être étudiés. Nous pouvons en mentionner quelques-uns ici:

1. Systèmes cellulaires nonuniformes par rapport au trafic offert par cellule. Ca c'est toujours le cas en pratique. Les avantages de l'attribution hybride seront plus apparents dans ce cas.
2. Systèmes cellulaires avec cellules de tailles différentes. Le système cellulaire fixe implementé pour AT&T à Chicago est de ce type. On a besoin des résultats de simulation pour les attributions dynamiques et hybrides.
3. Systèmes cellulaires avec canaux d'accès et canaux de contrôle. Chaque appel provenant d'un utilisateur mobile doit obtenir un canal d'accès pour faire sa demande d'allocation de fréquence. Quel est le nombre minimum de canaux d'accès, pour obtenir une qualité de service donnée? Quel est le nombre optimum de canaux de contrôle?
4. Systèmes cellulaires interconnectés par satellite à plusieurs rayons. Ce type des systèmes de communications mobiles devient très important et on a besoin des résultats de simulation.

5. Systèmes cellulaires avec deux types de service: dépêche et radiotéléphone. Jusqu'ici on a considéré seulement le cas de service radiotéléphonique, où la durée moyenne d'un appel est 120 sec. On ne peut pas utiliser les résultats obtenus pour le service de dépêche où la durée moyenne d'un appel est beaucoup plus courte. On a besoin d'autres résultats de simulation pour ce cas.

REFERENCES

1. Lewis G. Anderson, "A Simulation Study of Some Dynamic Channel Assignment Algorithms in a High Capacity Mobile Telecommunications Systems", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-22, No. 4, Nov. 73.
2. Kin'ichiro Araki, "Fundamental Problems of National-Wide Mobile Radio Telephone System", Rev. Elec. Commun. Lab., Vol. 16, pp. 357-373, May-June, 1968.
3. P.A. Bobiller, B.C. Kahan and A.R. Probst, Simulation with GPSS and GPSS V, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1976.
4. Frank Box, "A Heuristic Technique for Assigning Frequencies to Mobile Radio Nets", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-27, No. 2, May 78.
5. D.C. Cox and D.O. Reudink, "Dynamic Channel Assignment in High-Capacity Mobile Communications Systems", Bell System Tech. Journal, Vol. 51, No. 6, July-August, 71.
6. D.C. Cox and R.O. Reudink, "Dynamic Channel Assignment in Two-Dimensional Large-Scale Mobile Radio Systems", Bell System Tech. Journal, Vol. 51, No. 7, 72.
7. D.C. Cox and R.O. Reudink, "A Comparison of Some Channel Assignment Strategies in Large-Scale Mobile Communications Systems", IEEE Trans. Commun., Vol. COM-20, No. 2, April, 72.
8. D.C. Cox and D.O. Reudink, "Effects of Some Nonuniform Spatial Demand Profiles on Mobile Radio System Performance", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-21, No. 2, May, 72.
9. D.C. Cox and R.O. Reudink, "Increasing Channel Occupancy in Large-Scale Mobile Radio Systems: Dynamic Channel Reassignment", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-22, No. 4, Nov. 73.
10. Joel S. Engel, "The Effects of Cochannel Interference on the Parameters of a Small-Cell Mobile Telephone System", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-18, No. 3, Nov. 69.

11. Joel S. Engel and Martin M. Peritsky, "Statistically-Optimum Dynamic Server Assignment in Systems with Interfering Servers", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-22, No. 4, Nov. 73.
12. Robert W. Donaldson, "Analysis and Design of Mobile Radio Cellular Systems with Fixed Channel Assignments", Report for the Dept. of Communications, Ottawa, Canada, Jan. 78.
13. Zachary C. Fluhr, "Switching Plan for a Cellular Mobile Telephone System", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-22, No. 4, Nov. 73.
14. Richard H. Frenkiel, "A High-Capacity Radiotelephone System Model Using a Coordinated Small-Zone Approach", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-19, No. 2, May, 70.
15. IBM General Purpose Simulation System/360 Introductory User's Manual, GH20-0303-4, 5th Edition, IBM, White Plains, N.Y., 1969.
16. IBM General Purpose Simulation System/360 User's Manual, GH20-0326-4, 5th Edition, IBM, White Plains, N.Y., 1970.
17. William C. Jakes Jr., Microwave Mobile Communications, John Wiley & Sons, New York, 1974.
18. T.J. Kahwa and N.D. Georganas, "A Hybrid Channel Assignment Scheme in Large-Structured Mobile Communication Systems", IEEE Trans. Commun. Vol. COM-26, No. 4, April 78.
19. Bruce Lusignan, "Single-Sideband Transmission for Land-Mobile Radio", IEEE Spectrum, July 78.
20. James Martin, Systems Analysis for Data Transmission, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1972.
21. James Martin, Future Development in Telecommunications, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1971.
22. V. Prabhu and S.S. Rappaport, "Approximate Analysis for Dynamic Channel Assignment in Large Systems with Cellular Structure", IEEE Trans. Commun., Vol. COM-22, Oct. 1974.

23. Leonard Schiff, "Traffic Capacity of Three Types of Common-User Mobile Radio Communication Systems", IEEE Trans. Commun., Vol. COM-18, No. 1, Feb. 70.
24. Thomas J. Schriber, Simulation Using GPSS, John Wiley & Sons, New York, N.Y., 1974.
25. H. Staras and L. Schiff, "Improved Spectrum Utilization in the Land-Mobile Radio Service", TCS Telecommun., Vol. 4, pp. 23-32, Oct. 1970.
26. William F. Utlaut, "Spread Spectrum: Principles and Possible Application to Spectrum Utilization and Allocation", IEEE Communication Society Magazine, Vol. 16, No. 5, Sept. 78.
27. "Technical Report of the American Telegraph & Telephone Company on High Capacity Mobile Radio Communications Systems", Dec. 71.

