

Génie Electrical
Electrique Engineering

→ RAPPORT FINAL

PROJET A:

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



UNIVERSITÉ D'OTTAWA
UNIVERSITY OF OTTAWA

P
91
C655
U67
1979

91
C655
U67
1979

UNIVERSITÉ D'OTTAWA



OTTAWA ONTARIO
CANADA K1N 6N5

UNIVERSITY OF OTTAWA

FACULTÉ DES SCIENCES ET DE GÉNIE
GÉNIE ÉLECTRIQUE

FACULTY OF SCIENCE AND ENGINEERING
ELECTRICAL ENGINEERING

RAPPORT FINAL

PROJET A:

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

POUR:

MINISTRE 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
NOV 26 1979
LIBRARY - BIBLIOTHEQUE~~

DD 6378117
DL 6378215

P
91
C155
a.67
1977

SEARCHED
SERIALIZED
INDEXED
FILED

30 MARS 1979

RAPPORT FINAL

PROJET A:

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

POUR:

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

No. du Dossier MAS: 04SU.36100-8-1077
No. de Série du Contrat: OSU78-00264

REDIGE PAR:

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

31 NOVEMBRE 1978 AU 31 MARS 1979

PERSONNEL DU PROJET A

CHERCHEUR PRINCIPAL: Dr Nicolas D. Georganas

ETUDIANT DU 2^e CYCLE: John Sin

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

RESUME

Ce rapport se concentre sur deux méthodes de gestion du spectre des fréquences pour la communication mobile, c'est-à-dire le système cellulaire et les techniques d'étalement du spectre. Un modèle de simulation du système cellulaire ayant un système d'attribution des canaux hybride et la discipline Erlang-C, est développé et étudié. Les mesures de performance de base, telles que la probabilité que tous les canaux soient occupés, le temps moyen d'attente pour les appels qui demandent le service, et le nombre moyenne des tampons utilisés pour ces appels, sont obtenus. Des conclusions sont atteintes au sujet de la performance de la partition des canaux entre fixes et dynamiques. Une revue des techniques d'étalement du spectre et de leurs applications à la communication mobile est aussi donnée.

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
SOMMAIRE	1
I INTRODUCTION AUX SYSTEMES CELLULAIRES	6
1.1 Système de communication desservant une région très étendue	6
1.1.1 Le taux d'appels	7
1.1.2 Trafic dans un système de communication	11
1.1.3 Hypothèse sur le trafic offert	14
1.1.4 Formules utilisées dans l'analyse du trafic	15
1.1.4.1 Erlang B	16
1.1.4.2 Erlang C	18
1.2 Planification de systèmes cellulaires	18
1.2.1 Planification utilisant des statistiques	19
1.2.2 Planification utilisant les données du système	26
1.3 Attribution des stations de base dans les systèmes cellulaires	27
1.4 Attribution des canaux dans un système cellulaire	30
1.4.1 Canaux attribués en permanence système fixe	31
1.4.2 Système dynamique	33
1.4.3 Performance d'un système unidimensionnel	35
1.5 Références	40

	<u>Page</u>
II UN SCHEMA HYBRIDE D'ATTRIBUTION DES CANAUX DANS UN SYSTEME CELLULAIRE AVEC SERVICE ERLANG-C	43
2.1 Concept général	43
2.2 Stratégie utilisée dans l'attribution des canaux	46
2.3 Objectif du projet	49
2.4 Description du système simulé	50
2.4.1 Développement du modèle de simulation	50
2.4.2 Diagramme de simulation	54
2.5 Résultats de la simulation	61
2.5.1 Configuration du système simulé	61
2.5.2 Probabilité que tous les canaux soient occupés	62
2.5.3 Temps moyen d'attente dans la queue	71
2.5.4 Nombre moyen d'appels dans la queue	79
2.5.5 Performance en considérant la discipline Erlang-B et Erlang-C	85
2.6 Conclusion	91
2.7 Références	94
III TECHNIQUES D'ETALEMENT DU SPECTRE ET POSSIBILITES D'APPLICATION DANS LA COMMUNICATION MOBILE	98
3.1 Introduction	98
3.2 Principe d'un système d'étalement de spectre	99
3.3 Séquences pseudo-aléatoires et leur corrélation	102
3.4 Brouillage	105
3.5 Transposition de fréquence	108

(iii)

	<u>Page</u>
3.6 Modulation de fréquence linéaire	111
3.7 Analyse du rapport signal-bruit	111
3.8 Analyse du rapport signal-interférence	117
3.9 Avantages des systèmes à spectre étalé pour les communications mobiles	126
3.10 Désavantages des systèmes à spectre étalé	128
3.11 Conclusion	131
3.12 Références	133
 IV CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS POUR ETUDES ULTERIEURES	 137

SOMMAIRE

La demande pour les systèmes de communication mobile a énormément augmenté depuis les derniers 20 ans et on s'attend qu'elle continuera d'augmenter à un taux de 15% par année. Néanmoins, l'augmentation de la demande pour ce service, qui comprend les services mobiles de téléphone, les services de messagerie, le service des données mobiles, et le service de télé-avertisseur a créé une congestion du spectre de fréquence. La congestion de la largeur de bande disponible complique les choses face à la planification des systèmes de communication mobile et devrait être résolue le plus tôt possible.

Pour faire face à ce problème, on doit utiliser efficacement la largeur de bande disponible. Les techniques suivantes ont été proposées ou utilisées pour obtenir une meilleure occupation des canaux:

a) Réduction de la largeur de bande

La largeur de bande d'un canal peut être réduite de façon à placer plus de canaux dans le spectre des fréquences. Mais, il y a des limites à la

réduction, sinon la performance du signal sera atténuée.

b) Diversité dans l'accès des canaux

Le récepteur mobile a accès à plusieurs fréquences, et n'importe quelle peut être utilisée pour servir l'appel. Le service sera rediffusé si toutes les fréquences sont utilisées.

c) Systèmes cellulaires

L'aire de service est divisée en cellules ou zones ayant une station de base responsable de la communication dans la zone.

d) Techniques d'étalement du spectre

Le signal contenant l'information est étendu, avant la transmission, par une fonction spéciale, sur une largeur de bande considérablement plus large que celle du signal de modulation. Après réception le signal est replacé dans sa largeur de bande originale, en multipliant ce signal par la même fonction qu'à l'émetteur.

e) Emission sur bande latérale unique

L'idée dans cette technique est de combiner la modulation sur bande latérale unique (SSB) avec une compression-expansion d'amplitude et de fréquence. L'amplitude aussi bien que la fréquence du signal sont comprimées dans la bande de base, avant la transmission, et sont dilatées au récepteur. Cette technique donne une réduction considérable de la largeur de bande aussi bien que de la puissance nécessaire pour la transmission.

Parmi les problèmes associés à l'implantation d'un système cellulaire à haute capacité pour la communication mobile, l'attribution des canaux est une issue critique affectant la capacité du système et le choix de l'équipement. Un effort immense a été consacré au développement d'une méthode d'attribution des canaux efficace, ayant comme objectif la résolution du problème du manque de canaux.

Ce rapport se concentre principalement sur le problème de la gestion de fréquence avec l'aide d'une structure cellulaire ayant un système d'attribution des canaux hybride pour la réutilisation des

fréquences. En plus, une revue de techniques d'étalement du spectre et de leurs applications à la communication mobile est incluse.

Le chapitre 1 fournit une introduction au concept de base du système cellulaire et présente les diverses hypothèses utilisées dans l'analyse. Le concept des disciplines Erlang-B et Erlang-C est élaboré. Les systèmes fixe et dynamique d'attribution des canaux sont étudiés avec la performance d'un système unidimensionnel dynamique.

Le chapitre 2 présente la contribution majeure à ce travail, c'est-à-dire, une étude de la simulation d'un système cellulaire ayant un système d'attribution des canaux hybride et une discipline Erlang-C. Le concept général du système hybride est présenté et la stratégie pour l'attribution des canaux est introduite. Le système cellulaire simulé est présenté à l'aide de diagramme et de modèle de simulation. Le système de simulation GPSS a été utilisé pour l'étude. Les résultats de la simulation sont présentés et discutés en terme des mesures de performance, telles que le temps moyen d'attente, la grandeur

moyenne des tampons dans le système pour les appels qui attendent en queue, et la probabilité que les appels doivent attendre avant de recevoir le service. Des conclusions sont apportées face à la meilleure partition des canaux à utiliser entre fixes et dynamiques.

Dans le chapitre 3, une revue des techniques d'étalement du spectre est donnée, avec une analyse des rapports signal sur bruit et signal sur interférence associés avec ces techniques. Quelques avantages et désavantages de ces techniques face à la communication mobile sont inclus. Beaucoup de travail additionnel est nécessaire dans ce domaine.

I INTRODUCTION AUX SYSTEMES CELLULAIRES [1]

1.1 Système de communication desservant une région très étendue

Au tout début de la communication mobile, les ingénieurs ont recherché les plus hautes montagnes ou édifices pour ériger leurs antennes. Sur celle-là, ils ont installé de très hautes antennes transmettant de très forts signaux dans le but de couvrir la plus grande région possible. Par contre, un mobile éloigné ne pouvait pas transmettre à une si grande puissance, donc d'autres récepteurs ont dû être distribués dans la région, pour fournir la connection base-mobile nécessaire.

A cause des montagnes, des tunnels et des autres obstructions, il existait plusieurs trous dans la région où l'antenne primaire était hors de portée. Ils ont essayé, en installant d'autres émetteurs et antennes de boucher ces trous, mais cette solution cause plusieurs problèmes, par exemples: de l'interférence était crée lorsque les deux signaux, celui provenant de l'antenne primaire et celui provenant de l'antenne secondaire n'étaient pas en phase.

Les systèmes de communication de ce genre sont en général séparés l'un de l'autre par une distance considérable, plaçant un système par rapport à l'autre, plus que la ligne d'horizon (voir figure 1.1). Dans ce cas, les régions sont assez isolés pour réutiliser les mêmes canaux sans danger d'interférence.

Le nombre de canaux alloués pour la communication mobile a été très inadéquat. Par exemple, une ville ayant une population de plus d'un million, a parfois moins de dix canaux disponibles pour ce service. Puisque le rayon moyen d'action pour ce système est plus de 45 kilomètres, le nombre de canaux par kilomètre carré est moins de 0.002, un nombre qui est très petit comparé à la densité de véhicule.

A cause de ce petit nombre de canaux, plusieurs agences ont installé d'autres bases fonctionnant sur les mêmes canaux; cette technique d'amélioration du système a causé plusieurs problèmes d'interférence.

1.1.1 Le taux d'appels

Dans un système de communication mobile, on doit déterminer le nombre de clients qui utiliseront

les facilités, avant de l'implanter.

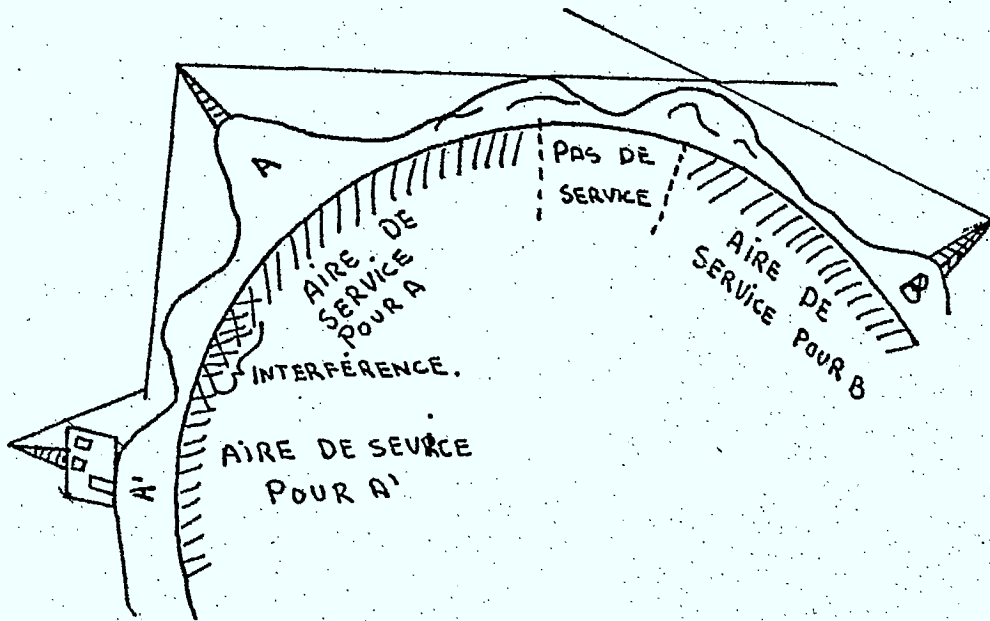


Figure 1.1 Système de communication desservant une région très étendue

Si nous considérons une aire circulaire, il est possible de calculer le nombre d'appels maximum en déterminant le nombre de mobiles dans toutes les rues de ce cercle.

La figure 1.2 nous montre un cercle de rayon R où les rues forment un quadrillage uniforme. Pour simplifier, nous considérons les rues ayant deux sens

et contenant une ligne dans chaque direction.

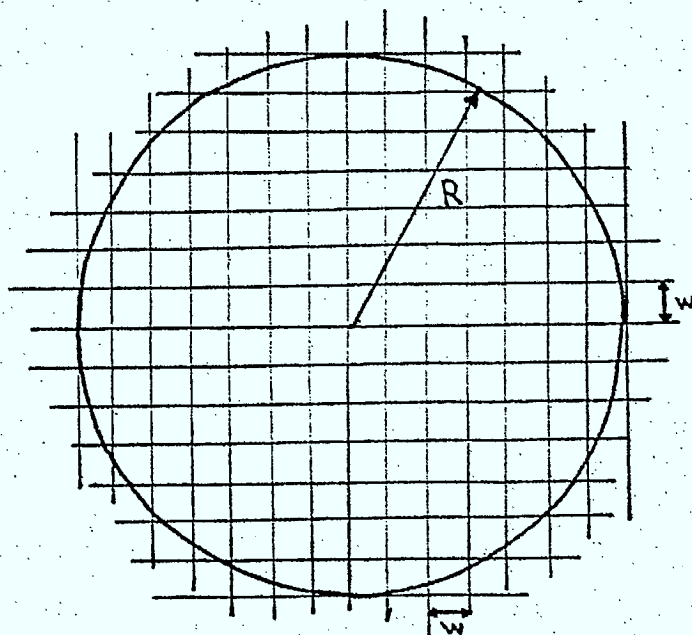


Figure 1.2 Aire de communication de rayon R

D'après cette figure, il est assez facile de calculer la longueur totale des rues dans le cercle, celle-ci est

$$L = 8 R \left[\sum_{k=1}^N \sqrt{1 - \frac{k^2 w^2}{R^2}} + \frac{1}{2} \right], \quad N = \frac{R}{w} \quad (1.1)$$

On évalue ce résultat approximativement pour le genre de région qui nous intéresse (c'est-à-dire $w=80$ à 300 mètres et R plus grand que 0.8 kilomètres), on obtient

$$L = \frac{2\pi R^2}{w} \quad (1.2)$$

Cette approximation sera utilisée dorénavant. Si on suppose que la séparation des véhicules est S , alors le nombre de véhicules présents dans le cercle est

$$C = \frac{2L}{S} = \frac{4\pi R^2}{wS} \quad (1.3)$$

Supposons que la tentative d'appel d'un véhicule, A_V , arrive au hasard et est indépendante de celle des autres véhicules, alors la tentative d'appel totale, A_i , dans la région entière est:

$$A_i = A_V C = 4\pi \frac{R^2}{wS} A_V \quad (1.4)$$

Par contre, la tentative d'appel actuelle, A , sur le système sera réduite car certains véhicules demandant le service seront bloqués. Donc $A = A_i F_u$, où F_u est la fraction des véhicules dans l'aire circulaire qui reçoivent le service. Certains véhicules ne peuvent recevoir le service, car ils sont situés dans un trou où le signal de l'antenne primaire reçu, n'est pas assez fort.

Dans un système actuel, on peut obtenir C grâce aux études de la densité des véhicules, mais présentement A_V et A_i sont seulement estimés. F_u peut être déterminé avec précision, car la fraction

des véhicules recevant le service est la même que la fraction de l'aire qui reçoit un signal utilisable (avec une puissance assez élevée). Ceci est pour une densité de véhicule uniforme seulement, autrement une intégration sur la densité spatiale est nécessaire.

On peut définir, pour faciliter l'étude du système, la probabilité qu'un appel soit bloqué, celle-ci est:

$$P_s = 1 - F_u (1 - P) \quad (1.5)$$

ou P_s est la probabilité qu'un appel soit bloqué, tandis que F_u et P sont les probabilités qu'un appel soit bloqué à cause du trop faible signal et du manque de canaux. Si P_s est spécifié d'après le système, une relation entre F_u et P est établie.

1.1.2 Trafic dans un système de communication

Le trafic, ou la quantité de véhicule pour un temps donné, est un important aspect à considérer lors de l'étude des systèmes de communication. A cause de cela le mot trafic, à présent, ne définiera pas le mouvement des véhicules, mais sera relié au nombre d'appels.

Les appels téléphoniques sont faits par des individus à des temps différents, dépendant de leurs habitudes de travail. Le nombre d'appels varie beaucoup durant une journée, pour cela, les facilités ou le système doivent être capable de satisfaire les demandes aux heures de pointe.

Les facteurs de base impliqués dans l'implantation des facilités sont: le nombre d'appels tentés, la durée des appels, le nombre de canaux disponible et la qualité du service. Le produit des deux premiers facteurs est le trafic offert ou la charge offerte au système. Ceci indique le temps qu'un nombre de clients utilise le système. La quantité d'appels qui utilise un canal complètement est appelé "Erlang". Le trafic offert est souvent exprimé en appels-secondes par heure (C.C.S., calls-seconds per hour) ou appel-minutes par heure. Donc, puisqu'il y a 3600 appels-secondes par heure, un Erlang est égal à 36 C.C.S. ou 60 appels-minutes.

Il a été découvert que la probabilité peut être utilisée pour dériver une relation, entre le trafic offert, le nombre de canaux disponibles et la qualité du service. Des formules ont été développés

pour construire des tables de capacité du système. Les formules tiennent compte des caractéristiques des appels téléphoniques, en plus des relations physiques des canaux de communication. Parmi les caractéristiques des appels mentionnons: la distribution des appels dans le temps, le taux d'appels par client, la variation de la durée des appels et le comportement des clients ou de l'équipement lorsque toutes les facilités sont occupées.

Le taux d'appels tenté est estimé d'après des prédictions basées sur le taux d'appels anticipés par individu, la densité de véhicules et les facteurs de propagation, comme nous l'avions mentionné auparavant.

Le temps qui s'écoule lorsqu'un appel occupe un canal est la durée d'appel (call duration time). Ceci comprend le temps de conversation, plus un petit intervalle nécessaire pour obtenir la communication. La durée d'appel pour des correspondants téléphoniques varie d'après une loi exponentielle. Les appels entre les mobiles varie à peu près de la même façon.

Idéalement, chaque mobile devrait avoir accès à tous les canaux disponibles, mais les considérations économiques et physiques dans la création de l'équipement, font que ceci n'est pas toujours vrai. Cette limitation affecte les facteurs mentionnés auparavant.

La qualité du service peut être décrite en terme du taux d'appels bloqués ou du délai rencontré avant d'avoir la communication.

1.1.3 Hypothèse sur le trafic offert

La distribution des appels placés par un client est très importante pour déterminer le nombre de canaux nécessaires pour la qualité du service envisagé.

En général, on assume que chaque client fait des appels au hasard et indépendamment des autres.

Cette hypothèse n'est pas toujours vraie, lorsque deux individus se parlent, il est clair qu'il y a une restriction sur les habiletés de faire des appels indépendamment. Par contre, pour un grand nombre d'abonnés où chacun a une petite probabilité de

lancer un appel, cette restriction peut être négligée. On assume également qu'un client, sur une longue période, produit le même nombre de Erlang de charge que tous les autres clients. Avec cette hypothèse, la probabilité qu'à un temps donné, un abonné utilise le système est une constante. Vraisemblablement, le taux d'appels varie avec chaque individu, mais le nombre d'appels moyens est utilisé pour dériver les relations.

1.1.4 Formules utilisées dans l'analyse du trafic

Le nombre d'appels qui ne trouvent pas de canal immédiatement dépend de plusieurs facteurs, incluant l'équipement disponible et les habitudes des clients. Il y a deux façons dont les clients réagissent lorsque leurs appels sont bloqués. Premièrement quelques appels qui ne trouvent pas de canal, disparaissent du système pour revenir plus tard. Cette hypothèse (appels bloqués éliminés), est à la base d'une formule pour obtenir la probabilité de perte, appelée la formule Erlang B. Deuxièmement, quelques appels qui ne trouvent pas de canal immédiatement, attendent qu'il y en ait un de libre. Cette hypothèse (appels bloqués retardés) est à la base d'une autre formule, Erlang C.

Entre ces deux extrêmes, il existe une autre hypothèse qui est un mélange des deux, c'est-à-dire, un client qui n'obtient pas de canal attend pendant un temps déterminé, puis disparaît du système si aucun canal n'a été disponible.

1.1.4.1 Erlang B

Cette formule est très importante lors de l'implantation des systèmes de communication mobile. Le système ABE (appels bloqués éliminés) le plus simple, emploie un nombre fini de canaux, c , et les appels arrivent d'après le processus de Poisson avec intensité λ . Les appels qui entrent dans le système lorsqu'un canal est disponible sont servis immédiatement. Par contre, les appels qui entrent dans le système lorsque tous les canaux sont occupés, repartent immédiatement. La durée d'un appel est considérée comme indépendante et suivant une distribution exponentielle négative avec une moyenne $1/\mu$. Après plusieurs dérivations, on obtient une formule pour la probabilité que tous les canaux soient occupés,

$$B(c, a) = \frac{a^c / c!}{\sum_{n=0}^c a^n / n!}, \quad a = \frac{\lambda}{\mu} \quad (1.6)$$

La figure 1.3, indique le nombre de canaux nécessaire en fonction du trafic offert, pour différente valeur de la formule Erlang B.

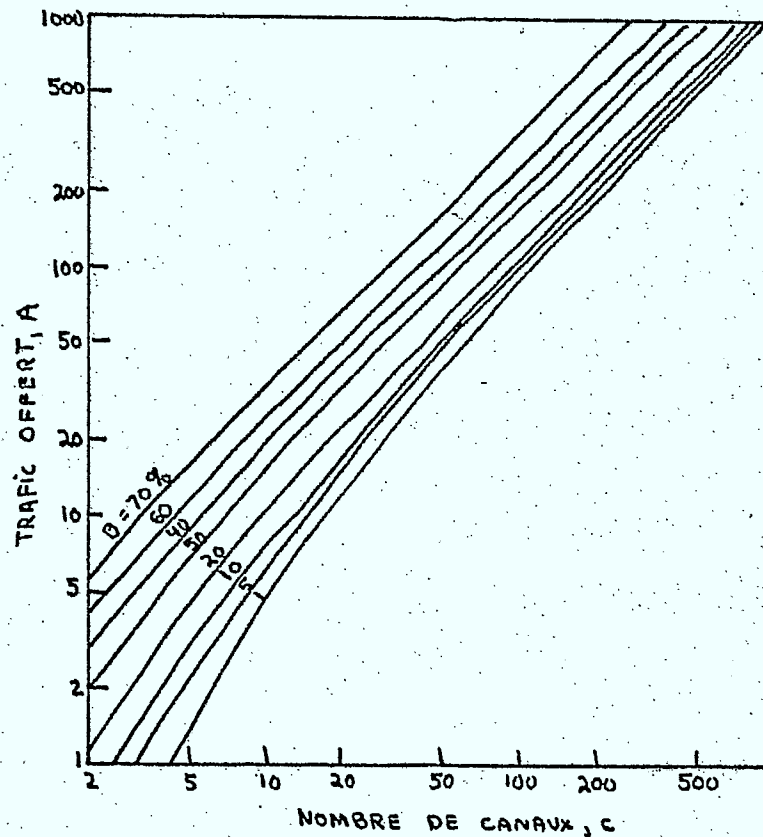


Figure 1.3 Le trafic offert en fonction du nombre de canaux pour différente valeur de la formule Erlang B

Un résultat très important peut être obtenu de la formule Erlang B lorsque c tend vers l'infini. Le modèle obtenu de cette façon est celui entre le système Erlang B et Erlang C, c'est-à-dire, un appel

qui est bloqué reste dans le système pour un temps déterminé. Les hypothèses sont les mêmes que dans le modèle Erlang B. La probabilité qu'un appel soit bloqué est donc,

$$P\left(c, \frac{\lambda}{\mu}\right) = \sum_{n=c}^{\infty} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} e^{-\lambda/\mu} \quad (1.7)$$

1.4.1.2 Erlang C

Le modèle Erlang C est utilisé lorsque les appels bloqués peuvent rester dans le système et attendre qu'un canal se libère. Le système est composé de c canaux et d'une capacité de retenir une infinité d'appels. La probabilité qu'un appel soit bloqué est

$$P\left(c, \frac{\lambda}{\mu}\right) = p(0) \frac{(\lambda/\mu)^c}{c!} \frac{c}{c-\lambda/\mu},$$
$$p(0) = \left(\sum_{n=0}^{c-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^c}{c!} \frac{c\mu}{c\mu-\lambda} \right)^{-1} \quad (1.8)$$

1.2 Planification de systèmes cellulaires

Souvent le nombre total de canaux de communication disponibles pour la communication mobile, n'est pas suffisant pour fournir le service répondant aux exigences des clients, pour une région de très grande population.

Le nombre de canaux par unité de surface peut être augmenté considérablement, en utilisant simultanément le même canal, dans de petites régions séparées par une distance géographique suffisante. Cette séparation est nécessaire pour diminuer l'interférence entre les deux régions.

Il existe deux méthodes pour implanter un système cellulaire; soit en plaçant les cellules d'après des données reçues par les statistiques sur les systèmes mobiles en général, ou en déterminant les paramètres d'après la région.

1.2.1 Planification utilisant des statistiques

Pour mieux comprendre cette méthode d'implantation de système cellulaire, considérons deux stations de base A et B, séparées par une distance D , comme dans la figure 1.4.

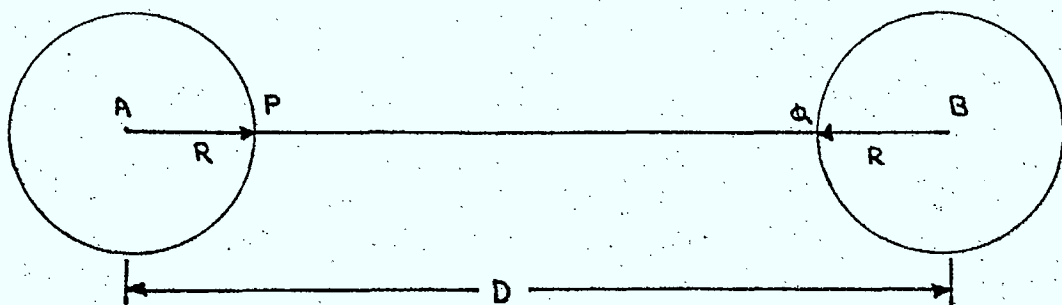


Figure 1.4 Réutilisation des fréquences par deux stations de base séparées par la distance D .

La puissance moyenne du signal reçu au point P, de A, est proportionnel à R^{-n} , ou R est la distance de A à P et n est une constante de propagation des ondes. Si on assume que P est situé sur la ligne reliant A et B, alors la puissance moyenne reçue de B sera $(D-R)^{-n}$. Par contre, dans un système réel, la puissance reçue à P serait la somme des différents signaux provenant de toutes les bases.

Si A et B transmettent sur la même fréquence, alors le rapport signal sur interférence, S/I, est:

$$((D-R)/R)^n \quad (1.9)$$

D'après ceci, le rayon des cellules R comparé avec la séparation D est déterminé pour un système donné, lorsque le rapport S/I et la quantité n sont connus.

Si on considère les autres bases situées à une distance D de A, utilisant la même fréquence, on obtient alors:

$$\frac{S}{I} = (1/M) ((D-R)/R)^n \quad (1.10)$$

ou M est le nombre total de stations de base situées à une distance D.

En général

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{R^n \sum_{i=1}^n 1/(R_i)^n} \quad (1.11)$$

ou R_i est la distance du point P à la $i^{\text{ème}}$ base.

Cette analyse suppose que le signal obtenu au point P de A, offre un rapport signal sur bruit, suffisant.

Si une aire doit utiliser un système cellulaire, les canaux doivent être répartis de façon à offrir le moins d'interférence possible. Un exemple de distribution de canaux est démontré dans la figure suivante.

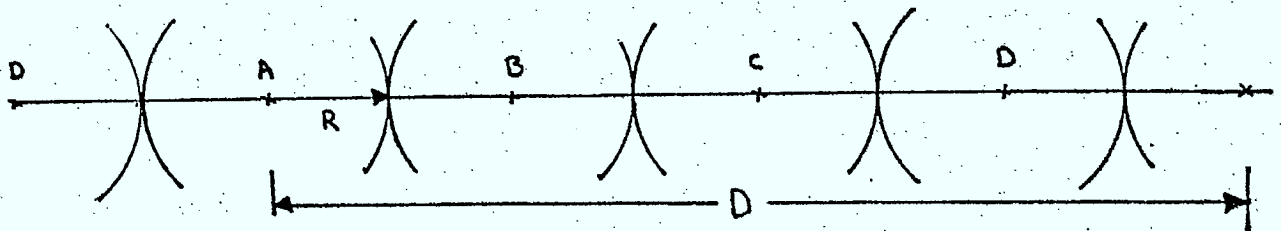


Figure 1.5 Système cellulaire unidimensionnel

Une telle disposition pourrait être utilisée le long d'une autoroute. Dans cet exemple, $(D-R)/R=7$ ou $D/R=8$ pour les stations de base adjacentes utilisant le même canal. On doit utiliser 4 canaux dans cet exemple pour remplir ces exigences.

Une autre sorte d'interférence peut se produire dans la figure 1.4, c'est-à-dire si les mobiles au point P et Q transmettent sur la même fréquence.

Une région plane peut être divisée en cellules identiques, si, et seulement, si ces cellules sont triangulaires, carrées ou hexagonales. La figure 1.6 nous montre ces différentes divisions.

Les paramètres D/R et N sont utiles pour comparer les différentes configurations de cellules. Pour cette comparaison, D est la distance entre le centre de deux cellules qui utilisent le même canal, R est la distance maximum du centre d'une cellule au bord et N , est le nombre minimum des ensembles de canaux requis pour couvrir la surface complètement. Les systèmes cellulaires utilisant des cellules carrées ont été les plus étudiés, car les coordonnées cartésiennes peuvent être utilisées, simplifiant ainsi les

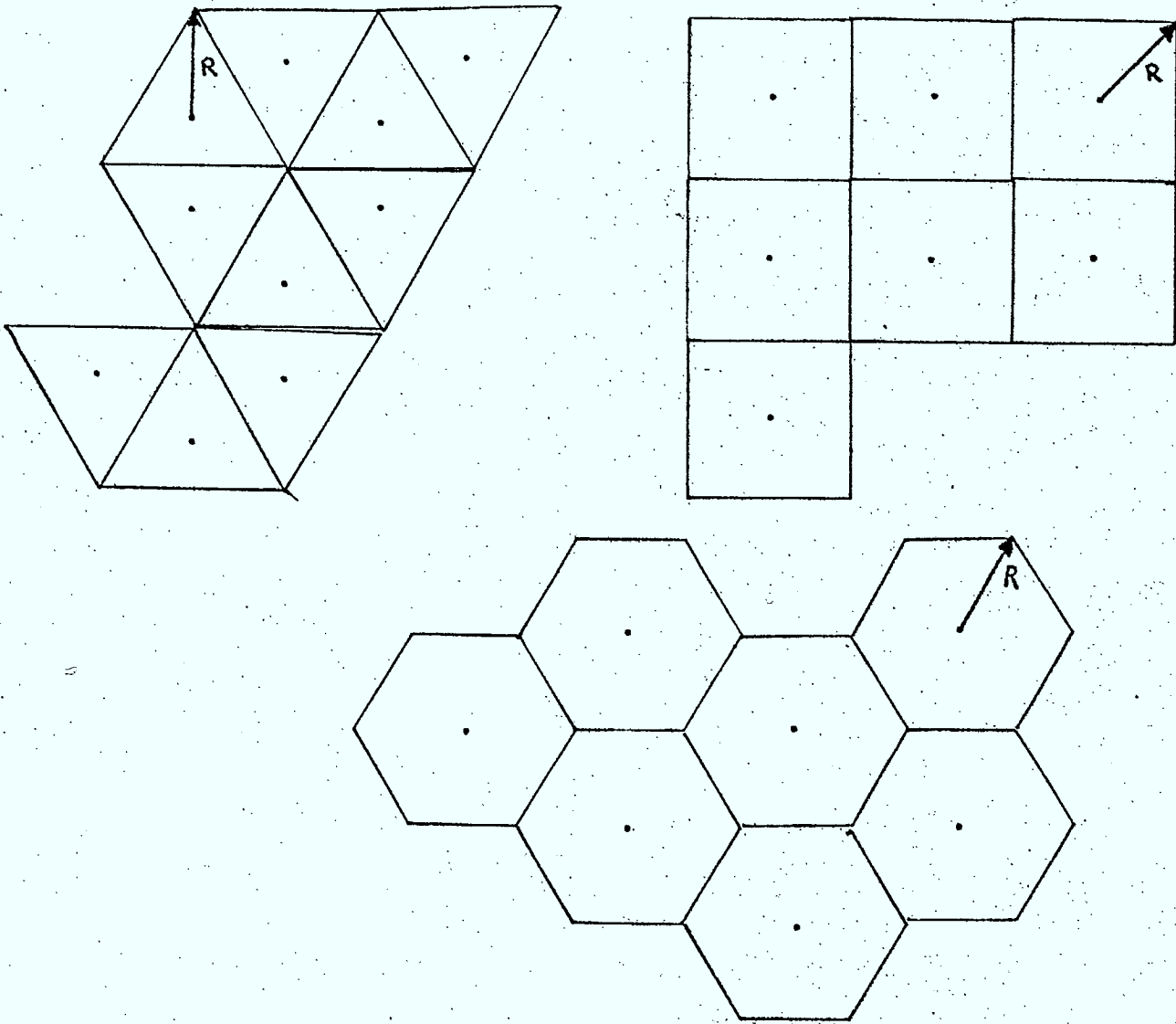


Figure 1.6 Divisions d'une région en triangles, en carrés et en hexagones

calculs. Pour un système carré, la relation entre D/R et N est $N = \frac{1}{2} (D/R)^2$ avec $N = 2, 4, 5, 8, 9, \dots$ puisque cette valeur est donnée d'après la relation $N = k^2 + l^2$, avec k et l prenant des valeurs positives entières.

Les systèmes hexagonaux ont reçu aussi beaucoup d'attention parce qu'un hexagone se rapproche plus du cercle (note: une antenne émet avec la même puissance sur un cercle). Pour un système hexagonal, la relation est $N = 1/3 (D/R)^2$ avec $N = 3, 4, 7, 9, 12, 13, \dots$ donné d'après $N = (k + 1)^2 - kl$.

Le rapport D/R est déterminé d'après le rapport S/I (signal sur interférence) et les caractéristiques du système. Les dimensions actuelles des cellules, D et R , sont déterminées d'après les paramètres suivants: la densité de trafic, le nombre de canaux disponibles, et la méthode d'attribution des canaux utilisée (fixe ou dynamique). En général, la densité de trafic utilisé est celle aux heures de pointe, c'est-à-dire la densité maximale. Si la densité de trafic était uniforme sur l'aire totale, les cellules auraient toutes la même forme. Mais, cette densité est en général plus petite dans les banlieux que dans

le centre des villes. Aussi les bases coûtent très cher, donc leurs positions doivent être spécifiées avec précision. Par conséquent, pour diminuer le coût du système, des cellules plus grosses sont utilisées dans les banlieues. Par contre, dans ce genre de division, le rapport D/R n'est pas constant pour l'ensemble des cellules.

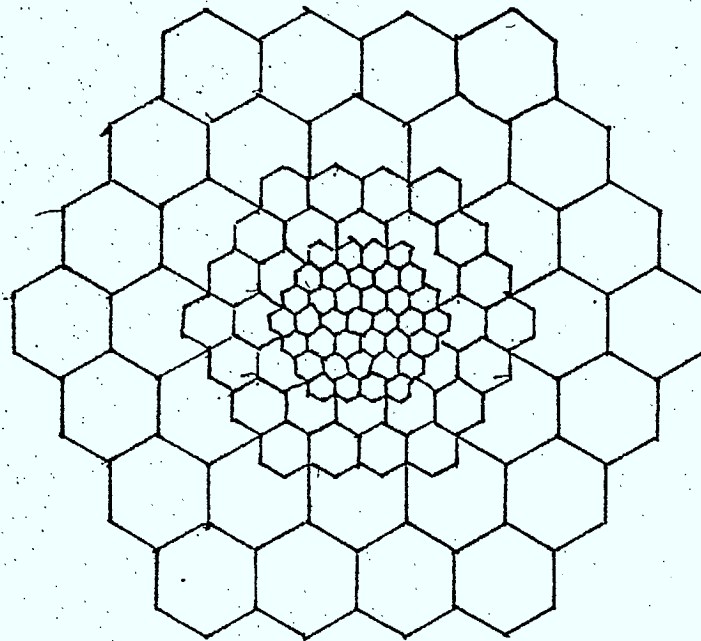


Figure 1.7 Système cellulaire tenant compte de la densité des véhicules

1.2.2 Planification utilisant les données du système

Les systèmes de communication mobile utilisant des cellules semblables (même R), doivent être basés sur des statistiques, comme mentionné dans la section précédente. Le nombre de cellules nécessaire entre les bases utilisant le même canal est donc déterminé en utilisant les paramètres obtenus de ces statistiques, et du service demandé. Mais dans plusieurs cas, la distance entre les cellules est parfois plus grande que nécessaire.

Dans la planification utilisant les données du système, il est possible d'arranger la position des stations de base de façon à minimiser la distance de réutilisation des canaux et offrir le même rendement pour tout point dans le système. Cette méthode nécessiterait la connaissance de la puissance moyenne du signal provenant d'une certaine base. Cette puissance moyenne pourrait être déterminée par mesure ou par prédiction. Donc la région associée avec une certaine base aurait la forme la plus efficace.

(Voir figure 1.8)

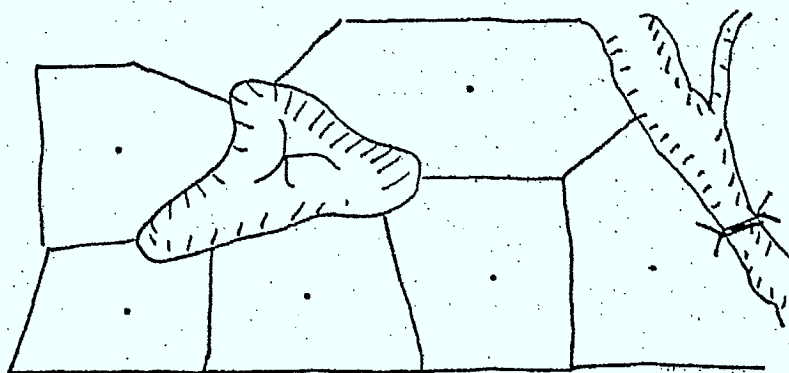


Figure 1.8 Système cellulaire tenant compte des obstacles

Cette méthode diminuerait le nombre de bases requises pour le même nombre de canaux. A chaque station de base plusieurs aires pourraient être desservies en utilisant des antennes directionnelles. Ceci permettrait encore de diminuer le nombre de bases.

La complexité de cette méthode de travail rend presque impossible la compilation des données, sauf en utilisant la simulation par ordinateur.

1.3 Attribution des stations de base dans les systèmes cellulaires

Dans un système cellulaire, un lien entre deux interlocuteurs est fait grâce à l'information reçue d'un mobile par plusieurs bases. Chaque station de base a un canal fixe, permettant ainsi le signalement d'un mobile. Lorsqu'un mobile n'est pas

en conversation, il reste sur le canal de signalement de la base. Il devrait être possible d'attribuer une station de base pour servir un appel d'après la force du signal reçue aux différentes bases. Ce mode d'attribution des bases n'a pas été beaucoup étudié, en général les petits systèmes cellulaires étudiés à date ont été basés sur la position des véhicules demandant le service, par rapport aux bases. La station de base attribué est donc celle représentant la cellule dans laquelle le mobile se trouve. La précision dans la détermination de la position des véhicules n'est pas très importante. Une erreur dans l'attribution d'une base lorsqu'un véhicule est près de la frontière n'a pas beaucoup d'effet sur la performance du système, car en général une cellule n'a pas de frontière fixe; il existe un recouvrement entre deux cellules adjacentes.

La méthode pour déterminer la position d'un véhicule qui a reçu le plus d'attention est la "trilatération". Cette méthode dépend de la mesure de la distance entre les véhicules et les bases qui reçoivent le signal. La position est déterminée en comparant ces distances. La distance peut être mesurée en envo-

yant une impulsion au mobile ou en comparant la différence de phase du signal reçu au signal envoyé. Le système d'impulsion pour déterminer la position est beaucoup plus précis, l'erreur serait 200 à 400 pieds sur la position. Mais on doit employer une très grande largeur de bande pour transmettre l'impulsion, cette largeur de bande n'est pas disponible en communication mobile.

Par contre le système mesurant la phase nécessite une largeur de bande beaucoup plus petite. Dans ce système, un signal sinusoïdal de basse fréquence est envoyé avec le signal; lorsque le signal revient à la base, la différence de phase est mesurée. L'erreur serait de 800 à 1400 pieds avec ce système.

Une autre méthode peut être utilisée pour déterminer la position des véhicules, la triangulation. Dans ce système, on mesure la puissance reçue à la base avec des antennes directionnelles. L'antenne indiquant le plus fort signal indique la direction.

L'usage direct de la puissance du signal reçu pour déterminer la position des véhicules est une façon très attrayante pour assigner les stations

de base, car aucun équipement supplémentaire n'est nécessaire.

D'autres méthodes ont été imaginées pour déterminer la position des véhicules, par exemple en utilisant une barrière électronique aux frontières des cellules. Le mobile identifierait la cellule qu'il va occuper en passant près de la frontière. Ce système est très précis, mais il coûterait cher et nécessiterait beaucoup d'entretien.

La réattribution des stations de base devra être faite lorsqu'un véhicule traverse une frontière. Donc le système doit identifier l'instant lorsque ceci arrive pour assigner une nouvelle station de base. L'erreur faite dans l'attribution de ces stations de base peut causer de l'interférence entre les canaux et dépend aussi de la méthode d'attribution des canaux. Si cette méthode est dynamique, la distance de réutilisation peut devenir plus petite et ainsi créer beaucoup d'interférence.

1.4 Attribution des canaux dans un système cellulaire

Lorsque les stations de base ont été attribuées pour répondre aux appels, les différents canaux sont

ensuite assignés dans les bases. L'attribution des canaux doit être faite en considérant la séparation géographique entre les cellules, c'est-à-dire, deux cellules peuvent employer le même canal si la séparation entre ces cellules est assez grande.

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

La figure 1.5 montre un système fixe unidimensionnel utilisant quatre ensembles de canaux A, B, C, et D avec $D/R = 8$.

La recherche d'un canal pour desservir un mobile nécessite seulement de regarder dans l'ensemble des canaux disponibles pour cette base. Donc chaque groupe de canaux sont indépendants. 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.

Les points 1 et 2 n'affectent pas le trafic offert HxA . L'effet de 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.

1.4.2 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

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.

1.4.3 Performance d'un système unidimensionnel

Les caractéristiques de la performance des systèmes dynamiques unidimensionnels de différentes grosseurs et utilisant différentes densités de trafic, ont été déterminées d'après des simulations par ordinateur.

Les simulations sont basées sur un système unidimensionnel comme représenté dans la figure 1.5. Dans cet exemple, le rapport D/R était 8, donc les canaux pouvaient être réutilisés après quatre cellules.

Dans la simulation, la position et la vitesse du véhicule sont emmagasinées dans l'ordinateur. Le taux d'appel pour une simulation complète est environ mille; cela permet d'avoir des statistiques se rapprochant plus du réel.

Le diagramme suivant représente les étapes nécessaires pour représenter l'état et la position des véhicules.

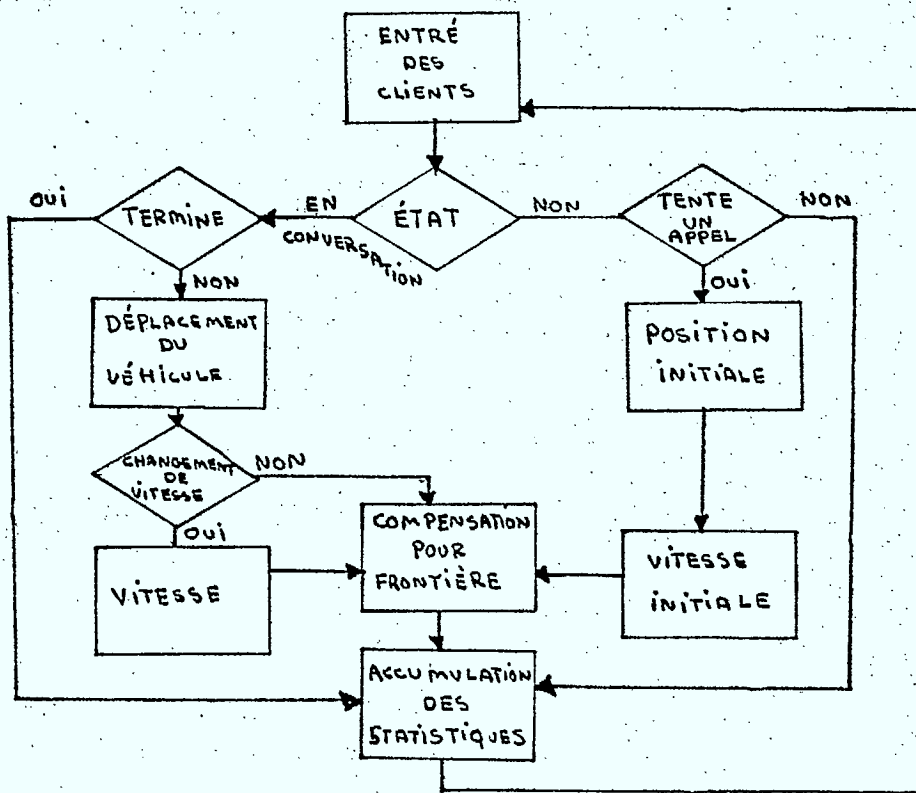


Figure 1.9 Les étapes nécessaires pour représenter l'état et la position des véhicules

Pour chaque cycle, le système vérifie l'état des mobiles, soit s'il est en conversation ou non.

Si l'abonné n'est pas en conversation, la partie droite du diagramme est suivie. La première étape dans cette branche est de prendre un nombre au hasard pour déterminer si un mobile va tenter un appel ou non. Si non, ceci est noté et le système recommence avec un autre client. Si par contre, le mobile tente un appel, un autre nombre est pigé pour déterminer la position du véhicule. Les appels ainsi produits suivent la loi de Poisson et sont distribués uniformément dans la région. Une vitesse est attribuée à chaque véhicule de la même façon. La vitesse est spécifiée par une distribution normale avec un écart type de 60 mi/hr, de moyenne 0 mi/hr. Si un nouvel appel est fait près d'une frontière, le système vérifie les critères nécessaires.

Le côté gauche du diagramme est pour les abonnés qui sont déjà en conversation. De ce côté, on doit premièrement vérifier si le client termine l'appel ou non. La durée d'un appel varie selon une distribution normale. L'abonné qui termine un appel, est retiré du système et les statistiques accumulées sont

emmagasinées. Par contre, les abonnés qui ne terminent pas leur appel sont déplacés d'après leur vitesse, et leur nouvelle position est notée.

Après ce déplacement, un nombre est pigé au hasard pour déterminer si la vitesse doit être changée, aussi la position est déterminée, pour vérifier si le véhicule est près d'une frontière ou non.

Le deuxième diagramme (Figure 1.10) démontre la méthode utilisée pour assigner les canaux. Le système identifie premièrement les clients qui sont en conversation ou qui veulent l'être. Les nouveaux appels sont déplacés le long de la branche centrale. La première étape est de déterminer d'où provient l'appel, c'est-à-dire, de quelle cellule. Certains appels sont bloqués si le nombre total de clients en conversation dépasse la limite posée.

La prochaine étape est la recherche d'un canal. Le système dynamique utilisé assume que tous les canaux sont disponibles dans toutes les cellules. La recherche d'un canal est faite de façon ordonnée en partant du canal numéro un. Lorsqu'un canal est trouvé qui n'est pas utilisé, il est vérifié de façon

que l'interférence soit minimum, ensuite les statistiques sont emmagasinées pour ce mobile. Par contre, si aucun canal n'est trouvé, l'appel est bloqué.

Un système de simulation possible est le système GPSS (General Purpose Simulation System) de la compagnie I.B.M.

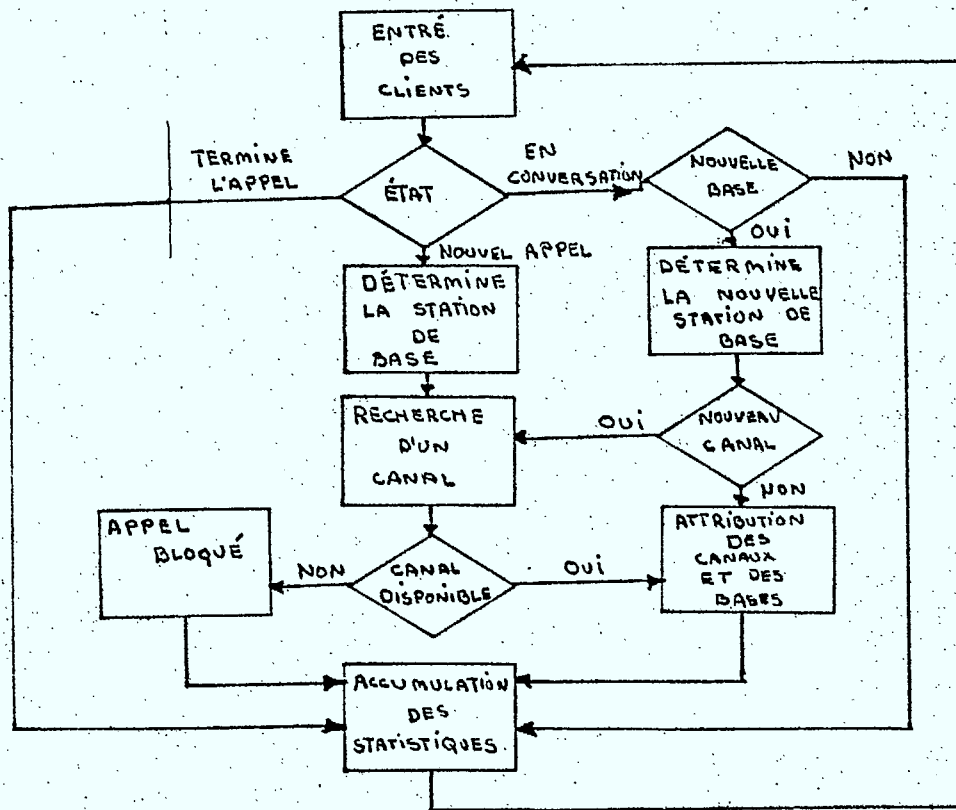


Figure 1.10 La méthode utilisée pour assigner les canaux

1.5 Références

1. D.C. Cox and D.O. Reudink
"Layout and Control of High-Capacity System", in Microwave Mobile Communications, edited by W.C. Jakes, Jr., John Wiley & Sons, N.Y., 1974.
2. A.K. Erlang
"Solution of Some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges," Post Office Electrical Engineers' Journal (London, England), X, January 1918, pp. 189-97.

H. Schuller, Jr., and W.A. Cornell
"Multiarea Mobile Telephone System," IRE Trans. Veh. Comm., 9, May 1960, pp. 49-53.
3. W.D. Lewis
"Coordinated Broadband Mobile Telephone Systems", IEEE Trans. Veh. Comm., VC-9, May 1960, pp. 43-48.
4. D. Araki
"Fundamental Problems of Nationwide Mobile Radio-Telephone System", Rev. Elec. Comm. Lab. Japan, 16, May/June, 1968, pp. 357-373.
5. R.H. Frenkiel
"A High-Capacity Mobile Radiotelephone System Model Using a Coordinated Small-Zone Approach," IEEE Trans. Veh. Tech. VT-19, May 1970, pp. 173-177.
6. L. Schiff
"Traffic Capacity of Three Types of Common-User Mobile Radio Communication Systems," IEEE Trans. Comm. Tech., COM-18, No. 1, February, 1970, pp. 12-21.
7. D.C. Cox and D.O. Reudink
"Dynamic Channel Assignment in Two-Dimensional Large-Scale Mobile Radio Systems," Bell System Tech. J. 51, September 1972, pp. 1611-1630.

8. D.C. Cox and D.O. Reudink
"Increasing Channel Occupancy in Large Scale Mobile Radio Systems: Dynamic Channel Reassignment," Joint IEEE Comm. Soc.-Veh. Tech. Group Special Trans. Mobile Radio Comm., November, 1973, pp. 1302-1306.
9. J.S. Engel, "The Effects of Cochannel Interference on the Parameters of a Small-Cell Mobile Telephone System," IEEE Trans. Veh. Tech. VT-18, November, 1969.
10. Bell Laboratories
"High-Capacity Mobile Telephone System Technical Report," Submitted to FCC December, 1971.
11. G.L. Turin, W.S. Jewell, and T.L. Johnston
"Simulation of Urban Vehicle-Monitoring Systems," IEEE Trans. Veh. Tech. VT-21, February, 1972.
12. H. Staras and S. Honickman
"The Accuracy of Vehicle Location by Trilateration in a Dense Urban Environment," IEEE WESCON, Session 27, August 27-27, 1971.
13. P.T. Porter
"Supervision and Control Features of a Small-Zone Radio-telephone System," IEEE Trans. Veh. Tech. 20, August 1971, p. 75.
14. W.G. Figel, N.H. Sheperd, and W.F. Trammell
"Vehicle Location by a Signal Attenuation Method," IEEE Trans. Veh. Tech. VT-18, November, 1969.
15. D.C. Cox and D.O. Reudink
"Dynamic Channel Assignment in High Capacity Mobile Communications System," Bell System Tech. J. 50, July-August 1971, pp. 1833-1857.
16. D.C. Cox and D.O. Reudink
"Dynamic Channel Assignment in Multidimensional Mobile Communications Systems," Patent application filed US patent office, December 1971.

17. D.C. Cox and D.O. Reudink
"A Comparison of Some Channel Assignment Strategies in Large-Scale Mobile Communications Systems," IEEE Trans. Comm. COM-20, April, 1972, pp. 190-195.
18. D.C. Cox and D.O. Reudink
"Effects of Some Nonuniform Spatial Demand Profiles on Mobile Radio System Performance," IEEE Trans. Veh. Tech. VT-1, May, 1972, pp. 62-67.
19. D.C. Cox and D.O. Reudink
"The Behavior of Dynamic-Channel-Assignment Mobile Communications Systems as a Function of Numbers of Radio Channels," IEEE Trans. Comm. COM-20, June, 1972, pp. 471-479.
20. L. Kosten
"On the Validity of the Erlang and Engset Loss-Formulae," P-T Bedrijs, 2, No. 1, 1948-49.
21. L.G. Anderson
"A Simulation Study of Some Dynamic Channel Assignment Algorithms in a High Capacity Mobile Telecommunication System," Joint IEEE Comm. Soc.-Veh. Tech. Group Special Trans. on Mobile Radio Comm., November, 1973, pp. 1294-1302.
22. J.S. Engel and M.M. Peritsky
"Statistically Optimum Dynamic Server Assignment in Systems with Interfering Servers", Joint IEEE Comm. Soc.-Veh. Tech. Group Special Trans. on Mobile Radio Comm., November 1973, pp. 1287-1293.

II UN SCHEMA HYBRIDE D'ATTRIBUTION DES CANAUX DANS UN SYSTEME CELLULAIRE AVEC SERVICE ERLANG-C

2.1 Concept général

Les systèmes cellulaires de communication mobile utilisant le système fixe et dynamique d'attribution des canaux ont été beaucoup étudiés. [1, 4-12, 17, 22, 23, 27]. Les résultats de ces études démontrent que le système dynamique est plus efficace lors de faible trafic. Par contre, le système fixe devient supérieur lorsque le trafic offert est grand. 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.

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

$$N = \frac{1}{3} (D/R)^2 = \frac{1}{3} Y^2 \quad (2.1)$$

(pour les cellules hexagonales).

Chaque cellule du système obtient un des N ensembles, en observant la distance de réutilisation. Si la dis-

tribution du trafic offert est uniforme, le nombre moyen de canaux par cellule sera donné par:

$$M = \frac{T}{N} \quad (2.2)$$

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:

$$f + d = M \quad (2.3)$$

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 Nd 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]

$$m = f + \frac{Ndj}{I} \quad (2.4)$$

où I 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. $N < I$). 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.

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 [9.18]. 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 plus tôt 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.

2.2 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 [7, 8, 11, 17].

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 $L < \gamma + k$ 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 $L = \gamma$ est utilisé.

d) Usage maximum

Cette stratégie trouve un canal qui est utilisé le plus souvent à une distance $\gamma \times R(D)$ 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 la quantité:

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

est minimisée. L_j est la distance entre la cellule demandant un canal et la cellule utilisant le même canal dans l'intervalle $[\gamma, 2\gamma]$ est choisi, 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 dis-

ponible dans le système hybride étudié.

2.3 Objectif du projet

Le but de ce projet est d'étudier la performance des systèmes cellulaires de communication mobile utilisant le système hybride d'attribution des canaux et la discipline Erlang-C. On aimerait aussi comparer le système hybride avec le système fixe et dynamique, sous différentes valeurs de trafic offert, en considérant les critères de performance suivants: la probabilité que tous les canaux soient occupés, le temps qu'un appel doit attendre dans la queue du système avant d'obtenir le service et le nombre moyen d'appels bloqués qui attendent dans la queue.

La complexité d'un système dynamique rend l'analyse théorique impossible, pour ce faire, on a décidé d'étudier la performance du système cellulaire avec la simulation par ordinateur. On a développé un modèle du système utilisant le langage de simulation GPSS/360, version 01, niveau 03, [3, 5, 16, 24]. Les critères de performance du système, ont été obtenus de l'analyse des statistiques provenant des diverses simulations.

2.4 Description du système simulé

2.4.1 Développement du modèle de simulation

Le système simulé est exposé dans la figure 2.1. Un système de quarante cellules a été choisi, à cause de la limitation due au langage GPSS/360 [15, 16].

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

- a) Toutes les cellules ont une grandeur et une structure uniforme.
- b) Le trafic offert est uniformément distribué sur le système en entier.
- c) Les appels sont faits d'après la loi de Poisson avec un nombre d'appels moyen de λ appels/heure.
- d) La durée des appels est distribuée exponentiellement avec une moyenne de 120 sec.
- e) La distance minimum de réutilisation est égale à 3 fois le rayon d'une cellule.
- f) Les appels bloqués peuvent rester dans le système et attendent qu'un canal se libère.

Ensembles de voies nominales

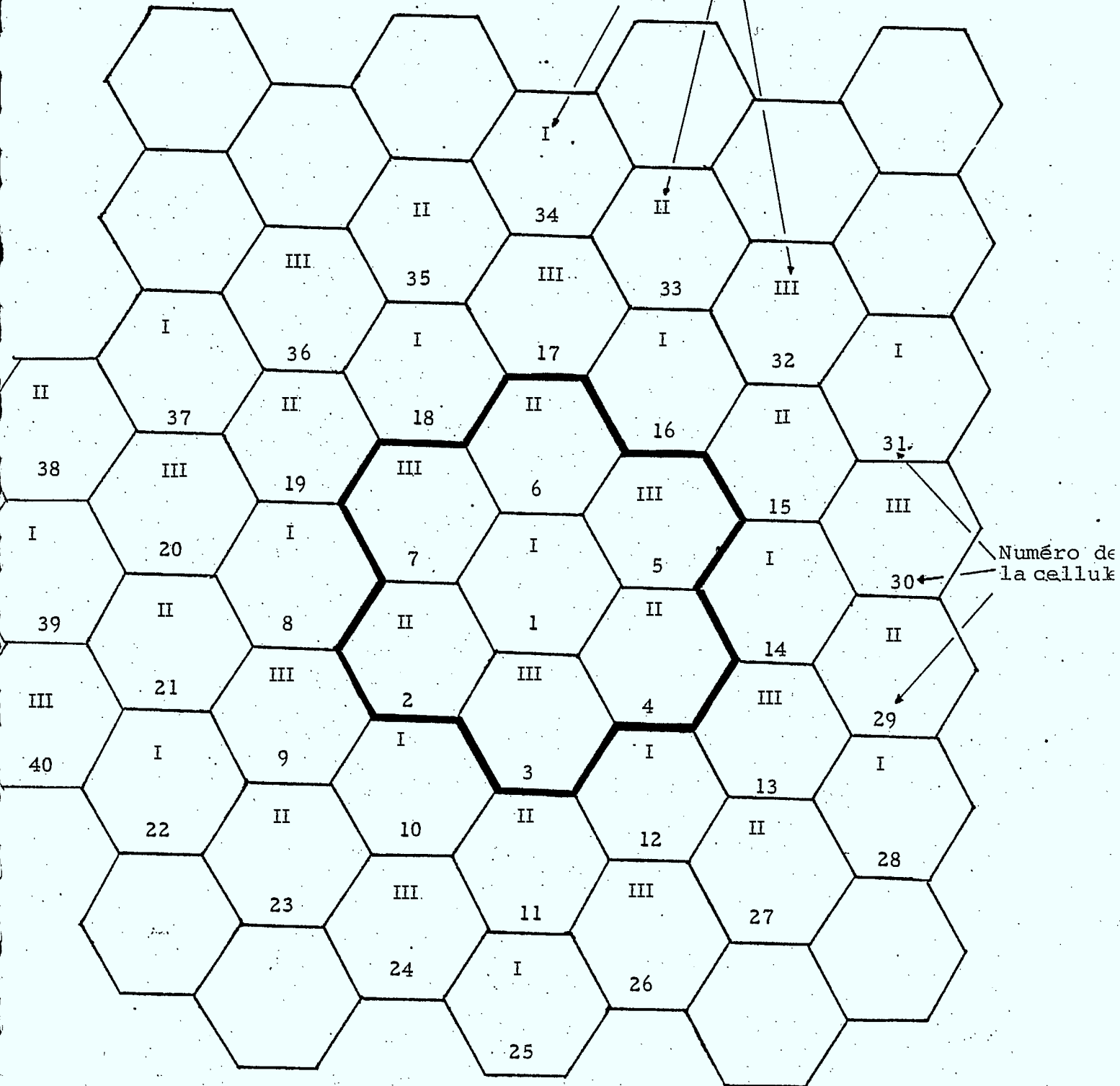


Fig. 2.1 Le système radio mobile structuré en cellules qui a été simulé

- g) 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 2.1, est égal à trois, tandis que le nombre (I) 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 le taux d'arrivée moyen des appels λ et le rapport des division des canaux f/d .

De manière à étudier la performance du système, un nombre infini de cellules devrait être utilisé. La raison pour ceci 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 dynamique que les appels provenant des cellules centrales. Ceci

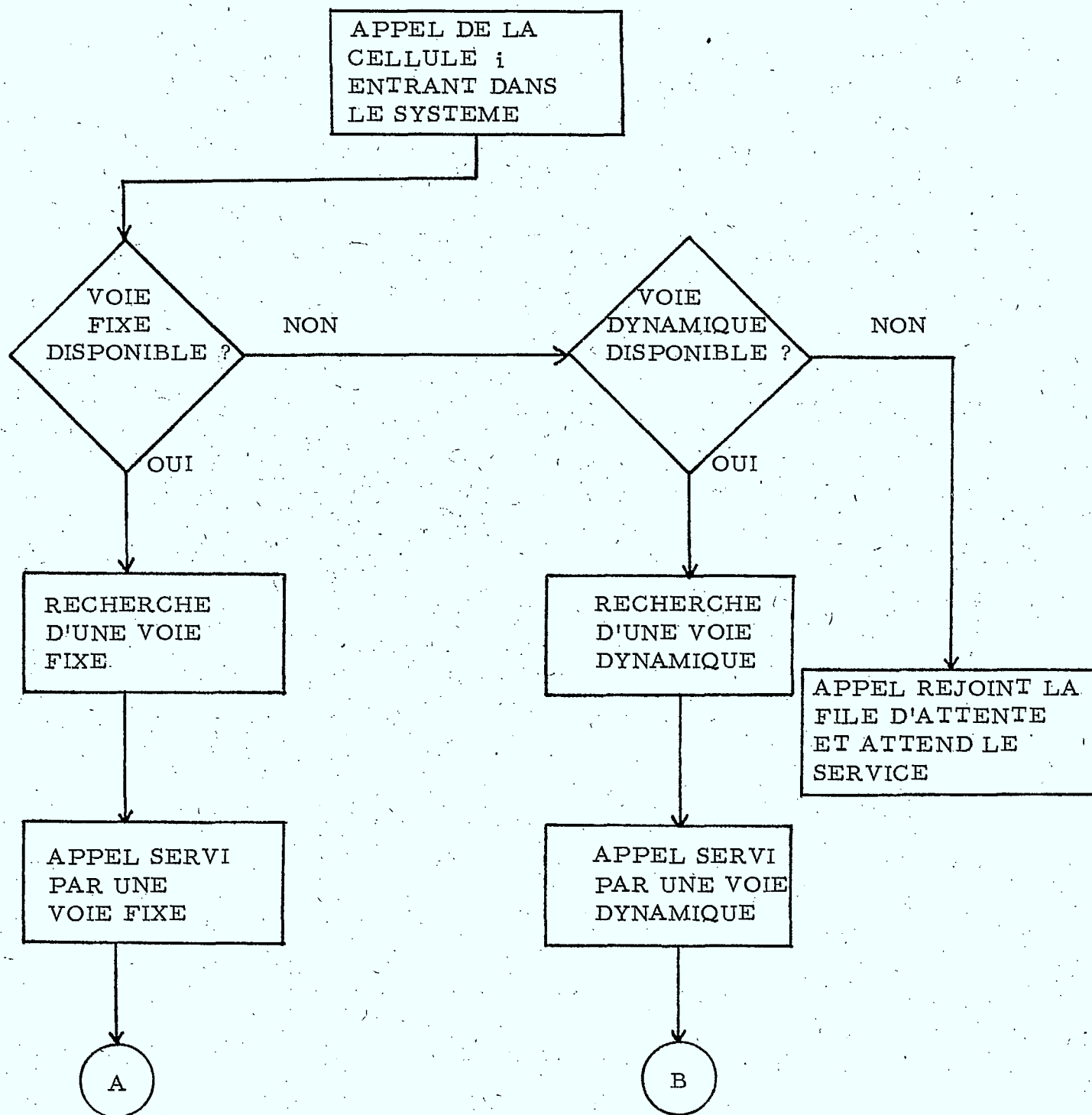
amènerait une augmentation de la probabilité que tous les canaux soient utilisés dans les cellules centrales. A cause de cet effet, on a décidé de rassembler les statistiques provenant des 20 cellules centrales, pour obtenir un système infini d'après le système fini de 40 cellules.

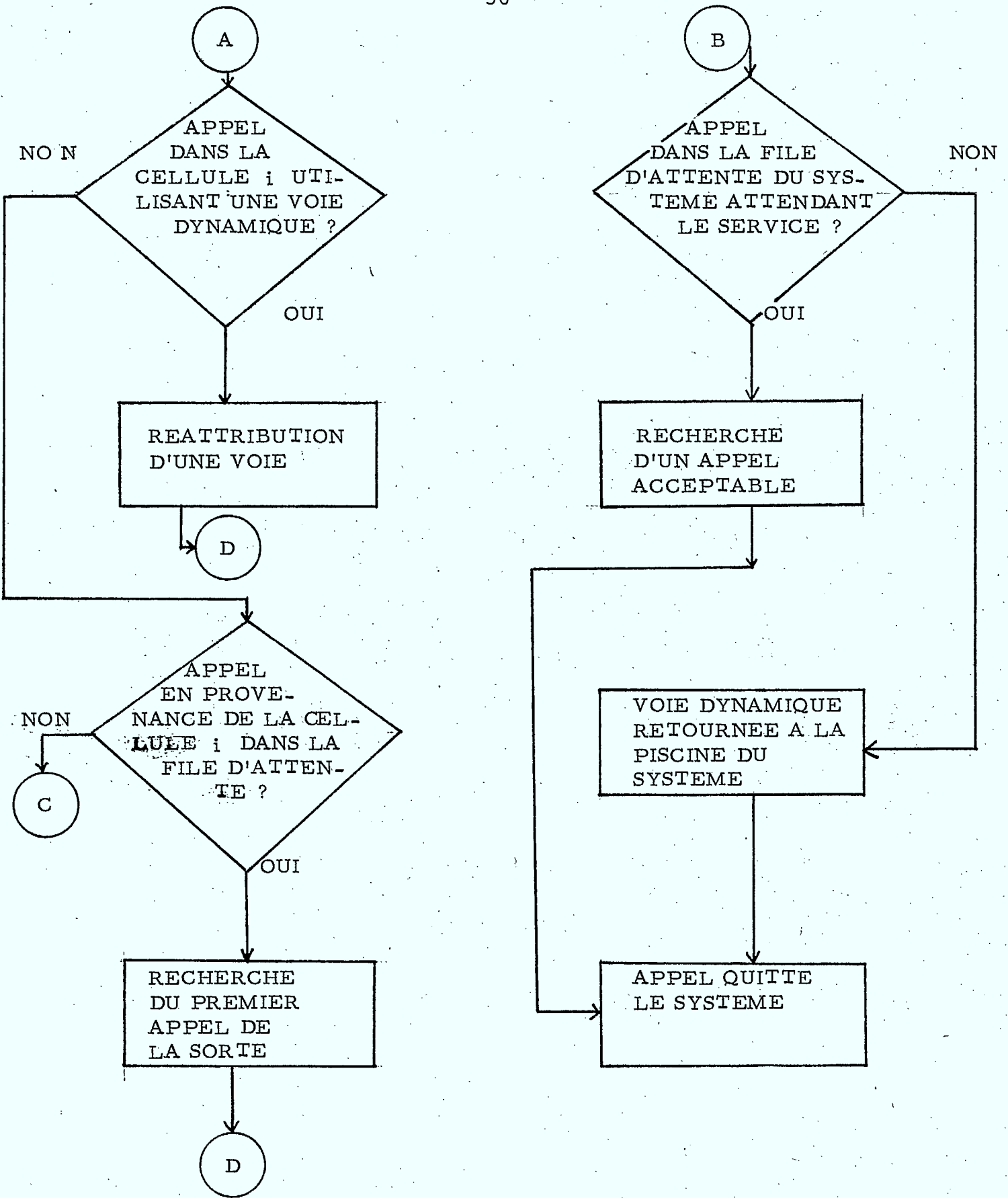
2.4.2 Diagramme de simulation

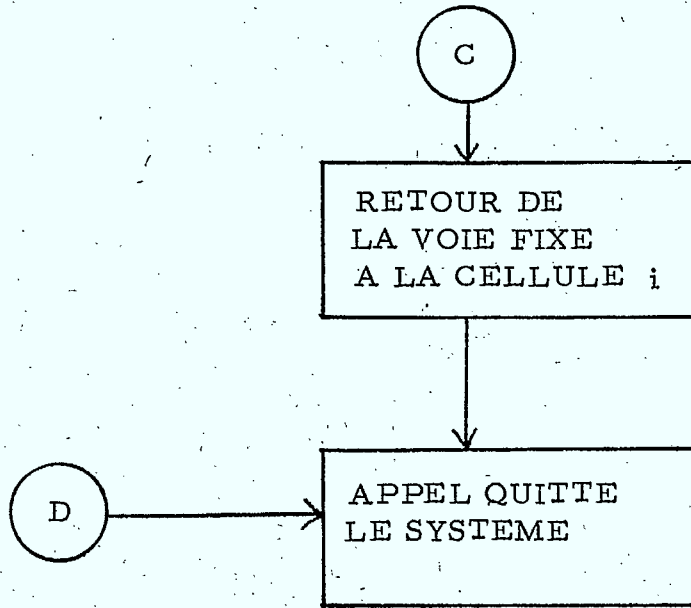
Le modèle de simulation peut être expliqué le plus facilement en utilisant le diagramme représenté dans la figure 2.2.

Un appel (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 ce 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

Fig. 2-2. DIAGRAMME D'OPERATION POUR L'ATTRIBUTION HYBRIDE
DES VOIES AVEC UN SERVICE ERLANG-C.







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, il se placera à la queue du système, d'une façon FIFO (premier arrivé, premier servi; "first in, first out"), en attendant qu'un canal se libère.

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, au lieu de retourner dans l'ensemble fondamental pour être réattribué, servira un appel qui se trouve dans la queue du système.

S'il n'y a aucun appel utilisant un canal dynamique dans la cellule i , l'appel X vérifiera s'il y a des appels provenant de la même cellule qui attendent dans la queue pour le service. Si oui, il donnera le canal fixe au premier appel en ligne, avant de sortir du système. Autrement, l'appel X retournera le canal fixe à la cellule i pour la prochaine réattribution.

Le canal dynamique après complétion du service de l'appel X sera disposé de la façon suivante. Avant de retourner le canal dynamique au système, l'appel X examine premièrement le statut de la queue du système. Si la queue n'est pas vide, l'appel X libèrera premièrement le canal dynamique pour servir un des appels dans la queue et ensuite sortira du système. Par contre, si la queue est vide, l'appel X retournera le canal dynamique dans l'ensemble des canaux pour la prochaine attribution avant de quitter le système.

A ce point, on se sent obligé d'élaborer sur la stratégie employée lors de l'attribution d'un canal, qui vient d'être libéré, pour servir un appel. Si le canal qui vient d'être libéré est de nature fixe et est utilisé dans la cellule i seulement, alors il sera

attribué au premier appel dans la queue qui provient de la cellule i , puisque les appels bloqués sont servis d'une façon FIFO. Maintenant, supposons que le canal qui vient d'être libéré n'est pas fixe mais dynamique, l'analyse devient un peu plus compliquée. On se souvient qu'un canal dynamique peut être emprunté temporairement par n'importe quelle cellule, si, et seulement si, les critères d'interférence entre les canaux sont satisfaits au moment de l'utilisation. Le premier appel dans la queue du système ne sera pas servir par le canal dynamique si le même canal est utilisé dans une cellule du groupe d'interférence, même si cet appel est arrivé avant les autres. A cause de ceci, les appels bloqués seront vérifiés en commençant par le premier dans la queue. Le premier appel trouvé, lors de cette vérification, qui satisferait les critères d'interférence, sera servi immédiatement par ce canal. Même si les appels bloqués, sont emmagasinés d'une façon FIFO, ils ne sont pas assurés d'obtenir le service en premier, à cause des critères d'interférence. Par contre, le service FIFO est définitivement donné à l'appel bloqué qui provient de la même cellule, sans tenir compte de la nature du canal (fixe ou dynamique).

2.5 Résultats de la simulation

2.5.1 Configuration du système simulé

Le système cellulaire exposé dans la figure 2.1 a été simulé. La simulation a été réalisée sur l'I.B.M./360 et a été partie sans aucun appel dans le système. Le système simulé a pris environ 20 min. avant d'atteindre un état stable. Les statistiques furent récoltées après chaque simulation.

TABLE 2.1

Configuration des systèmes étudiés

Nombre moyen de canaux par cellule avec trafic uni-forme et système fixe	division des canaux fixe: dynamique	trafic offert en Erlang, utilisé dans le système
10	10:0 8:2 5:5	*5,6,7,8,9,10
18	16:2 14:4 12:6	*11,12,13,14,15
28	26:2 24:4 12:6	*20,22,23,24,27
35	33:2 31:4 25:10	*26,28,30,32,34

* charge de base

2.5.2 Probabilité que tous les canaux soient occupés

Dans la figure 2.3 à 2.6, l'axe des Y représente le pourcentage moyen de nouveaux appels qui doivent attendre en queue avant d'obtenir le service, parce que tous les canaux sont occupés. Ce pourcentage est calculé d'après les statistiques d'une cellule, simplement en prenant le rapport du nombre d'appels qui doivent attendre en queue sur le nombre total d'appels institués dans cette cellule pour un temps donné. Comme mentionné auparavant dans la section 2.4.1, ces rapports sont pris seulement des 20 cellules centrales et la moyenne est ensuite prise pour obtenir le pourcentage moyen d'appels qui doivent attendre en ligne. Aussi dans ces figures, l'axe X représente le pourcentage d'augmentation de la charge par rapport à la charge de base pour la qualité de service désiré. La qualité de service dans cette simulation est directement reliée à la probabilité que tous les canaux soient occupés. Le pourcentage d'augmentation de la charge a été calculé de la façon suivante. On a premièrement trouvé de la formule Erlang-C [20], 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, dans le cas où nous avons 10 canaux fixes, avec une durée d'appel moyenne de 120 sec, la charge de base correspondant à une probabilité que tous les canaux soient occupés de 0.036 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 10 canaux fixes, en moyenne, par cellule, le système fixe (i.e. division des canaux 10:0) a été simulé pour vérifier le fonctionnement du programme. Les résultats obtenus ont été tracés avec les valeurs théoriques obtenues de la formule Erlang-C, comme indiqué dans la figure 2.3. La faible erreur entre ces deux ensembles de valeur montre que le programme fonctionnait comme désiré. Cette figure montre que pour des augmentations de charge d'à peu près 16% au-dessus de la charge de base, le système 5:5 donne la plus petite probabilité que tous les canaux soient occupés, et la division des canaux de 8:2 est plus efficace pour des augmentations entre 16% et 50% au-dessus de la charge de base. Par contre, après une augmentation dans le

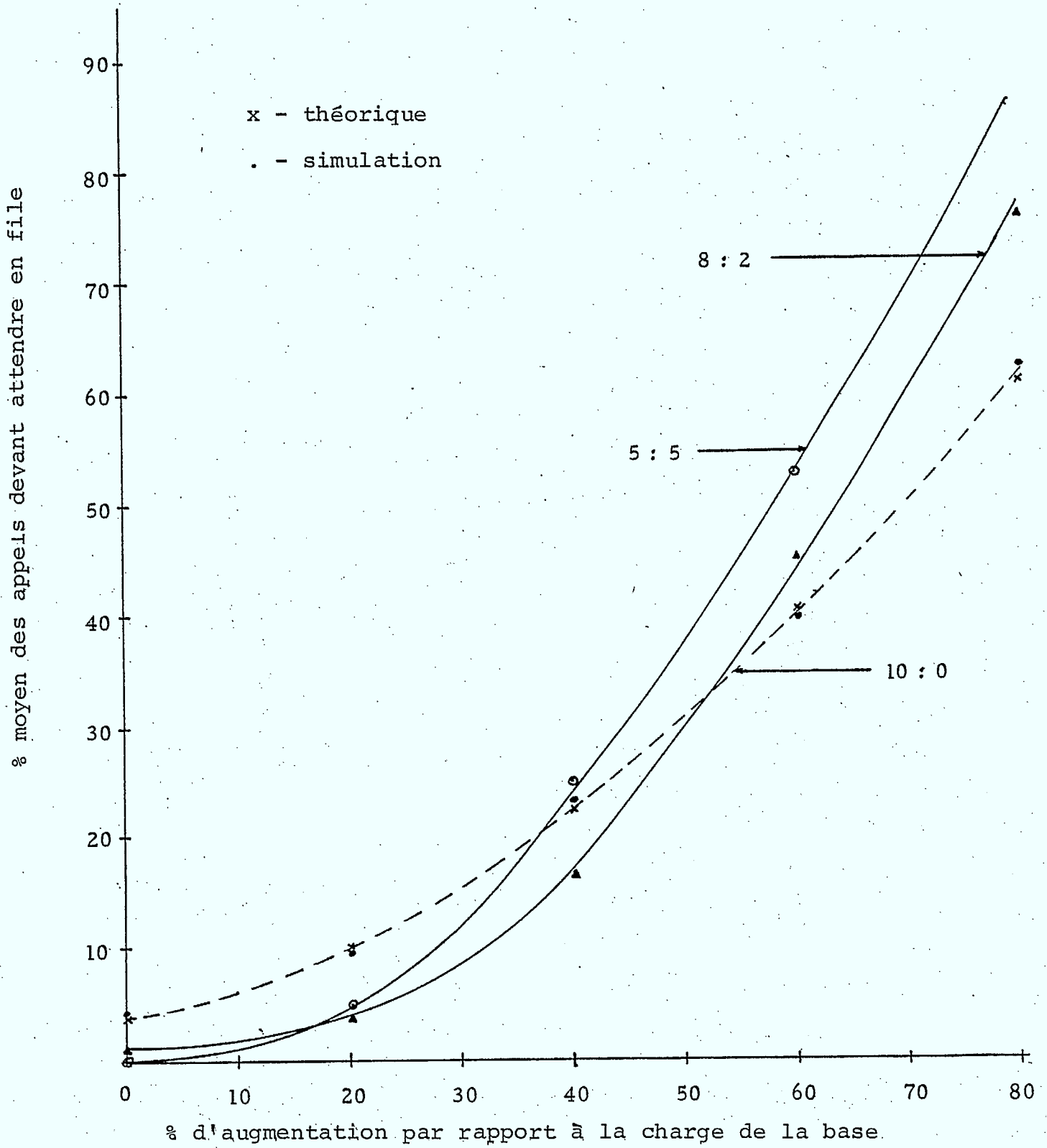


Figure 2-3 % moyen des appels devant attendre en file pour un système avec initialement 10 voies fixes par cellule

% moyen des appels devant attendre en file

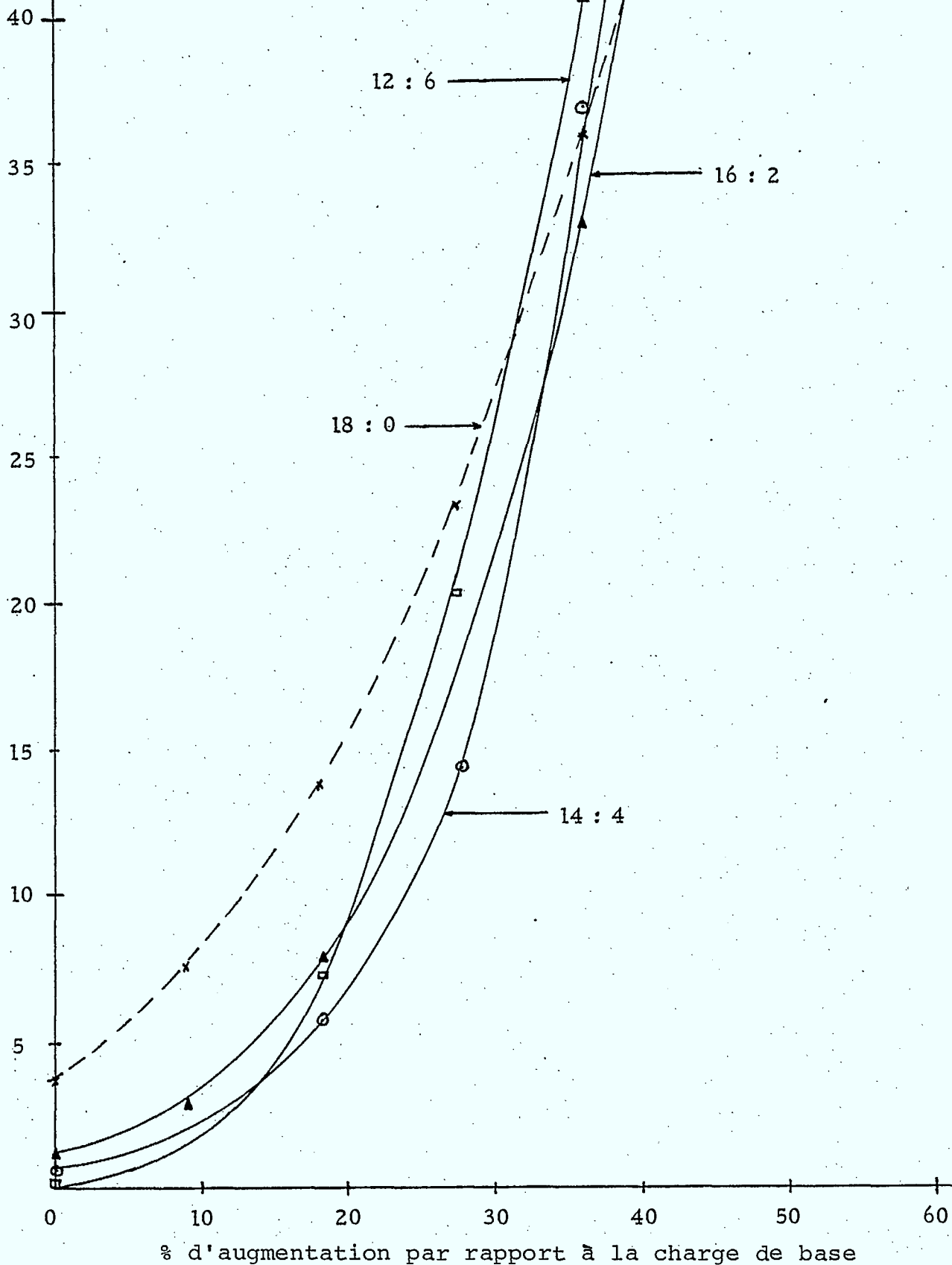


Figure 2-4 % moyen des appels devant attendre en file pour un système avec initialement 18 voies fixes par cellule

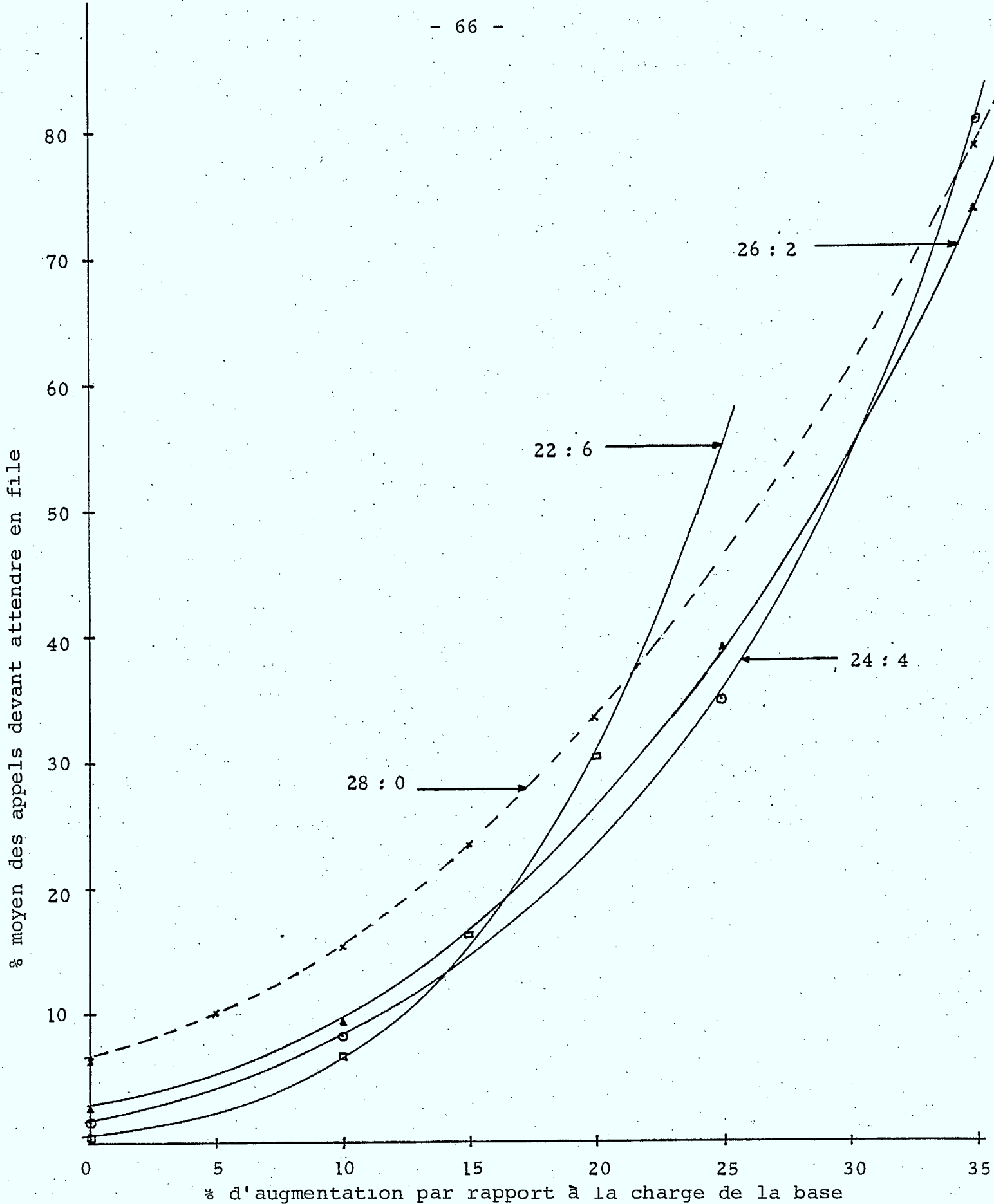


Figure 2-5 % moyen des appels devant attendre en file pour un système avec initialement 28 voies fixes par cellule.

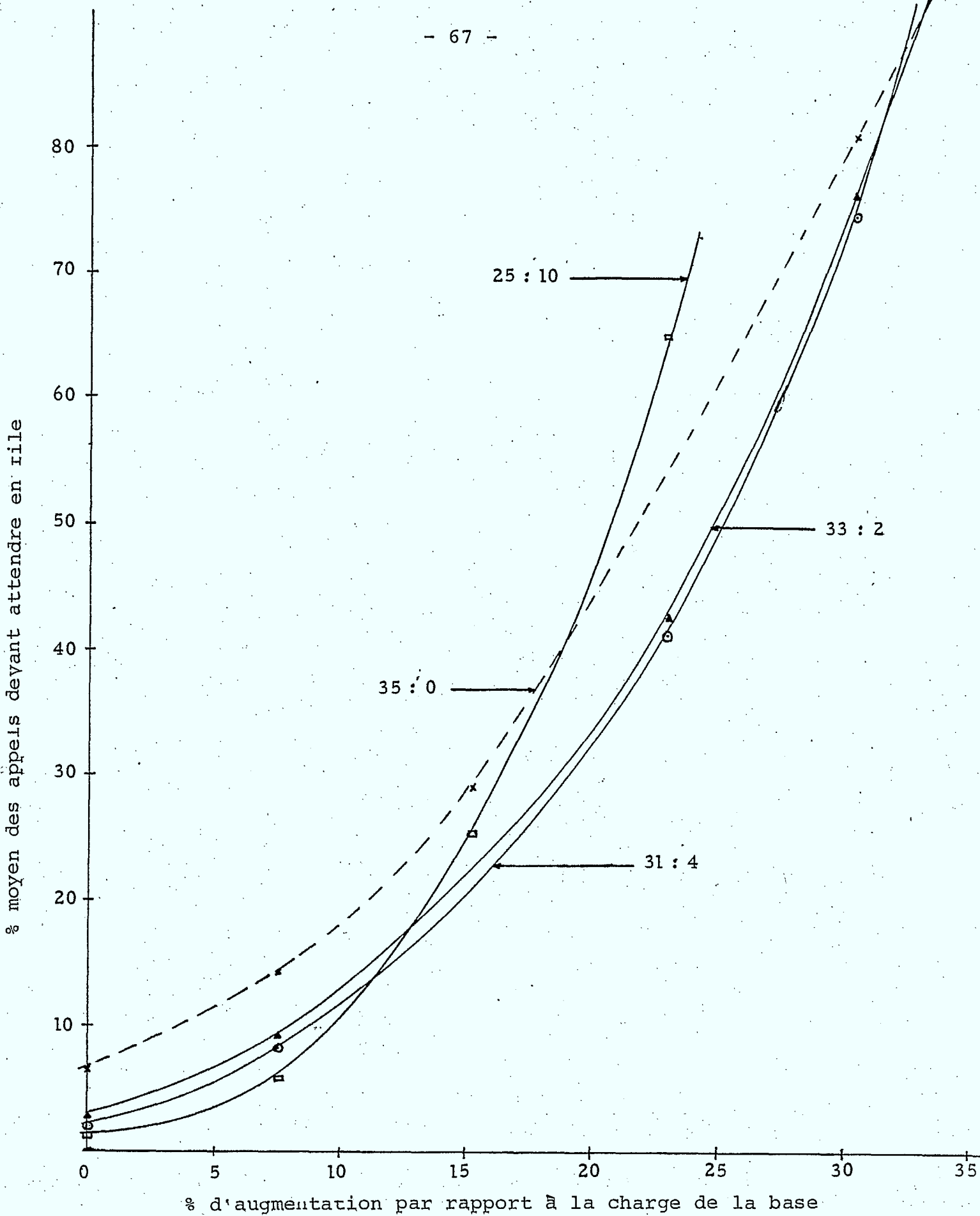


Figure 2-6 % moyen des appels devant attendre en file pour un système avec initialement 35 voies fixes par cellule

trafic de 50%, le système avec seulement 10 canaux fixes a la plus petite probabilité.

De la figure 2.4, on trouve que pour des augmentations au-dessous de 15%, la division des canaux de 12:6 donne la plus petite probabilité. En augmentant la charge de 15% à environ 34% au-dessus de la charge de base, le système 14:4 donne le meilleur résultat. Pour une augmentation entre 34% et 39%, la division des canaux 16:2 est la meilleure. Encore une fois, pour une augmentation de plus de 40% de la charge de base, le système fixe surpasse tous les autres.

La performance des différentes divisions de canaux utilisés, avec en moyenne 28 canaux fixes par cellule est présentée dans la figure 2.5. Cette figure montre que pour une augmentation d'à peu près 13% au-dessus de la charge de base, le système 20:8 a le moins d'appels qui doivent attendre en queue, tandis que le système ayant en moyenne 24 canaux fixes et 4 canaux dynamiques par cellule donne le meilleur résultat pour des augmentations de charge de 13% à 32%.

Quand l'augmentation de la charge est entre 32% et 38%, la division 26:2 performe le mieux. Après

38% d'augmentation, le système fixe remonte sa supériorité envers les autres.

De la figure 2.6, on observe encore une fois qu'à de faible trafic 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 entre 12% et 31%. Et le système 33:2 prend le dessus dans l'intervalle 31% à 33%. Après une augmentation de 33% le système fixe a le moins d'appels qui attendent en queue.

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 15% de la charge de base. Pour une augmentation de trafic de 15% à 30% au-dessus de la charge de base, les systèmes utilisant à peu près 10% à 30% de leurs canaux

fixes comme dynamique, 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 30% à 40% au-dessus de la charge de base. Après une augmentation de 40%, les systèmes fixes surpassent les systèmes hybrides et dynamiques.

Le comportement général du système hybride avec la discipline Erlang-C, comme anticipée, est un mélange des performances du système fixe et dynamique trouvé d'après des recherches antérieures [5, 6, 9]. Le système hybride se comporte, à de bas trafic, comme un système dynamique utilisé à un faible trafic offert, parce que la charge est distribuée entre les canaux fixes et dynamiques. Par contre, pour un trafic offert élevé, les systèmes avec plusieurs canaux dynamiques forcent plusieurs appels à entrer dans la queue. Ceci, par contre, est la caractéristique du système dynamique. Pour les systèmes utilisant seulement des canaux fixes, il y a moins d'appels qui entrent dans la queue, si le trafic offert est élevé à cause de la réutilisation maximale des canaux.

2.5.3 Temps moyen d'attente dans la queue

Ici nous définissons le temps moyen d'attente comme le temps moyen qu'un appel, en trouvant tous les canaux occupés au moment de l'initiation, passe dans la queue du système avant de recevoir le service par un canal vacant. Nous sommes capables de travailler avec le temps moyen d'attente pour le système complet, car dans le modèle de simulation on est parti du fait que le trafic offert était uniforme pour tout le système. Donc, nous sommes capables d'établir la moyenne du temps moyen d'attente par cellule, sur les 20 cellules centrales pour les raisons mentionnées dans la section 2.4.1. Par contre, si le trafic offert n'est pas uniforme, alors nous pourrions parler seulement du temps moyen d'attente pour chaque cellule individuelle.

Les temps moyens d'attente dans la queue obtenus pour les différentes configurations simulées ont été tracés en fonction du pourcentage d'augmentation de la charge de base. Ces courbes sont représentées de la Figure 2.7 à 2.10.

Dans la Figure 2.7 on voit que la division des canaux 5:5 a le plus petit temps d'attente moyen pour des augmentations de la charge jusqu'à 10%.

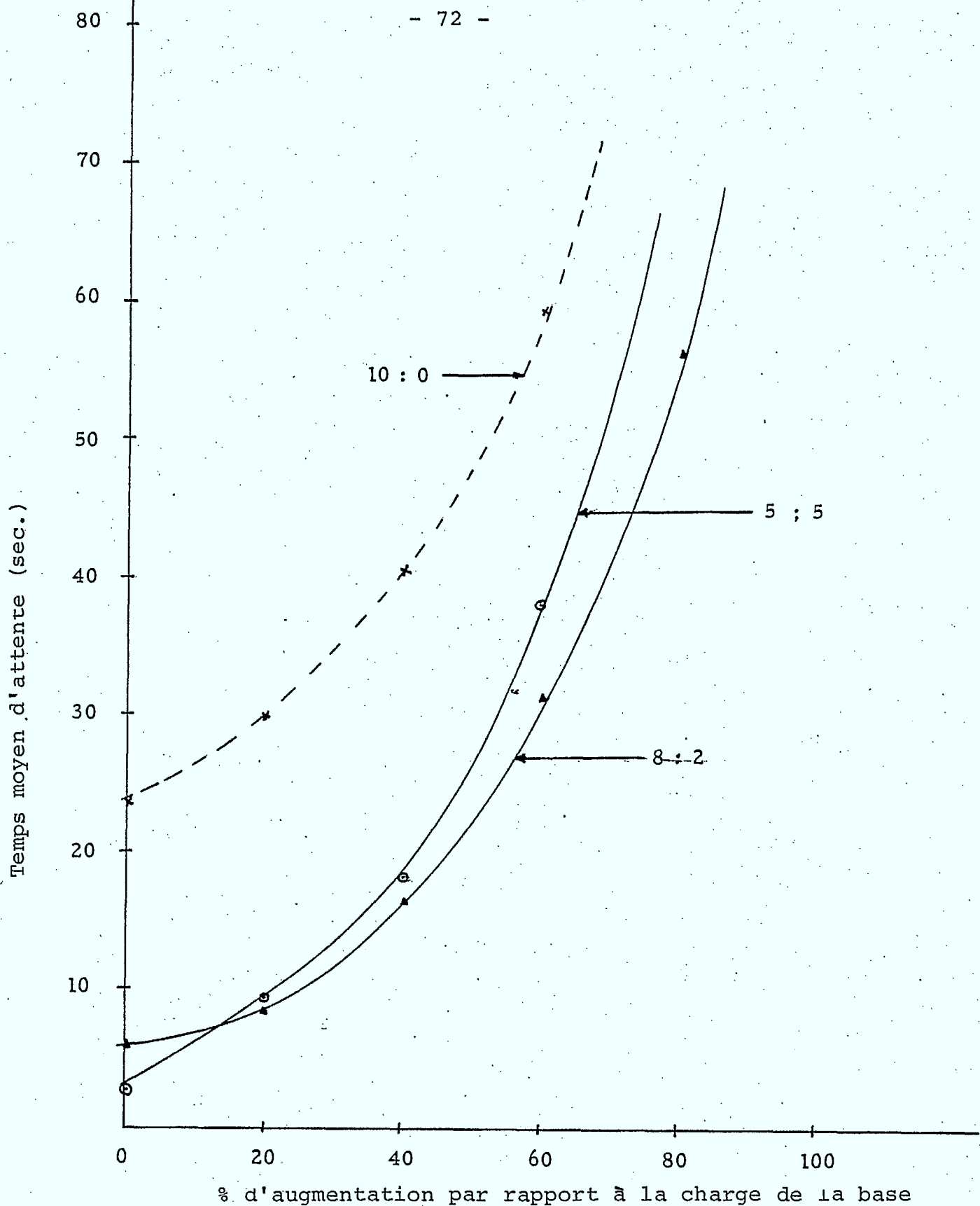


Figure 2-7 Temps d'attente moyen pour un système avec initialement 10 voies fixes par cellule

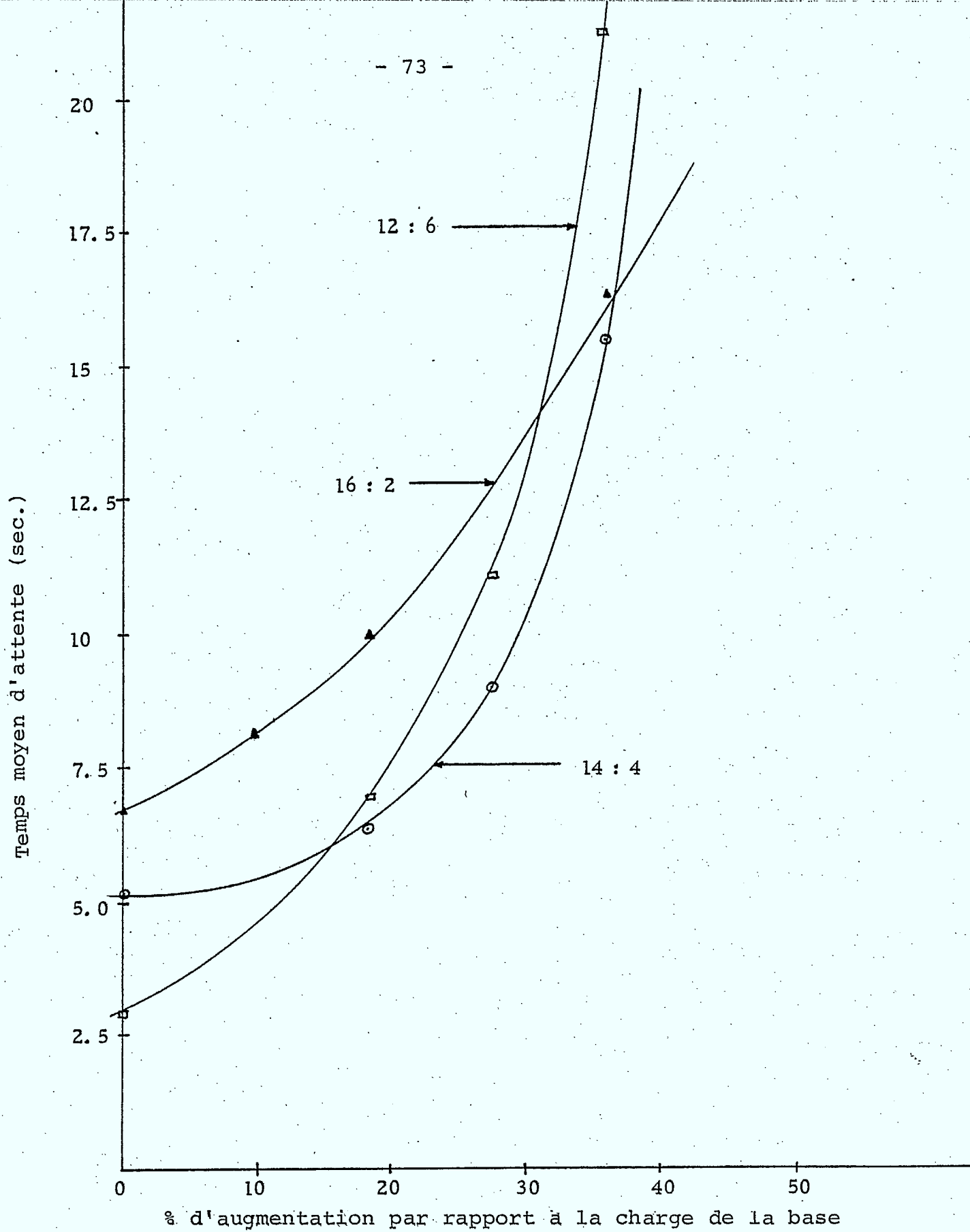


Figure 2-8 Temps d'attente moyen pour un système avec initialement 18 voies fixes par cellule

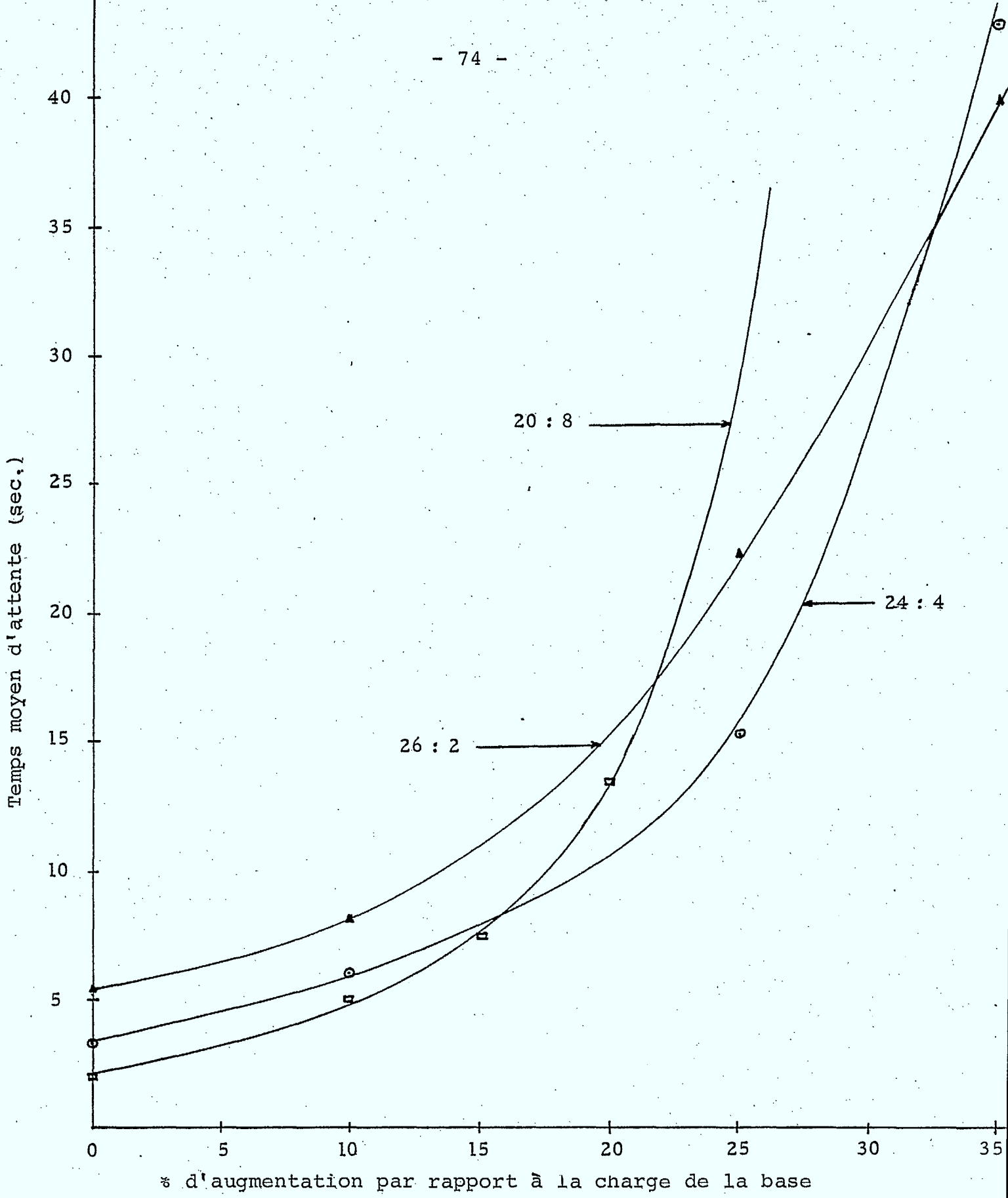


Figure 2-9 Temps d'attente moyen pour un système avec initialement 28 voies fixes par cellule

Temps moyen d'attente (sec.)

20
17.5
15
12.5
10
7.5
5
2.5

0 5 10 15 20 25 30 35
% d'augmentation par rapport a la charge de la base

25 : 10

31 : 4

33 : 2

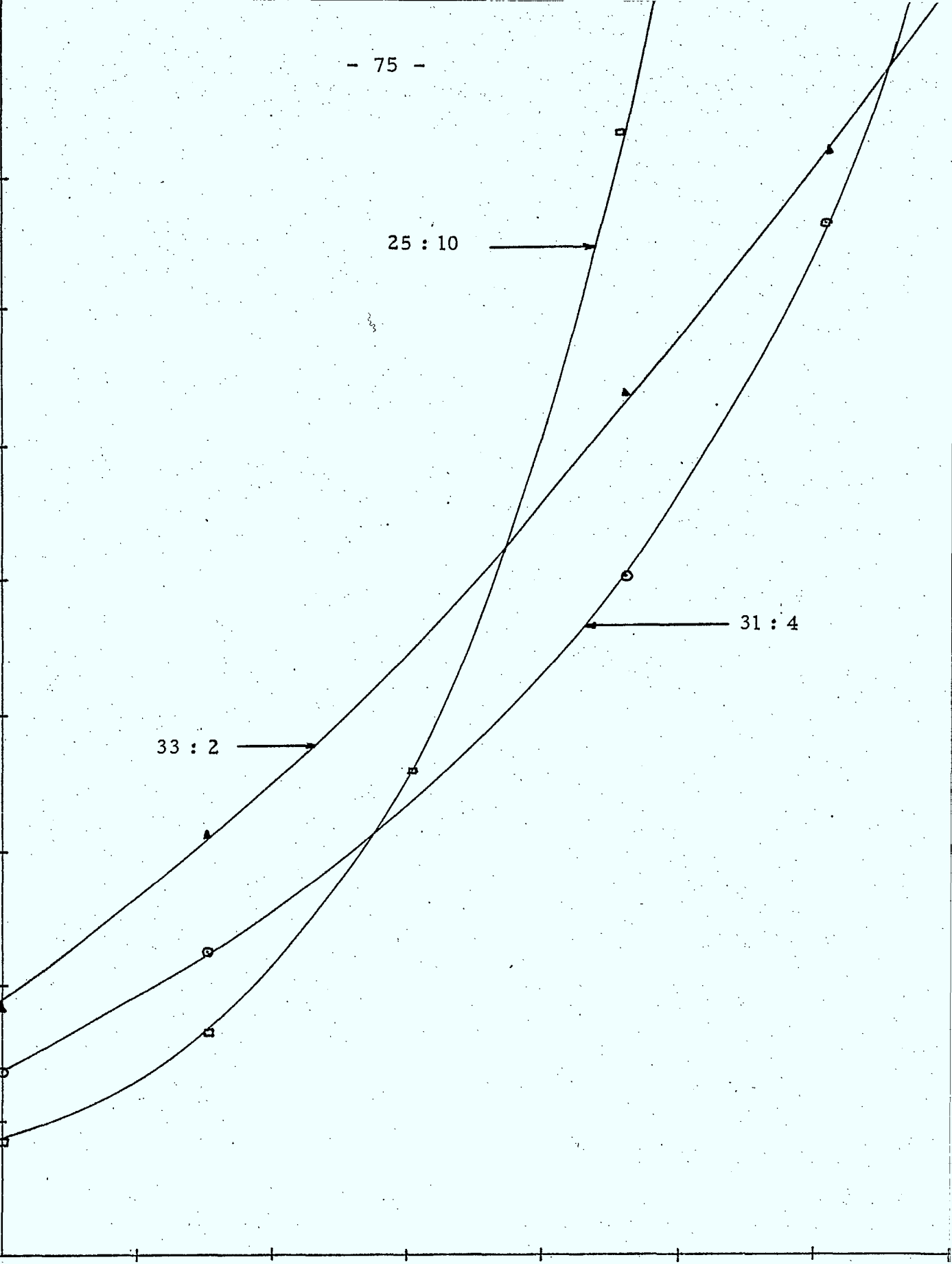


Figure 2-10 Temps d'attente moyen pour un système avec initialement 35 voies fixes par cellule

Lorsque la charge augmente après 16% au-dessus de la charge de base, la division des canaux 8:2 performe le mieux. Les résultats suivants sont très surprenants, le système fixe est inférieur au système hybride, pour tous les pourcentages d'augmentation du trafic offert. Ce résultat inusité peut être expliqué de la façon suivante. Puisque dans le système fixe les canaux sont attribués en permanence dans chaque cellule et sont utilisés seulement là, alors les appels qui entrent dans le système devraient être servis par ce petit nombre de canaux disponibles. Cette situation est semblable au cas consistant de M queues, chaque une ayant un seul commis, en parallèle. Ces deux cas assurent des arrivées suivant la loi de Poisson, un temps de service exponentiel avec chaque commis (canal) ayant une distribution du temps de service égale et chaque client (appel) ayant son commis préféré. Par contre, dans le système hybride, chaque cellule facilite la formation hybride d'une queue avec plusieurs commis, soit N_d serveurs où les clients (appels) n'ont pas de commis prédéterminés, et f queues, chaque une ayant un seul commis, en parallèle. C'est-à-dire, quelques appels sont servis par leurs canaux préférés, tandis que quelques autres doivent être servis par le premier canal dynamique éligible qui est

libre. La théorie derrière les queues montre que le temps total d'attente dans une queue pour un groupe de clients (appel) servis par des commis prédéterminés est plus grand que si les clients avaient la possibilité de choisir le premier commis qui est libre [20]. Ceci explique le phénomène observé, que le temps moyen d'attente dans le système fixe est, en tout temps, plus grand que celui dans le système hybride.

La figure 2.8 montre que le système ayant en moyenne 12 canaux fixes et 6 canaux dynamiques par cellule surpasse les autres divisions de canaux pour des augmentations de la charge jusqu'à 13% au-dessus de la charge de base. En augmentant le trafic de 13% à 36% au-dessus de la charge de base, la division 14:4 donne le temps d'attente le plus petit. Au-dessus de 36% d'augmentation, le système avec le moins de canaux fixes est encore supérieur.

Le temps moyen d'attente pour les deux systèmes, soit 28 et 35 canaux fixes par cellule, suit le même patron. Pour des augmentations de charge jusqu'à 15% au-dessus de la charge de base, les systèmes ayant le plus de canaux dynamiques donnent le temps d'attente le plus petit, tandis que ceux avec un nombre moyen de

canaux dynamiques dominant lorsque la charge augmente de 15% à 33% au-dessus de la charge de base. Au-dessus de 33% les systèmes ayant le moins de canaux dynamiques sont les plus efficaces.

Cette tendance observée dans le comportement du temps moyen d'attente suit celle observée pour le pourcentage moyen d'appels qui entrent dans la queue. Tant que le pourcentage moyen des appels qui doivent entrer dans la queue pour attendre le service, augmente, le temps moyen qu'un appel passe dans la queue augmente en conséquence. De plus, puisqu'il y a plus d'appels qui attendent dans la queue, le système prend plus de temps pour trouver un appel convenable pour le canal qui vient d'être libéré, surtout s'il est dynamique.

On a remarqué dans ces quatre graphes, que le temps moyen d'attente varie à peu près exponentiellement avec l'occupation des canaux. Comme le facteur d'utilisation des canaux approche l'unité, le temps moyen d'attente augmente très rapidement à une valeur énorme. Ce phénomène est une fois de plus attendu comme dans n'importe quelle situation nécessitant une queue.

2.5.4 Nombre moyen d'appels dans la queue

On peut, encore une fois, parler du nombre moyen d'appels qui attendent pour un canal, pour le système entier parce que le trafic offert a été supposé uniforme dans l'aire totale. La Figure 2.11 à 2.14 présente la variation du nombre moyen d'appels en attente dans la queue avec le pourcentage d'augmentation de la charge, au-dessus de la charge de base.

La figure 2.11 montre, qu'avec une augmentation de la charge jusqu'à 15% de la charge de base, le nombre moyen d'appels dans la queue est le plus petit pour des systèmes ayant un nombre égal de canaux fixes et dynamiques par cellule. Une fois que le trafic dépasse ce point, le système, ayant en moyenne, 8 canaux fixes et 2 canaux dynamiques par cellule apporte le plus petit nombre moyen d'appels dans la queue.

Cette tendance peut être obtenue des graphes 2.12 à 2.14. Les systèmes employant 30% des canaux fixes de façon dynamique donne le plus petit nombre moyen d'appels dans la queue pour une augmentation de la charge jusqu'à 15%, au-dessus de la charge de base. Lorsque le trafic offert est augmenté de 15% à 32%,

Nombre moyen. d'appels à la file d'attente

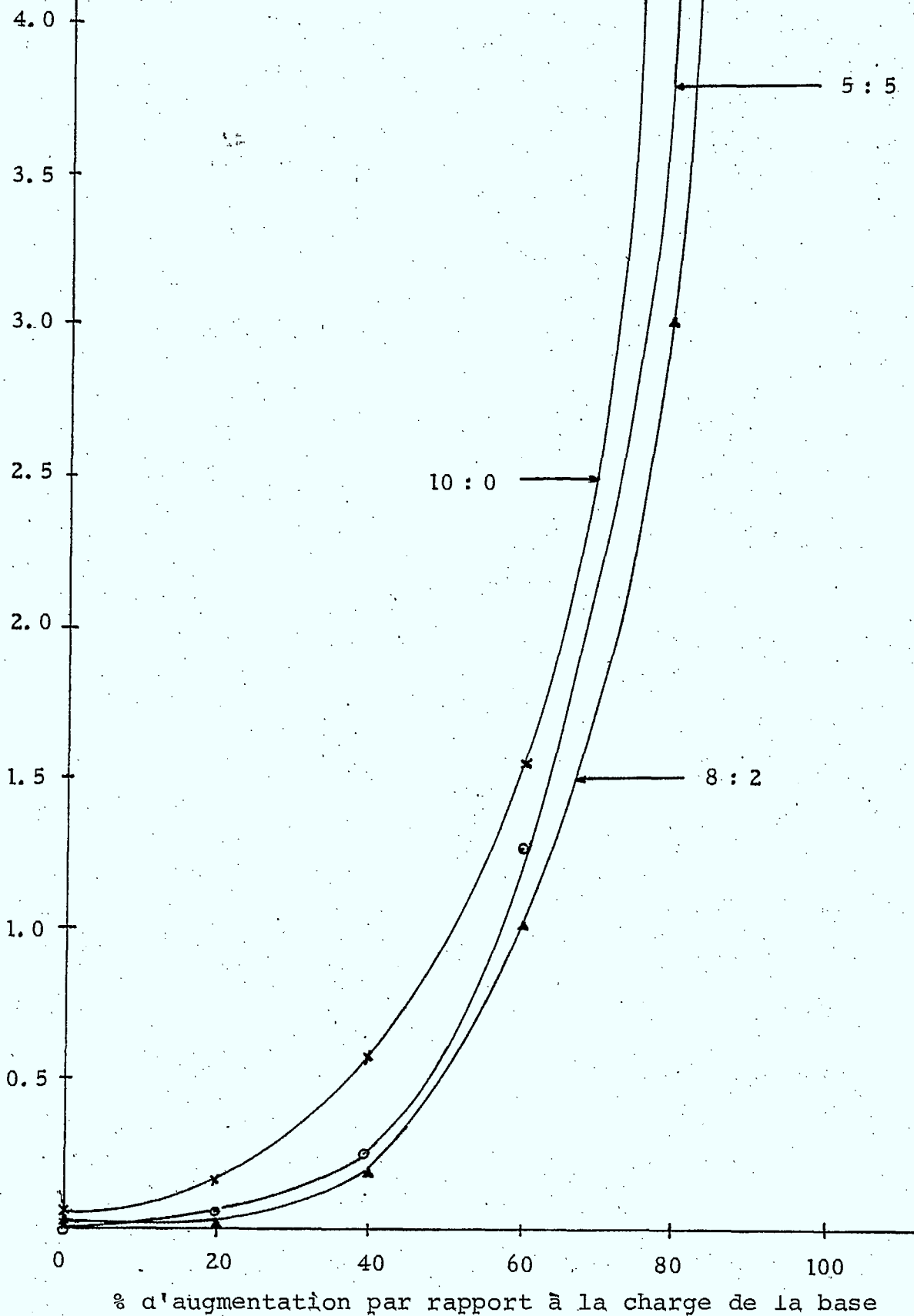


Figure 2-11. Moyenne au nombre d'appels dans la file d'attente pour un système avec initialement 10 voies par cellule

Nombre moyen d'appels a la file d'attente (10^{-1})

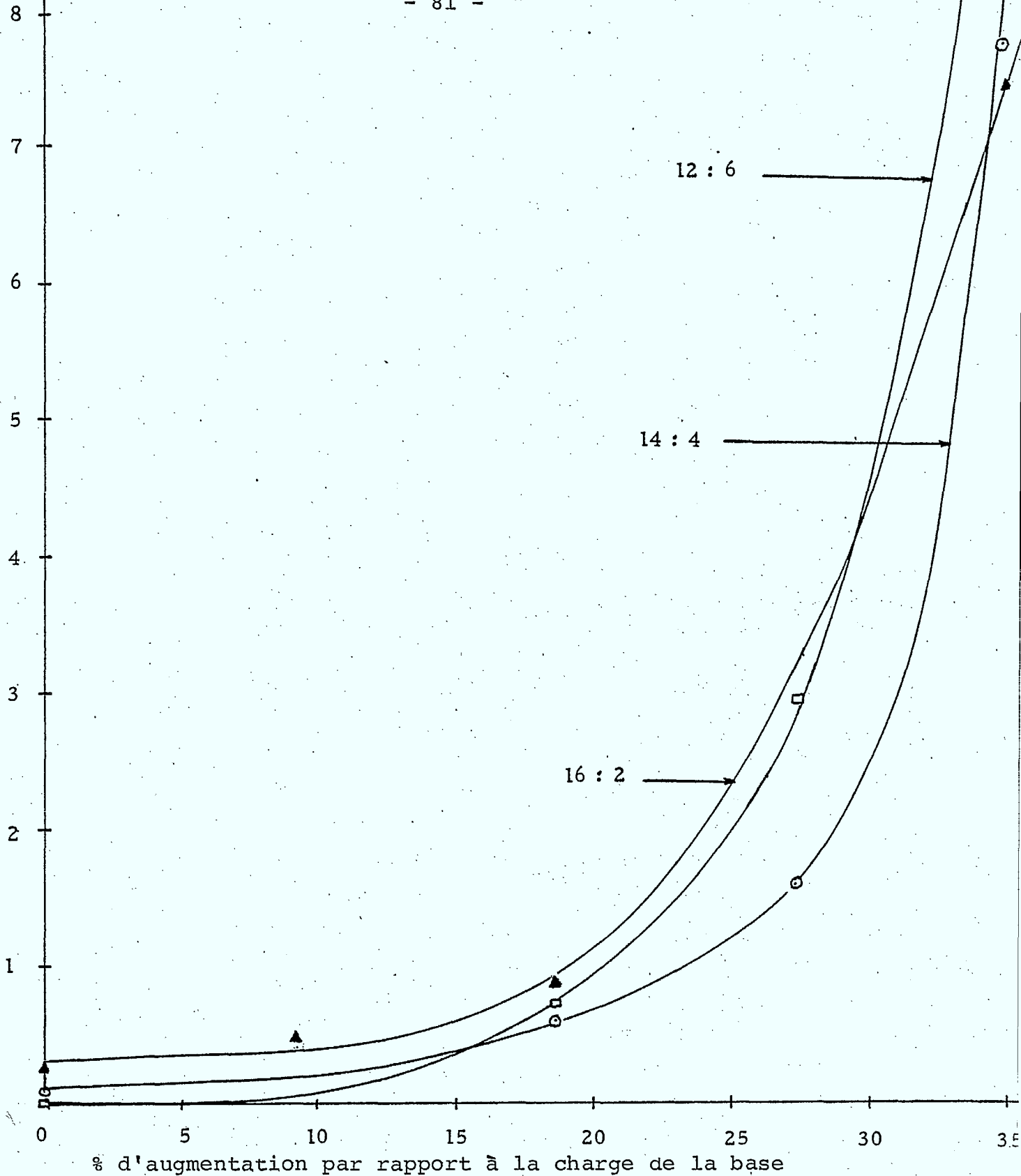


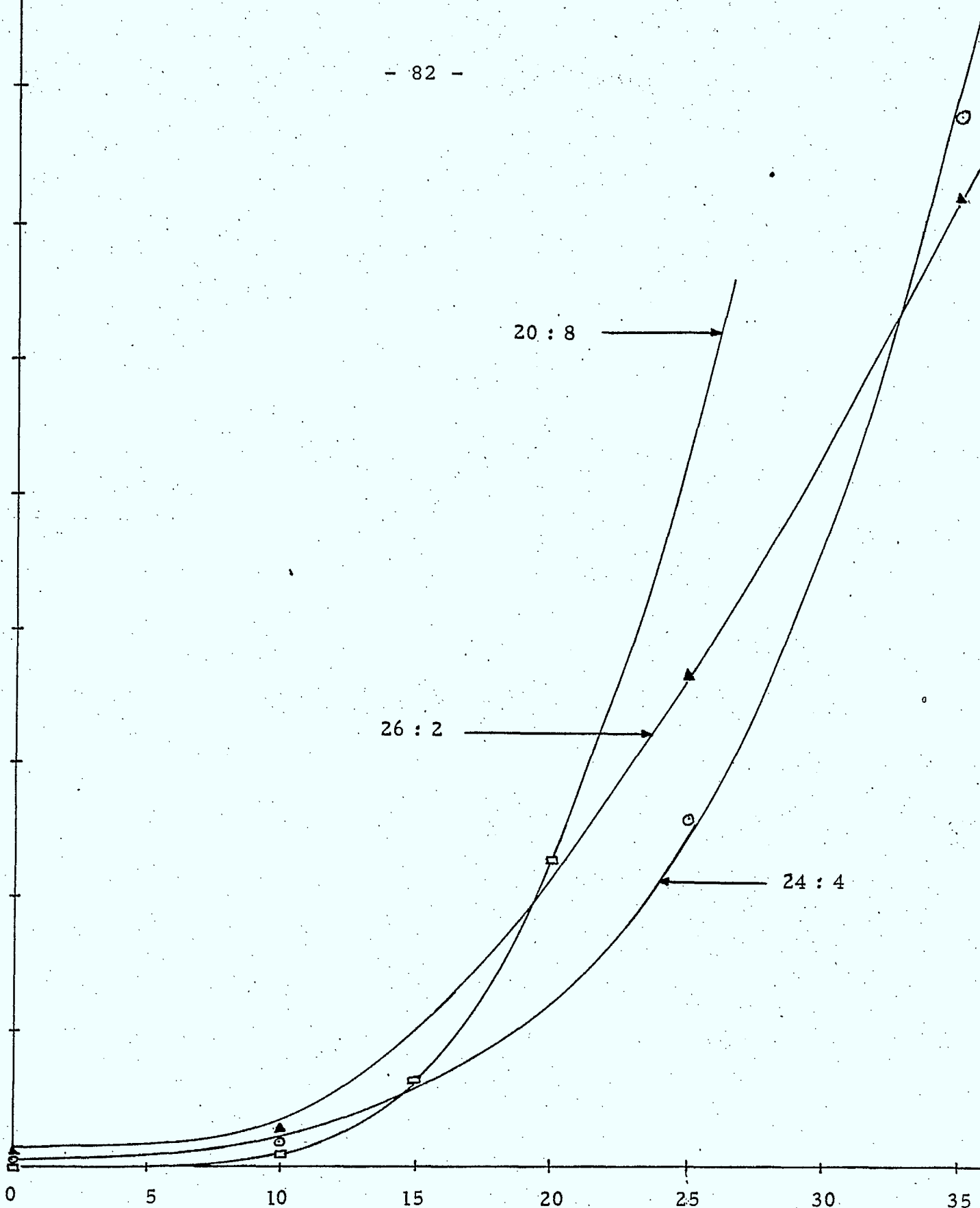
Figure 2-12 Moyenne du nombre d'appels dans la file d'attente pour un système avec initialement 18 voies fixes par cellule

Nombre moyen d'appels à la file d'attente

8
7
6
5
4
3
2
1
0

% d'augmentation par rapport à la charge de la base

Figure 2-13 Moyenne du nombre d'appels dans la file d'attente pour un système avec initialement 28 voies fixes par cellule



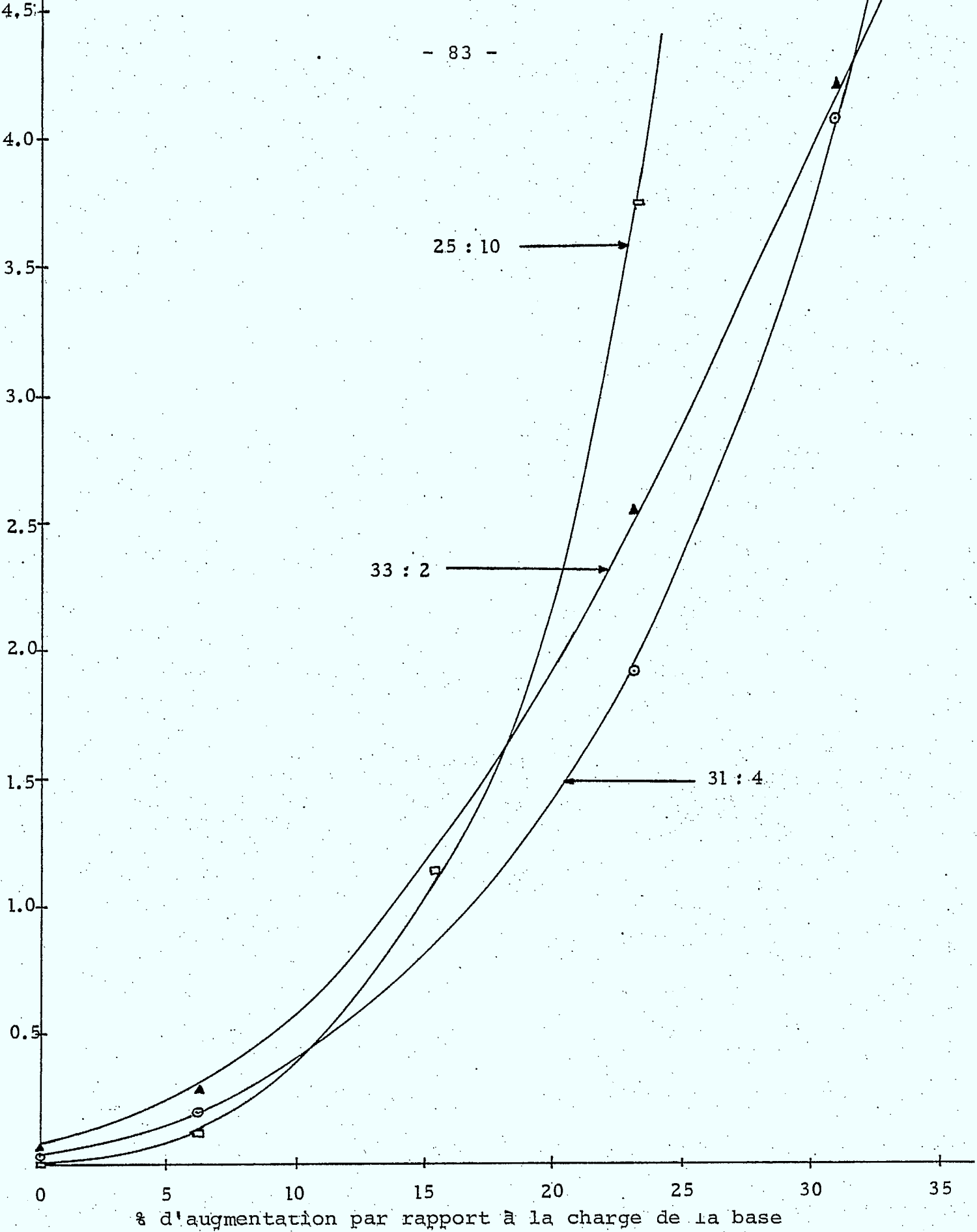


Figure 2-14 Moyenne du nombre d'appels dans la file d'attente pour un système avec initialement 35 voies fixes par cellule

le système comprenant 10% à 30% des canaux fixes comme dynamiques, a, en moyenne, moins d'appels en attente dans la queue. Entre 32% et 40%, approximativement, le système qui a moins de 10% de canaux dynamiques a le plus petit nombre moyen d'appels en attente.

D'après les quatre graphes sur le nombre moyen d'appels en attente en fonction du pourcentage d'augmentation de la charge, on pourrait établir un estimé sur la grandeur moyenne du "buffer" nécessaire pour chaque configuration du système simulé.

Avec, en moyenne, 10 canaux fixes par cellule, un maximum de 3 "buffers" est requis, car nous ne poussons jamais le système dépassé un point qui correspondrait à une occupation des canaux de plus de 90% ou à une augmentation du trafic offert de plus de 60% au-dessus de la charge de base. Pour le cas employant 18 canaux fixes, 2 buffers seraient suffisants pour manipuler tout le trafic offert jusqu'à 45% au-dessus de la charge de base, qui correspond à une utilisation des canaux de 89%. Pour le système utilisant, en moyenne, 28 canaux fixes par cellule, on a besoin d'un maximum de 6 "buffers" pour faire face à l'augmentation de la charge offerte, jusqu'à 30% au-dessus de la charge

de base, ce qui correspond à une utilisation des canaux de 90%. Finalement, avec en moyenne, 35 canaux fixes par cellule, 3 "buffers" seraient suffisants pour fournir un service adéquat pour toutes les charges de trafic offert jusqu'à 23% au-dessus de la charge de base.

2.5.5 Performance en considérant la discipline Erlang-B et Erlang-C

La discipline Erlang-B (blocked call cleared, appel bloqué sort du système) donne une probabilité non zéro de blocage. Par contre, dans cette discipline, le temps moyen d'attente dans la queue est zéro, parce que les appels qui sont bloqués, sortent immédiatement du système. Contrairement, avec la discipline Erlang-C (appel bloqué reste dans le système), la probabilité de blocage est zéro, tandis que le temps moyen d'attente dans la queue n'est pas zéro, à cause que les appels qui ne trouvent pas de canal disponible au moment d'entrée dans le système, sont placés dans la queue. En plus, dans le dernier cas la grosseur de la queue est illimitée. Donc, le nombre d'appels qui passent dans le système est toujours plus grand que celui pour la discipline Erlang-B [12]. Alors, la performance du

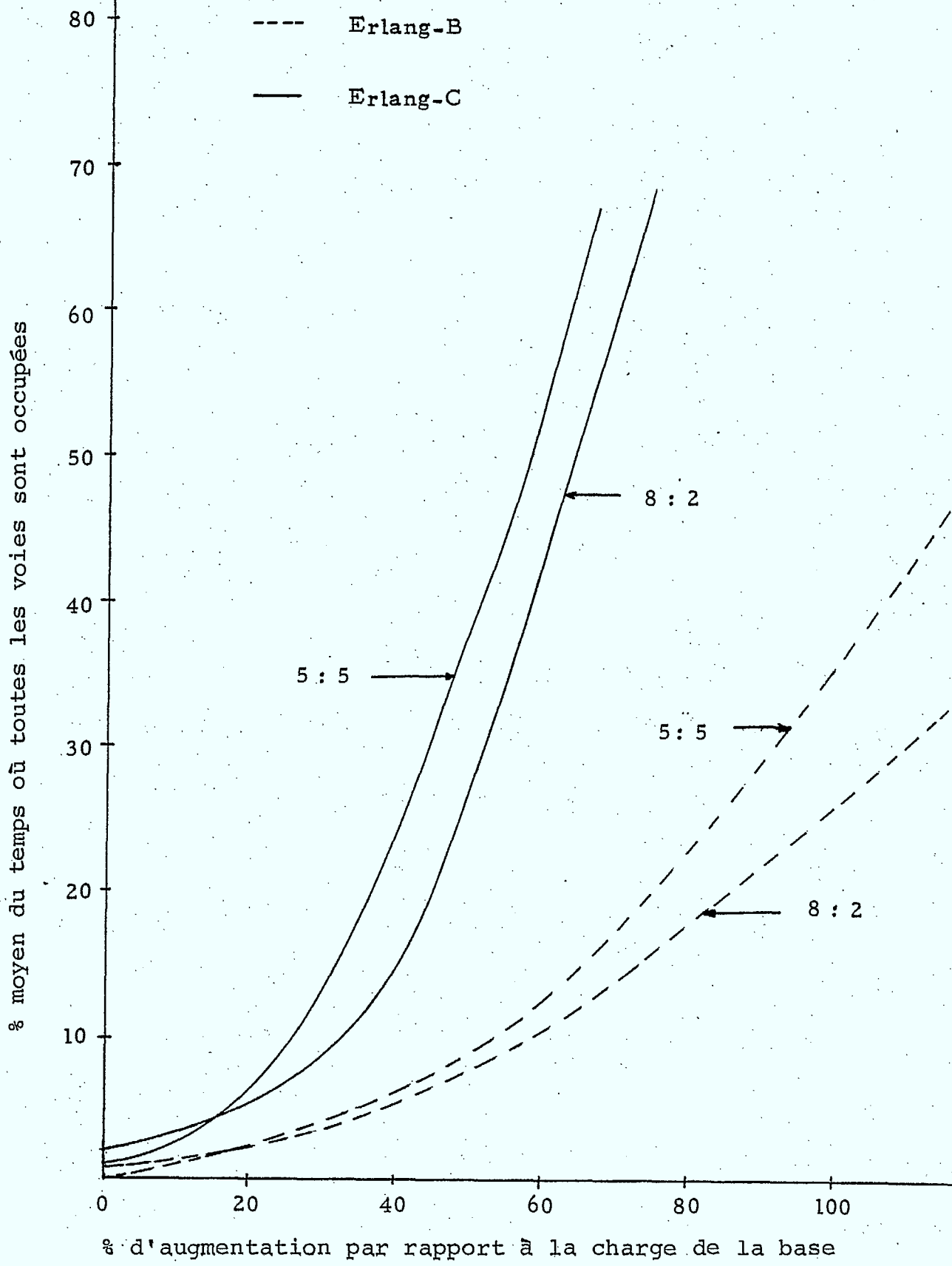
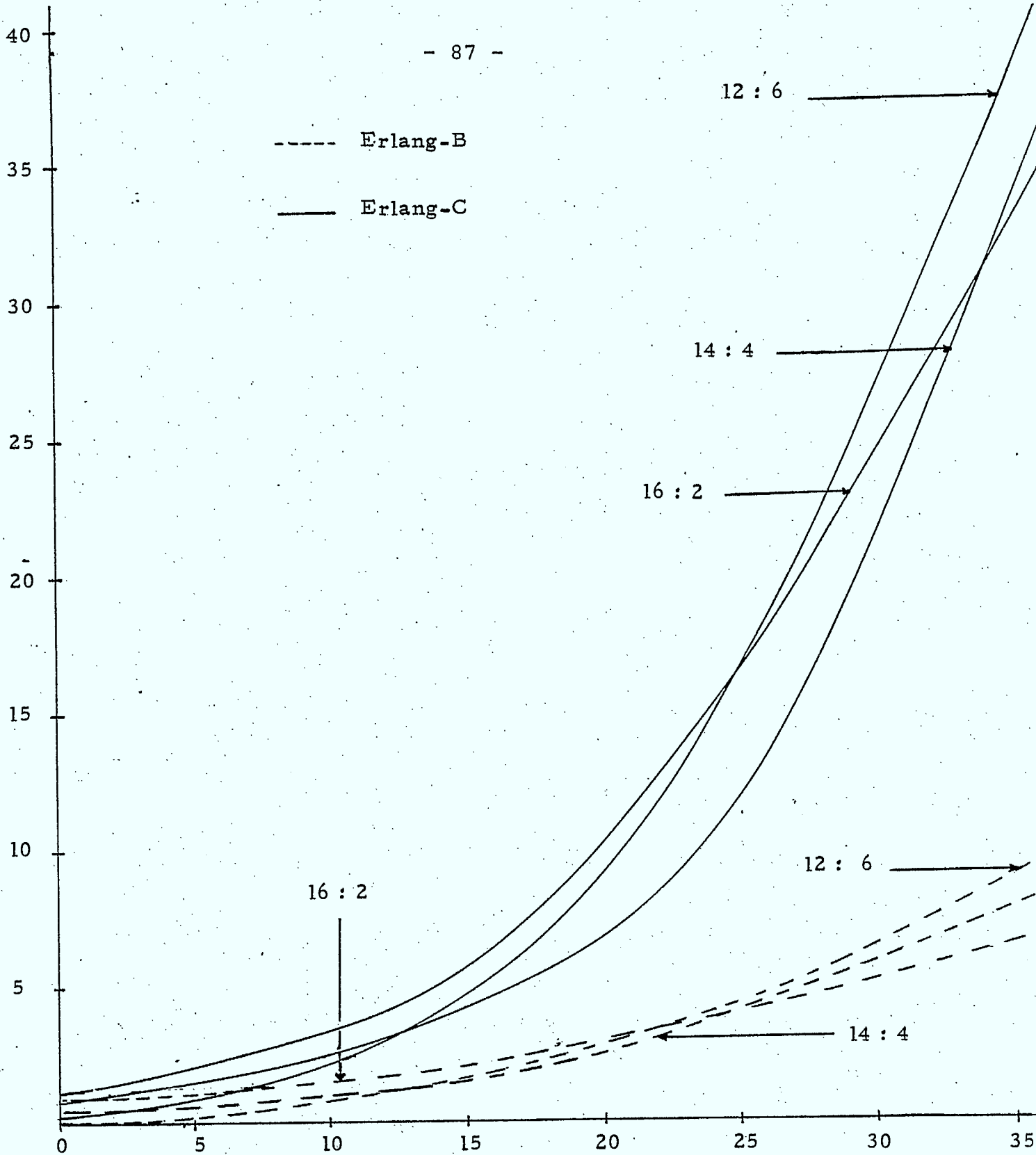


Figure 2-15 Performance d'un système avec initialement 10 voies fixes par cellule pour un trafic Erlang-B et Erlang-C

% moyen du temps où toutes les voies sont occupées



% d'augmentation par rapport à la charge de la base

Figure 2-16 Performance d'un système avec initialement 18 voies fixes par cellule pour un trafic Erlang-B et Erlang-C.

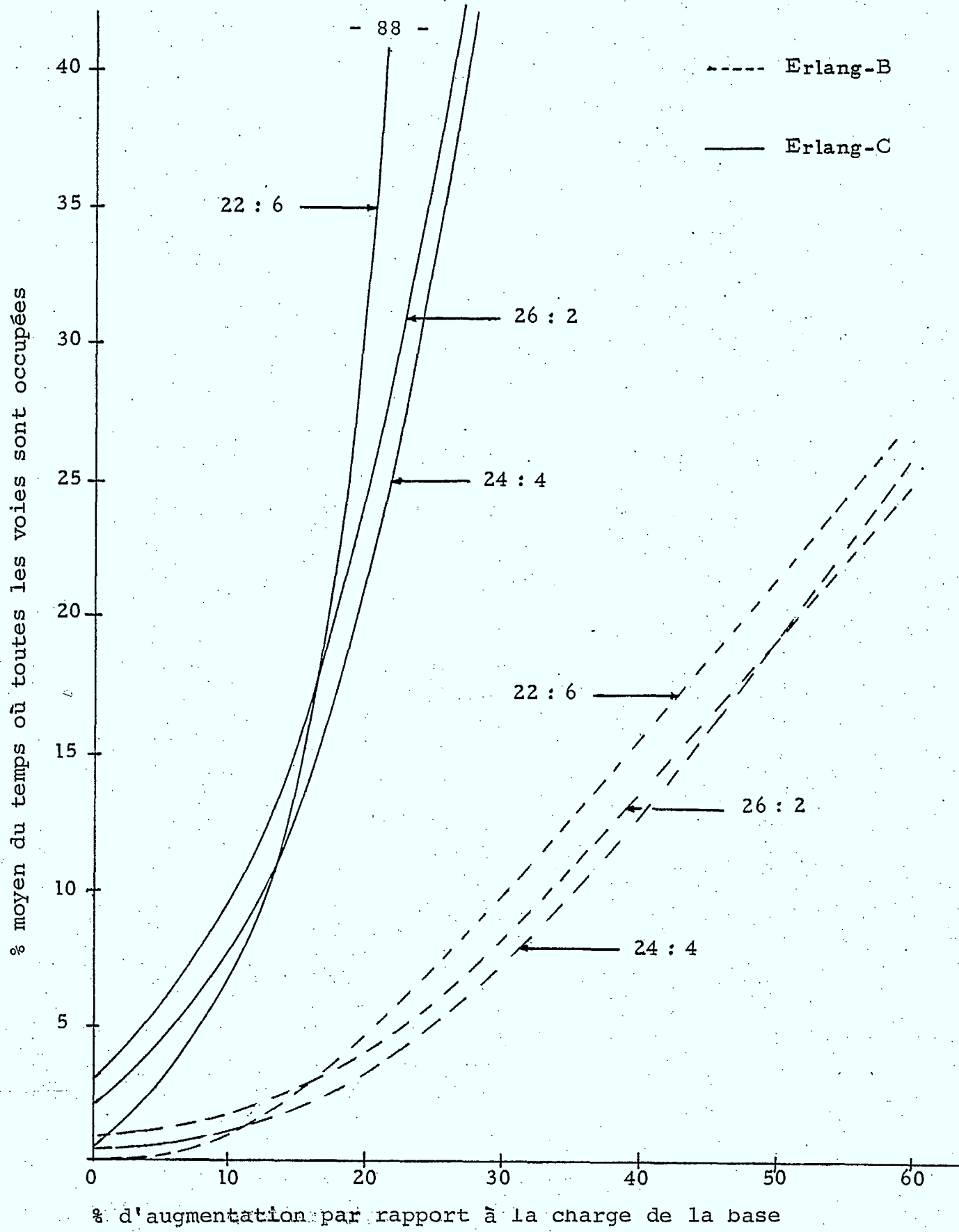
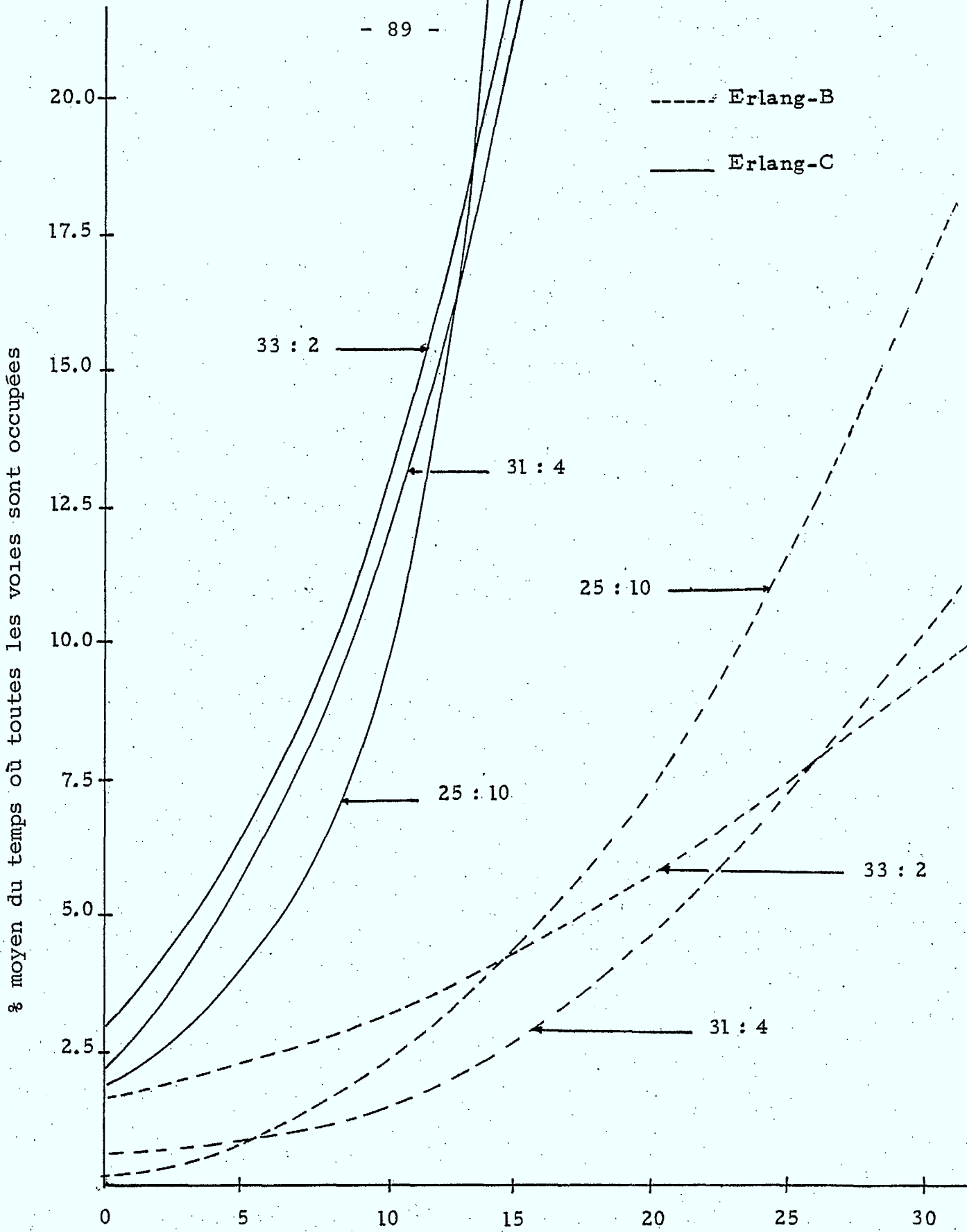


Figure 2-17 Performance d'un système avec initialement 28 voies fixes par cellule pour un trafic Erlang-B et Erlang-C



% d'augmentation par rapport à la charge de la base

Figure 2-18 Performance d'un système avec initialement 35 voies fixes par cellule pour un trafic Erlang-B et Erlang-C.

système hybride avec la discipline Erlang-B et Erlang-C peut seulement être comparée en se basant sur le pourcentage moyen que tous les canaux soient occupés.

Dans la figure 2.15 à 2.18, l'axe y représente le pourcentage moyen de fois que tous les canaux sont occupés. L'axe X représente le pourcentage d'augmentation de la charge à partir de la charge de base. Les courbes pour la discipline Erlang-B ont été obtenues de la référence 18.

Ces quatre graphes montrent un fait commun, qu'à chaque instant, pour la même augmentation de la charge, le système hybride employant la discipline Erlang-C augmente le pourcentage moyen que tous les canaux soient occupés. Ce phénomène est, par contre, attendu car, avec la discipline Erlang-C, les appels qui ne trouvent pas de canaux disponibles peuvent entrer dans la queue jusqu'à ce qu'ils puissent être servis par un canal de libre. Donc un canal, après avoir servi un appel, au lieu de devenir oisif et de retourner dans la cellule ou dans l'ensemble fondamental pour la prochaine attribution, sera attribué pour servir un des appels qui est dans la queue. Consé-
quemment, les canaux sont plus occupés dans la disci-

pline Erlang-C que dans le cas Erlang-B.

A part cette différence dans la performance, le comportement du système hybride pour les trafics Erlang-C et Erlang-B suit le même modèle. Pour des charges faibles, le système ayant le plus de canaux dynamiques produit la meilleure performance. Les systèmes ayant un nombre médium de canaux fixes utilisés comme canaux dynamiques, sont plus efficaces pour des charges modérées. A un trafic relativement élevé, les systèmes comprenant peu de canaux dynamiques dominant sur les autres au sujet de la performance. Eventuellement, le système fixe devient supérieur quand le système est lourdement chargé.

2.6 Conclusions

Dans la simulation du système cellulaire employant le système fixe avec la discipline Erlang-C, nous avons attribué jusqu'à 33% des canaux disponibles par cellule, pour être utilisés de façon dynamique. Pour toutes les configurations du système simulé, les résultats obtenus, démontraient le même patron. C'est-à-dire, les systèmes avec le plus de canaux dynamiques ont donné la plus petite probabilité qu'un appel soit

bloqué, le plus petit temps moyen d'attente et le plus petit nombre moyen d'appels dans la queue pour des augmentations de la charge jusqu'à 15% au-dessus de la charge de base. Lorsque la charge augmente de 15% à 32%, les systèmes ayant un nombre médium de canaux dynamiques donnaient les meilleurs résultats. Les systèmes avec un petit nombre de canaux dynamiques donnaient le plus petit résultat dans la probabilité qu'un appel soit bloqué, le temps moyen d'attente et aussi dans le nombre moyen d'appels dans la queue pour des augmentations de 32% à 40% au-dessus de la charge de base. Au-dessus de 40% d'augmentation, les systèmes n'ayant aucun canal dynamique offraient les meilleurs résultats.

Ce patron général, de toute évidence, reflète les caractéristiques du système fixe et dynamique pour un trafic offert grand et faible. Il peut être surprenant d'observer, que même si le nombre moyen de canaux par cellule après la division des canaux est plus petit qu'avant cette division, les systèmes utilisant le système hybride sont plus efficaces que ceux utilisant le système fixe ou dynamique, pour des augmentations de trafic de faible à modéré.

Ceci est dû à la séparation du trafic offert entre les canaux fixe et dynamique. Par contre, les canaux dynamiques ne sont pas toujours utilisés au maximum possible dans toute l'aire de services. Donc plusieurs appels seraient bloqués et iraient dans la queue pour des trafics offerts élevés. D'autre part, les systèmes ayant seulement des canaux fixes donnent un meilleur rendement pour des charges offertes élevées, à cause de la réutilisation maximum des canaux.

Bien que nous n'ayons pas considéré le système avec une distribution non uniforme de trafic et des traversées de frontière, dans notre simulation, nous anticipons un modèle semblable pour la performance d'un système considérant ces points. Nous croyons que le système hybride montrerait une performance excellente avec un trafic non uniforme, parce qu'il y a des canaux dynamiques qui peuvent se déplacer pour servir le trafic offert dépendant des fluctuations.

2.7 Références

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 Mobile 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, GH20-032604, 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-Scale Cellular-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 1978.
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, October, 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 Communications Society Magazine, Vol. 16, No. 5, Sept. 78.

27.

"Technical Report of the American Telegraph
& Telephone Company on High Capacity Mobile
Radio Communicatins Systems," Dec. 71.

III TECHNIQUES D'ETALEMENT DU SPECTRE ET POSSIBILITES D'APPLICATION DANS LA COMMUNICATION MOBILE

3.1 Introduction

Le spectre radioélectrique est pratiquement saturé, étant donné les limites des techniques actuelles de répartition des fréquences, et une utilisation sans cesse croissante des fréquences radioélectriques crée le besoin d'étudier de nouvelles techniques visant à satisfaire la demande.

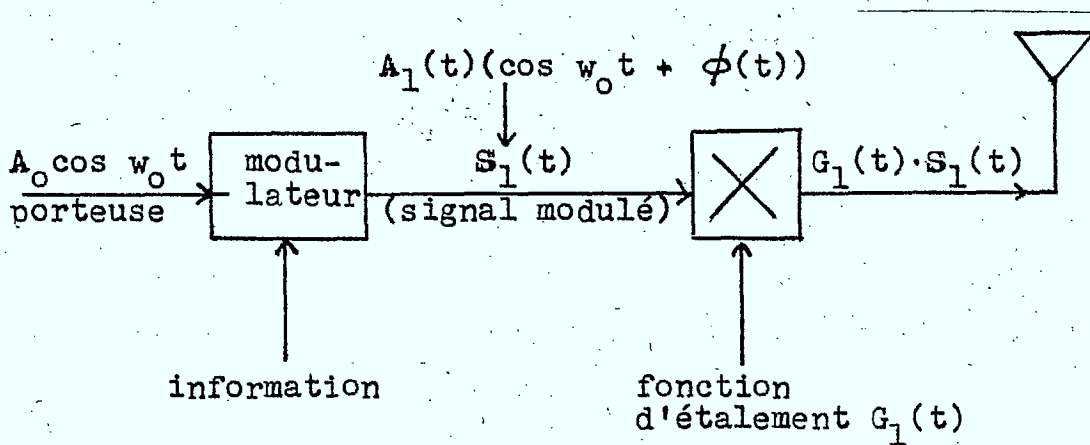
Dans cette section, nous étudierons un système qui laisse entrevoir d'intéressantes possibilités dans cette ligne, et qu'on appelle "étalement de spectre" ou "spectre étalé".

Les techniques d'étalement de spectre sont basées sur le principe suivant: "La capacité d'une voie à transférer sans erreur l'information est proportionnelle à la largeur de bande, même si le rapport signal-bruit (S/B) diminue, du fait de l'augmentation de la largeur de bande". [3]

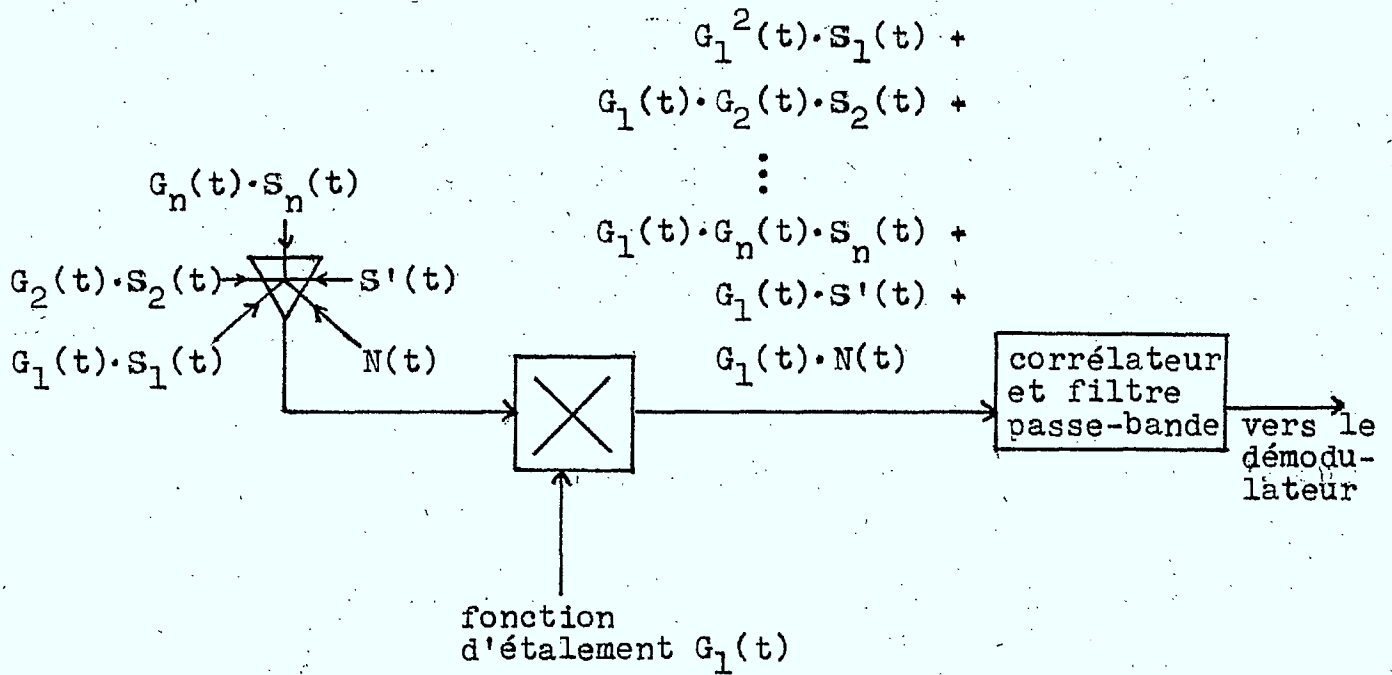
On peut comparer ces techniques à celles des modulations de fréquences à large bande qui produisent un spectre plus étendu que nécessaire pour transmettre l'information. La différence provient du fait que les FM utilisent l'information pour étaler le spectre, alors que les techniques dont il est question, ici, utilisent un signal autre que l'information pour l'étalement. Dans les deux cas, on obtient un gain de conditionnement (PG) qui permet au système de fonctionner avec un faible rapport S/B ou avec un faible niveau de puissance à l'émission, tout en obtenant une performance satisfaisante.

3.2 Principe d'un système d'étalement de spectre

On a une porteuse, à l'émission $(A_0 \cos \omega_0 t)$, qui est modulé de façon quelconque (Figure 3.1) pour produire $S_1(t) = A_1(t) (\cos \omega_0 t + \phi(t))$. Ce signal est multiplié par une fonction du temps $(G_1(t))$ qui étale l'énergie de $S_1(t)$ à travers une largeur de bande beaucoup plus étendue que celle du signal $S_1(t)$. Le signal résultant est transmis. A la réception, le signal recherché, d'autres signaux $G_n(t)$, et le bruit, sont multipliés par une réplique exacte de $G_1(t)$. A la sortie du multiplicateur, les signaux sont appliqués



a) Emetteur



b) Récepteur

Fig.3.1- Principe général d'un système d'étalement de spectre.

à un corrélateur et à un filtre passe-bande. Si $G_1(t)$ est choisi de façon à ce que $(G_1(t))^2 = 1$ et $G_1(t) \times G_n(t) = 0$, la réception est capable d'extraire le signal utile. Les autres signaux, étant toujours étalés, ne représentent qu'une très faible interférence. Cette méthode utilise l'information pour moduler la porteuse. Une autre méthode, plus courante, consiste à ajouter l'information à un code d'étalement de spectre avant la modulation (modulation codée directe (DS)). (Figure 3.2).

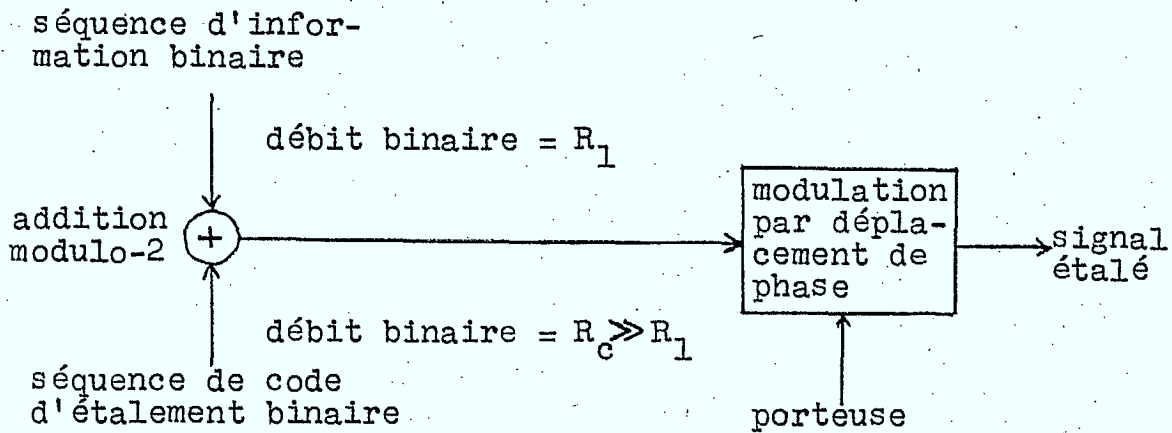


Figure 3.2 Etalement du spectre par modulation codée directe

Pour ce faire, l'information doit être sous une forme numérique parce que toute adjonction à une séquence de code implique l'addition modulo-2 à un code binaire. Ici encore, le signal à spectre étalé est désétalé à la réception par corrélation avec la même séquence de code qu'à l'émission.

3.3 Séquences pseudo-aléatoires et leur corrélation

a) Une séquence de "un " et de "zéro" qui est produite par un dispositif déterministe semble aléatoire, mais ne l'est pas; c'est une séquence pseudo-aléatoire. Un registre à décalage peut être converti en un générateur de séquences pseudo-aléatoires par insertion d'une boucle de contre-réaction qui calcule un nouveau terme pour le premier étage (du registre) sur la base des n termes précédents (n est le nombre d'étages du registre). (Figure 3.3a) La séquence résultante est périodique et a une période $P = 2^n - 1$. Les séquences de code utilisées dans les systèmes d'étalement de spectre sont relativement longues par rapport à celles destinées au transfert direct d'information.

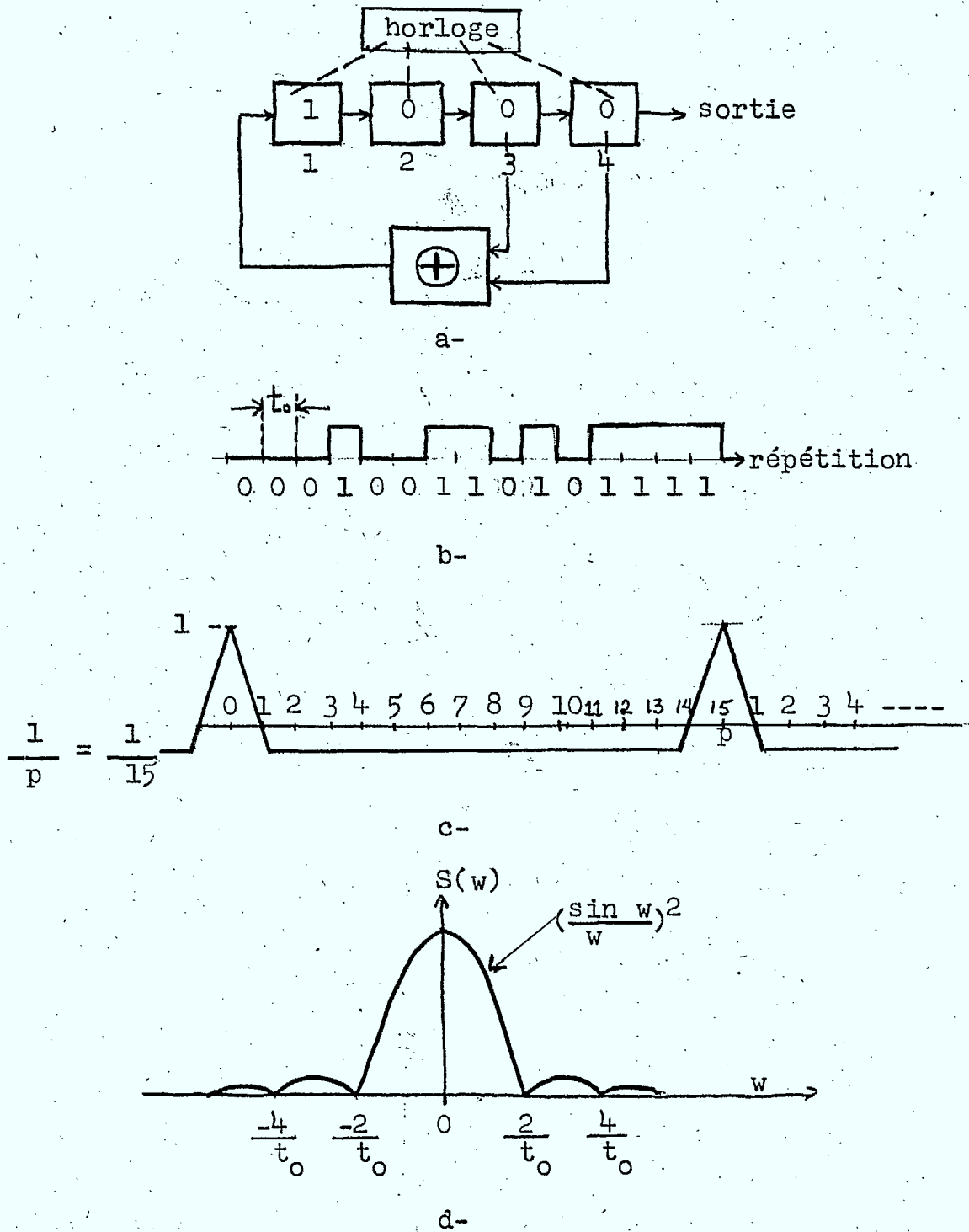


Fig.3.3 -Générateur de séquence codées et spectre:

Figure 3.3

- a) registre à décalage à quatre étages, avec contre-réaction à partir des étages 3 et 4, addition modulo-2;
- b) séquence codée pseudo-aléatoire produite avec répétitions tous les 15 éléments codés;
- c) fonction d'autocorrélation pour code à 15 éléments;
- d) spectre du code pseudo-aléatoire.

b) Une fonction de corrélation normalisée pour des fonctions du temps se définit comme suite:

$$p(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T F_1(t) F_2(t+\tau) dt \quad (3.1)$$

Lorsque $F_1(t)$ et $F_2(t)$ représentent la même fonction (même séquence), $p(\tau)$ donne l'autocorrélation; pour des fonctions différentes, on obtient de 3.1 la corrélation réciproque. Pour des séquences binaires, la fonction de corrélation normalisée est:

$$p = \frac{\# \text{ de concordances} - \# \text{ de discordances}}{\# \text{ de chiffres dans la période de la séquence}}$$

Pour une séquence pseudo-aléatoire (Figure 3.3b), la fonction d'autocorrélation se répète régulièrement avec

la même périodicité que le code pseudo-aléatoire (voir Figure 3.3c). Le spectre de puissance (Figure 3.3d) d'une telle fonction a les propriétés suivantes: Il s'agit d'un spectre de raies dont les fréquences sont des multiples de la fréquence fondamentale. Le facteur d'échelle est inversement proportionnel à la période de la séquence; ainsi, si la période de la séquence est doublée, la densité des raies spectrales double elle aussi, mais la puissance de chacune d'elles est réduite de moitié (la puissance d'une onde carrée d'amplitude constante est constante). L'enveloppe du spectre est déterminée par la période des éléments numériques (1 ou 0) du signal - ce qui veut dire que la fonction d'étalement de la largeur de bande est indépendante de la longueur du code d'étalement mais est déterminée exclusivement par la fréquence des changements d'états (0 ou 1) du signal.

3.4 Brouillage

Etant donné le processus de corrélation discuté plus haut, on obtient, à la sortie du corrélateur, le message utile (à spectre étroit) et des signaux brouilleurs qui sont étalés. Un filtre à bande étroite enlève tout le brouillage sauf cette partie qui est

à l'intérieur de la bande passante du filtre (voir Figure 3.4).

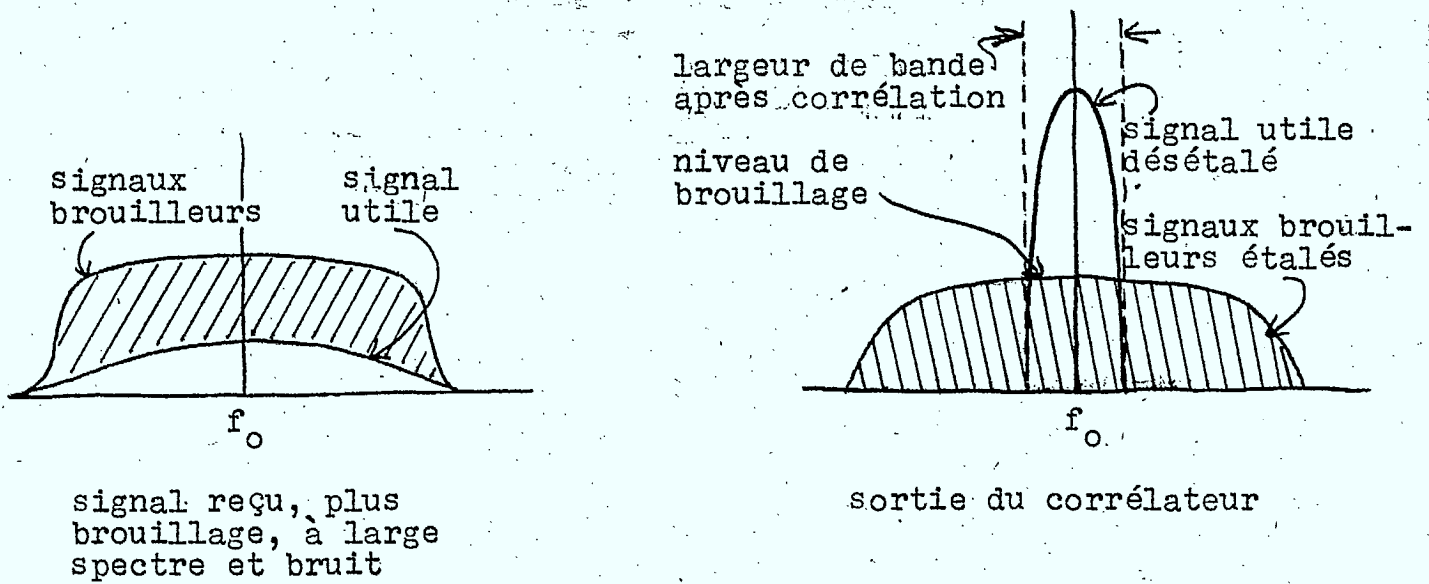


Figure 3.4 Action du corrélateur d'étalement de spectre sur le signal utile, et le signal brouilleur

L'effet perturbateur des signaux brouilleur est d'autant plus petit que le rapport largeur de spectre du signal étalé sur la largeur de spectre du signal d'information est grand. Ce rapport représente le gain de conditionnement (PG):

$$PG = \frac{(S/I)_{out}}{(S/I)_{in}} = \frac{B_c}{B_m} \quad (3.3)$$

où B_c = largeur du spectre étalé

B_m = largeur de bande de l'information

Dans une situation idéale, même si on augmentait le rythme du code, on serait limité, dans l'amélioration du PG, par le bruit du système (L), ainsi que par la nécessité d'obtenir un rapport signal-bruit $(S/B)_{out}$ suffisant à la sortie du système. Ainsi, la marge de brouillage (différence entre la puissance du brouillage et celle du signal) [2] réalisable est:

$$M_i = PG - L - (S/B)_{out} \quad (3.4)$$

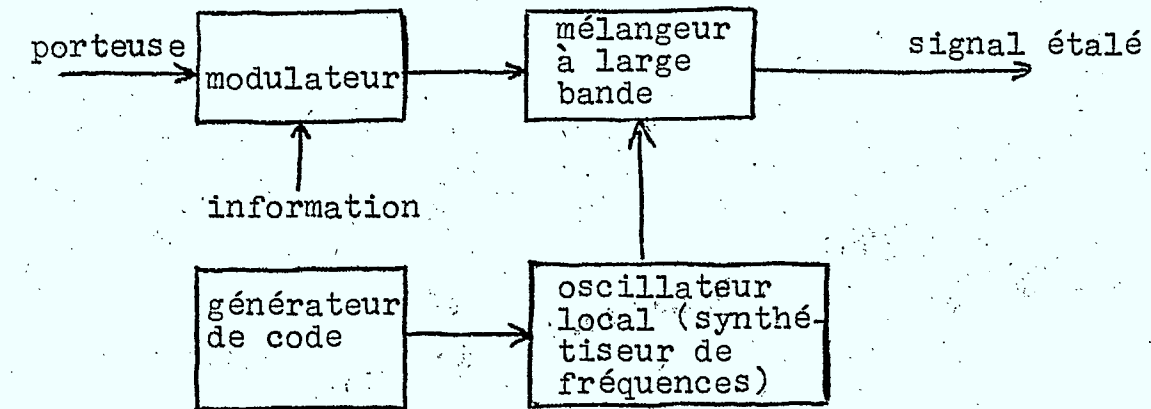
Les principes décrits jusqu'à présent sont utilisés dans la méthode d'étalement de spectre par modulation codée directe (DS). Par cette méthode, le signal produit n'apparaît aux autres récepteurs que

comme un bruit. Le récepteur avec code approprié peut obtenir le signal utile même lorsqu'il est masqué par une puissance brouilleuse beaucoup plus grande que celle du signal utile. De plus, en raison des propriétés d'orthogonalité des codes pseudo-aléatoire, le multiplexage par répartition de code et l'adressage sélectif peuvent être réalisés à volonté.

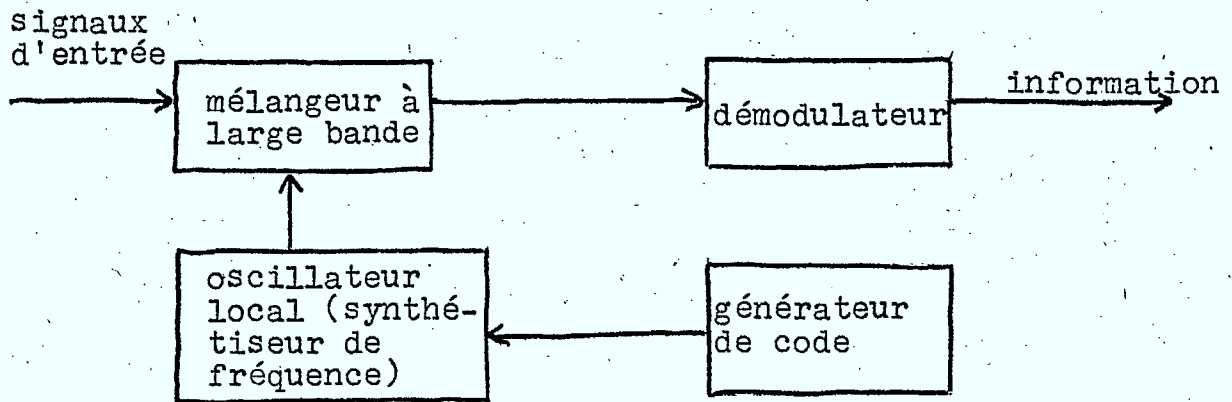
3.5 Transposition de fréquence

Un code pseudo-aléatoire étale un signal en commutant la fréquence du signal par une valeur fixe (Δf) qui est au moins aussi large que la largeur de bande de l'information (voir Figure 3.5).

Le rythme de transposition de fréquence suit le rythme du code d'étalement et joue un rôle important dans ce système. Un rythme inférieur au débit d'information obtient de meilleures performances. Quand il est supérieur au débit d'information, il y a un risque de dégrader sérieusement la démodulation ultérieures de l'information.



a) Emetteur



b) Récepteur

Fig.3.5 - Etalement du spectre par transposition de fréquence

La largeur de bande dans laquelle s'opère l'étalement de l'énergie est essentiellement indépendante du rythme du code et peut être choisie par combinaison du nombre et de l'amplitude des sauts de fréquence. Le spectre de puissance (voir Figure 3.6) idéal a une enveloppe rectangulaire et s'étend à travers une largeur de bande $B_{rf} = (2^n - 1) \Delta f$, où n est le nombre des étages utilisés dans le registre à décalage pour produire le code et Δf représente l'espacement entre les fréquences discrètes.

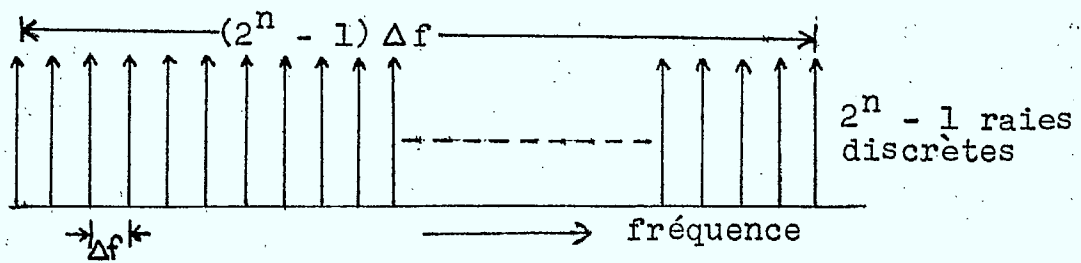


Figure 3.6 Forme idéale du spectre étalé par transposition de fréquence

Le gain de conditionnement est:

$$PG = \frac{B_{rf}}{B_m} = 2^n - 1$$

où

$$\begin{aligned} B_{rf} &= \text{largeur de bande du signal étalé} \\ &= (2^n - 1) \Delta f \end{aligned}$$

$$B_m = \text{largeur de bande de l'information } \approx \Delta f$$

3.6 Modulation de fréquence linéaire ("chirp")

Une impulsion rectangulaire est modulée en fréquence, et à la réception, un filtre adapté à la modulation utilisée rassemble, ou désétale, la puissance de la porteuse.

Contrairement aux autres techniques décrites, les systèmes "chirp" n'utilisent pas de séquence de code pour étaler le signal (quoique ce serait possible).

3.7 Analyse du rapport signal-bruit (S/B) [30]

Ci-suit la description de l'analyse du rapport S/B des systèmes DS (Modulation codée directe) et FH (Transposition de fréquence). Le bruit discuté dans cette section est décrit par une distribution Gaussienne. Donc, l'analyse s'applique au bruit des systèmes de

réception ou au bruit externe avec des caractéristiques Gaussiennes.

En ce qui a trait au système pseudo-aléatoire (PA) avec un signal désiré $S(t)$, il peut être démontré que le filtre qui offre un rapport S/B maximum au temps t dans le futur est un filtre optimum dont la réponse impulsionnelle $h(t)$ est donnée par:

$$h(t) = k S(t_1 - t) ; k = \text{constante} \quad (3.5)$$

Si on a un signal limité dans le temps, de durée T_s , alors la réponse impulsionnelle du filtre sera

$$\begin{aligned} h(t) &= k S(T_s - t) ; 0 < t < T_s \\ &= 0 ; \text{ailleurs} \end{aligned} \quad (3.6)$$

La fonction de transfert dans le domaine des fréquences du MF est donné par le conjugué complexe de la transformée de Fourier du signal auquel il est appareillé, comme indiqué en (3.7). Si

$$\begin{aligned} F(S(t)) &= S(w) \\ &= A(w) \exp - j\phi(w) \end{aligned} \quad (3.7)$$

alors $H(w)$, la fonction de transfert en fréquence du MF est donnée par

$$\begin{aligned} H(w) &= S(w) \\ &= A(w) \exp + j\phi(w) \end{aligned} \quad (3.8)$$

où $A(w)$ et $\phi(w)$ sont réels.

$$V_{out}(\tau) = k \int_0^{T_s} S(t) \cdot S(T_s - \tau + t) dt \quad (3.9)$$

Si $T_s - \tau = u$, $V_{out}(\tau)$ devient

$$V_{out}(u) = k \int_0^{T_s - u} S(t) \cdot S(u + t) dt \quad (3.10)$$

Cette intégrale est proportionnelle à la fonction d'autocorrélation du temps du signal $S(t)$. Son maximum a lieu à $u = 0$ ou à $\tau = T_s$, qui est la durée du signal. Le rapport de la valeur crête du signal, à la sortie, sur la valeur efficace du bruit est donné comme suit:

$$(S/B)_{out} = E_s/S_n \quad (3.11)$$

où E_s est l'énergie totale du signal et S_n est la densité spectrale de puissance du bruit à l'entrée de la réception.

La puissance du bruit à l'entrée peut se définir comme étant la puissance du bruit (N_{in}) dans la bande en question; alors $N_{in} = 2B_{s_{in}} \cdot S_n$. On obtient la puissance du signal d'entrée de la valeur moyenne de S^2 (i.e. $E(S^2)$) et l'énergie du signal est donnée comme suit: $E_s = E(S^2) \cdot T_s$. Les rapports signal-bruit de sortie et d'entrée peuvent alors avoir la forme suivante:

$$(S/B)_{out} = \frac{E(S^2)T_s}{S_n} \quad (3.12)$$

où T_s = durée du signal désiré

$$(S/B)_{in} = \frac{E(S^2)}{2B_{s_{in}} \cdot S_n} \quad (3.13)$$

et le gain de conditionnement PG est

$$PG = \frac{(S/B)_{out}}{(S/B)_{in}} = 2B_{s_{in}} \cdot T_s \quad (3.14)$$

qui est considéré comme étant la mesure la plus importante des systèmes à filtres appareillés ou SS. Cette dernière expression est approximative puisqu'en général, il est difficile de déterminer exactement la puissance du bruit à l'entrée qui devrait être utilisée dans les

calculs du rapport $(S/B)_{in}$. Néanmoins, l'expression de PG ci-haut mentionnée est souvent utilisée dans les discussions sur l'amélioration du rapport signal-bruit.

Il est aussi raisonnable d'assumer que la valeur crête de la fonction d'autocorrélation du débit du code du signal à $u = 0$ aura une durée de l'ordre de $1/B_{sin}$, qui est aussi approximativement égal à la réciproque du débit du code. Le rapport de la durée du signal d'information T_s sur la principale valeur crête de la réponse est alors donné par T_s/T_{sin} . Alors $B_{sin} T_s$, qui est large, subit l'effet d'une compression d'impulsion par lequel l'énergie du signal dans une impulsion relativement longue est comprimée dans une impulsion courte à niveau élevé.

Il en résulte une grande probabilité de détection à la réception concernée, sans pertes dans le "time resolution".

On peut obtenir les mêmes résultats dans le domaine du temps en prenant l'inverse de la transformée

de Fourier des fonctions respectives et en effectuant les opérations équivalentes dans le domaine du temps.

Le système FH consiste essentiellement en filtres à bandes étroites associé à la largeur de bande de l'information décalée en fréquences suivant un code pseudo-aléatoire à travers une largeur de bande SS. Le bruit hors du système est alors contrôlé par la largeur de bande du filtre à bande étroite. Lorsqu'une analyse est faite de bruit ou d'interférence non-désirée qui occupe complètement la largeur de bande d'un saut de fréquence, on obtient une diminution de la puissance du signal non-désiré à la sortie qui est égale au rapport des largeurs de bandes. Le gain de conditionnement, conséquemment, est

$$PG = \frac{B_{fh}}{B_{sin}} \quad (3.15)$$

où B_{fh} = largeur de bande du FH

et B_{sin} = largeur de bande de l'information.

Puisque les équations (3.14) et (3.15) sont approximativement les mêmes, (si on néglige le facteur de 2) on dit souvent des systèmes FH et DS qu'ils

sont identiques en élimination. On doit noter, par contre, que ceci n'est vrai que pour le bruit ou des signaux non-désirés qui sont étalés à travers une grande largeur de bande et non pas pour un signal à bande étroite. La sensibilité des systèmes FH ne comporte pas les améliorations du PG des systèmes DS, et est simplement proportionnelle au bruit dû à la température du système et à la largeur de bande de l'information.

3.8 Analyse du rapport signal-interférence (S/I) [30]

Ci-suit l'analyse du rapport S/I des systèmes DS et FH.

On peut avoir, à l'entrée d'un système SS, la somme du signal désiré, de l'interférence, et du bruit Gaussien. Puisque l'opération du corrélateur du "filtre appareillé" est linéaire, chaque signal peut être traité séparément, et on peut appliquer le principe de superposition à la sortie. Les cas du signal et du bruit ont été discutés dans la section précédente.

Un signal d'interférence peut généralement être décrit en termes de variation d'amplitude et de phase comme suit:

$$I(t) = A_i(t) \cos((\omega_0 + \Delta\omega)t + \theta_1(t)) \quad (3.16)$$

où

$A_i(t)$: enveloppe de modulation aléatoire

$\theta_1(t)$: modulation de phase aléatoire

$\Delta\omega$: différence de fréquence en radians
entre la porteuse du signal désiré
et celle du signal non-désiré

ω_0 : fréquence de la porteuse en radians.

On obtient la réponse à ce signal, à la sortie d'un filtre, en termes de l'intégrale de convolution. De par la définition de la réponse donnée par l'équation (3.9) et puisque $S(t)$ est limité dans le temps, cette intégrale a les limites $(0, T_s)$. Le résultat est la fonction de corrélation réciproque entre le signal et l'interférence. On peut en appeler à l'ergodicité (Raemer-1969) [32] pour obtenir les puissances d'interférences à la sortie en termes des statistiques de la variation de l'amplitude et de la phase. Une solution complète au problème requiert non seulement la détermination de l'interférence à la sortie mais aussi la détermination de la densité de probabilité de l'interférence à la sortie. Ceci, évidemment, implique la

connaissance de la fonction de densité de l'amplitude et de la phase et indique que des résultats généraux ne peuvent être obtenus; alors, des situations spécifiques d'interférence doivent être examinées.

Des résultats approximatifs employant le théorème de la limite centrale (Raemer-1969) [32] peuvent, par contre, être obtenus pour des produits de grande largeur de bande de temps. Ceci n'est pas un cas isolé, mais, au contraire, peut être le cas le plus important puisque les systèmes SS sont généralement employés dans des situations où un rehaussement du rapport S/B est requis, et, conséquemment, $B_{s-in} T_s$ est grand.

Pour le cas dans lequel la largeur de bande du signal d'interférence d'entrée (B_{i-in}) est plus petit que ou égal à la largeur de bande du signal désiré, à l'entrée, (B_{s-in}) le gain de conditionnement a été obtenu en fonction du "off-tuning" (ω) comme suit:

$$\frac{(S/I)_{out}}{(S/I)_{in}} = 2B_{s-in} T_s \left[\frac{1/\sin(\Delta\omega/2B_{s-in})}{\Delta\omega/2B_{s-in}} \right]^2 ; B_{i-in} < B_{s-in} \quad (3.17)$$

Lorsque la largeur de bande de l'interférence est plus grande que celle du signal désiré, on obtiens le PG comme suit:

$$\frac{(S/I)_{out}}{(S/I)_{in}} = \frac{2B_{i-in} T_s}{\left[\frac{\sin \frac{\Delta\omega}{2B_{i-in}}}{\omega/2B_{i-in}} \right]^2}; \quad B_{i-in} > B_{s-in} \quad (3.18)$$

Ces équations (calculées d'après le théorème de la limite centrale, et disponibles pour plusieurs valeurs des signaux d'interférence.), indiquent le PG en fonction des unités appropriées de largeur de bande de temps et des différents degrés de "off-tuning" sur la même voie. Elles démontrent que pour des largeurs de bande désirées et non-désirées approximativement égales, les filtres "appareillés" "accordés" agissent comme des filtres linéaires avec un gain égal au produit de la largeur de bande du temps. Par contre, lorsque le "désaccord" (off-tuning) est dix fois plus grand que la largeur de bande du signal désiré, un gain additionnel de 4.5 dB est obtenus.

L'équation (3.18) démontre aussi que pour obtenir le même PG que dans le cas des bandes étroites,

où les unités de la largeur de bande du temps sont normalisées, un degré de "désaccord" (off-tuning) considérablement plus grand est requis (i.e. $B_{i-in} > B_{s-in}$).

Puisque

$$B_{i-in} T_s = B_{i-in}/B_{s-in} \quad (3.19)$$

on obtiens une amélioration directe proportionnelle au rapport de la largeur de bande du signal d'entrée non-désiré sur le signal d'information désiré. En étudiant un peu le problème, on s'attendrait au moins à un facteur de B_{i-in}/B_{s-in} dûe au "power filtering considération". Mais, de par la nature des filtres "appareillés" à large bande, le PG total est plutôt proportionnel au rapport de la largeur de bande de l'interférence sur le signal d'information désiré. Maintenant, ceci inclus le bruit normal qui fait que les systèmes SS ressemblent à un filtre à interférence équivalent beaucoup plus étroit.

On peut alors re-écrire l'équation 3.18 comme suit:

$$\frac{(S/I)_{out}}{(S/I)_{in}} = \frac{2(B_{i-in}/B_{s-in}) (T_s B_{s-in})}{\left[\frac{\sin(\omega/2B_{i-in})}{\omega/2B_{i-in}} \right]^2} \quad (3.20)$$

Ceci démontre clairement que le gain est proportionnel au rapport de filtrage de la largeur de bande sur le produit de la largeur de bande du temps, comme on aurait dû s'y attendre.

Du point de vue des mesures des rapports de puissance à la sortie, le système SS à large bande se défait (overcome) de l'interférence aussi bien qu'il se défait du bruit.

Dans le système SS-FH, le transposeur de fréquence réintroduit la fréquence originale de la porteuse pour le signal désiré et la mélange à la fréquence centrale IF.

N'importe quel signal d'interférence, entrant à une fréquence fixe par rapport à la fréquence centrale du système SS-FH est convertie, après le FH en un signal d'amplitude réduite et de fréquence désaccordée (off-tuned) aléatoirement, à cause du mélangeur FH et de l'action du filtre IF.

L'analyse du cas des interférences FH doit considérer un signal d'interférence général modulé en amplitude et en phase à l'entrée du transposeur de fréquence, comme suit:

$$I(t) = A_i'(t) \cos(\omega_0 t + \Delta\omega' t + \theta_1(t)) \quad (3.21)$$

où

$$A_i'(t) = A_i'(1+m(t))$$

$$\theta_1(t) = \text{modulation de phase FM ou PM}$$

$$\Delta\omega' = \text{fréquence désaccordée (off-tuned),}$$

en radians

$$\theta_1(t) \rightarrow 0 \text{ pour interférence modulée en amplitude}$$

$$A_i'(t) \rightarrow A_i \text{ pour interférence modulée en phase}$$

Quand le signal est mélangé avec le signal
LO synchronisé,

$$V_{fh}(t) = A_{LO} \cos(\omega_{LO} t + \omega_d k_t t) \quad (3.22)$$

où

$$\omega_{LO} = \omega_0 - \omega_{if}$$

$$\omega_d = \text{constante}$$

$$k = \pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots, \pm k \text{ (nombre qui donne la}$$

voie désignée par le transposur de

fréquence).

On obtient, dans le voisinage de IF, à la
sortie du transposur de fréquences:

$$I'(t) = A_1'(t)/2 A_{fh} \cos((w_{if}t + (\Delta w + w_D k_t) + \theta_1(T)) \quad (3.23)$$

L'interférence est alors filtrée de sorte qu'effectivement, seulement les signaux qui tombent à l'intérieur de la même voie de fréquence que le signal désiré sont transférés à travers le système comme interférence. Puisqu'il y a n voies de fréquences possibles, ce phénomène n'arrive en moyenne que n fois; conséquemment, en moyenne, 1/n seconde du temps, l'interférence est donnée par l'expression générale suivante:

$$I_{if}(T) + A_1(t) \cos((w_{if} + \Delta w)t + \theta_1(t)). \quad (3.24)$$

L'interférence à l'entrée du détecteur est, alors, de même nature qu'un processus de Poisson. La "dégradation", à la sortie de la réception dépend de la structure du traitement du signal. Puisque cette structure affecte beaucoup l'analyse de dégradation, il n'est pas de généralisation simple qui peut être donnée pour des rapports d'entrée S/I donnés.

Si l'interférence consiste en un signal modulé en amplitude (AM) à largeur de bande uniforme qui égale la largeur de bande FH, le signal de sortie du trans- poseur consiste approximativement en un signal d'am-

plitude constante avec un terme dont la fréquence est dégradée aléatoirement. Pour ce cas, l'analyse de dégradation consiste essentiellement en l'analyse d'un signal non-désiré FM, dont la puissance est réduite par le rapport des largeurs de bande (equation 3.15) sur le type de structure de traitement du signal, quel qu'il soit, qui est employé par le transposeur de fréquence. Si la structure de détection en est une de modulation de fréquence (FM) ou de modulation de phase, (PM), le PG sera semblable à celui obtenu avec le bruit sauf pour de faibles rapports où un effet de capture (FM capture effect) FM sera introduit.

Si l'interférence consiste en un signal modulé en fréquence à large bande (WBFM) dont la largeur de bande égale celle du signal FH, le signal de sortie du transposeur consiste en un signal à amplitude aléatoire avec un dérèglement (off-set) de fréquence aléatoire. L'effet de ce signal serait très semblable à l'interférence due au bruit de sorte que le PG est donné par l'équation 3.15 et le rapport S/I requis à l'entrée est le même que dans le cas d'un bruit Gaussien.

3.9 Avantages des systèmes à spectres étalés pour les communications mobiles [9]

1. Le nombre des utilisateurs qui peuvent être manipulés par une seule station de base - ou par le système comme un tout - n'a pratiquement pas de limite. La probabilité d'erreur sur les "bits" diminue avec l'augmentation du nombre des utilisateurs; le rapport signal-bruit diminue et le délai de synchronisation augmente.

2. D'après ce qui précède, il s'ensuit qu'aucun utilisateur ne se voit refuser l'accès à une voie; probabilité de blocage $P \equiv 0$.

3. Puisque chaque utilisateur possède son propre signal d'identité la commutation de voie n'est plus nécessaire quand un mobile traverse les frontières d'une cellule. Le problème de fin d'appel forcé, caractéristique des systèmes cellulaires FM, est éliminé.

4. Les appels sont privés, de par le fait que chaque utilisateur a un signal d'identité propre, qui pourrait être le numéro d'assurance sociale, ou celui de la licence de l'automobile, ou encore, le numéro de série du véhicule. Par contre, le secret contre

d'éventuels écouteurs professionnels avec équipement approprié n'est pas assuré.

5. La grandeur de la largeur de bande de la porteuse offre une protection considérable contre le fading de Rayleigh; seule une fraction du spectre serait sujette au fading à quelque instant donné.

6. Il est possible d'offrir la priorité à un certain tarif (ou dans le cas d'un besoin de service d'urgence) par régulation du niveau de puissance d'émission. Plus le niveau de puissance est grand, plus le délai de synchronisation est court, mais plus grand est le rapport signal-bruit.

7. La coexistence d'un système à spectre étalé avec un système conventionnel sur la même largeur de bande est possible. Et l'utilisation du nouveau système n'affecte pratiquement pas les opérations du premier.

8. Les instruments des utilisateurs seraient standardisés et numériques de nature, ce qui engendre un potentiel d'économie d'échelle. L'identité des utilisateurs serait numérotée avant les opérations initiales.

9. Dans un système à plusieurs petites cellules, la largeur de bande requise par le SSMA ("Spread Spectrum Multiple Access") peut être moindre que celle utilisée par un système FM conventionnel.

3.10 Désavantages des systèmes à spectre étalé

1. Un contrôle des puissances émises serait requis pour faire en sorte que la puissance transmise par les utilisateurs près d'une base n'influence pas celle des utilisateurs qui sont loin de la base.
2. Quelque forme de contrôle vis-à-vis la position des mobiles serait requise pour surveiller les changements de cellule. Par contre, le contrôle en question n'aurait pas besoin d'être précis comme celui utilisé dans les systèmes cellulaires à plusieurs voies.
3. Le codage et le décodage d'un signal à spectre étalé est plus complexe que dans le cas d'un signal FM conventionnel.
4. Dans les systèmes à grandes cellules, la largeur de bande requise dépasse celle d'un FM conventionnel.
5. La synchronisation des signaux SSMA est plus

difficile à obtenir qu'avec les FM ou les signaux numériques conventionnels.

Il ne semble pas trop difficile de se procurer un contrôle de puissance. Les transmissions initiales d'une station de base pourraient s'effectuer à puissance maximum. Les niveaux de puissance à la réception pourraient être utilisés pour ajuster les niveaux de puissance des transmissions ultérieures, et pourraient aussi être utilisés pour une estimation de la distance mobile-base. La position d'un véhicule pourrait se faire en écoutant avec toutes les stations de base capable d'entendre le véhicule en question. Le prix de l'équipement numérique diminue constamment, et de même la différence entre les équipements SSMA et FM. En fait, le besoin de matériel moins précis pour déterminer la position des véhicules peut favoriser le système SSMA.

Tous ces arguments supportent ceux qui favorisent un examen plus détaillé des systèmes SSMA comme alternative aux systèmes cellulaires à assignation fixe et dynamique. Un tel examen requiert la comparaison du coût des systèmes pour un rapport signal-bruit donné et des contraintes de délai d'attente données.

Comme indiqué plus haut, un retard serait dûe au temps requis pour synchroniser les "chips" et le cadre de chaque porteuse. Malgré le fait que plusieurs travaux significatifs ont été fait sur la synchronisation, des résultats démontrant le délai de synchronisation T (qui est l'équivalent des délais de file d'attente dans les systèmes à voies fixes) semblent inexistantes. T augmenterait avec le nombre d'utilisateurs par station de base à cause d'une augmentation du niveau de bruit et du nombre de différentes porteuses; par contre, T diminuerait avec l'augmentation de la largeur de bande du système. Une des raisons pour lesquelles la synchronisation est difficile à acquérir et à maintenir, est que la reconstitution des ondes porteuses (sinusoïdales) doit être performée après avoir achevé la synchronisation de la porteuse pseudo-aléatoire (ou autre forme de porteuse SSMA).

Les calculs de probabilité d'erreur de "bits" sur lesquels dépend le rapport signal-bruit, sont particulièrement difficiles, surtout si on considère les effets des intersymboles des "chips" des SSMA (technique de transposition de fréquence). Quoiqu'il en soit, des résultats sont disponibles. Il est intéressant

de noter que personne ne semble avoir considéré le moulage des "chips" des porteuses SSMA, ou encore, l'utilisation de récepteurs sophistiqués pour réduire l'interférence intersymbole.

Des données sur le coût du système SSMA ne semblent pas disponibles. Par contre, il serait intéressant de comparer les systèmes SSMA avec les systèmes FM conventionnels et les systèmes numériques à fréquence multiplexée simplement sur la base de la largeur de bande requise. Une étude préliminaire qui compare un système cellulaire SSMA avec un système cellulaire FM pour une valeur du rapport signal-bruit de 30 dB semble favoriser le système SSMA sur la base du nombre d'utilisateurs par hertz par unité de surface. Les délais de temps et le coût des systèmes n'y figureraient pas. [22, 23].

3.11 Conclusion

Costas [6] a démontré que dans le cas où les utilisateurs émettent en permanence, ou du moins avec un coefficient d'utilisation élevé, les systèmes à large bande ne sont pas très efficaces. Par contre, pour un faible coefficient d'utilisation, ces systèmes

offrent un service supérieur aux systèmes à bande étroite.

Aussi, étant donné le faible rapport signal-bruit, qui ne représente, comme on le disait précédemment, qu'un bruit, pour les utilisateurs des systèmes à bande étroite, il apparaît souhaitable d'étudier les possibilités de partage d'une certaine largeur de bande entre les utilisateurs des deux systèmes.

Il appartient aux utilisateurs des techniques de spectre étalé de démontrer que le partage est réalisable et de convaincre les utilisateurs des systèmes à bande étroite des avantages pour la société d'un tel partage.

Pour les systèmes avec un faible coefficient d'utilisation, tel la communication mobile, ou les systèmes dans lesquels un grand nombre d'utilisateurs sont attachés à un point de retransmission commun, (radio amateur, service général de radiocommunication etc.) les systèmes à spectre étalé offrent une utilisation plus rationnelle du spectre.

3.12 Références

1. Radio Regulations (Edition of 1976), published by the ITU, Geneva, 1976.
2. CCIR - XXIIth Plenary Assembly (Geneva, 1974), published by the ITU, Geneva, 1975.
3. C.E. Shannon
"A mathematical theory of communication",
Bell Syst. Tech. J., vol. 27, pp. 623-656,
1948.
4. M. Schwartz
Information Transmission, Modulation and
Noise, New York: McGraw-Hill, 1959.
5. R.B. Ward
"Digital communications on a pseudo-noise
tracking link using sequence inversion mo-
dulation", IEEE Trans. Commun. Technol.,
vol. COM-15, pp. 69-78, 1967.
6. H. Blasbalg, H.F. Najjar, R.A. d'Antonio and
R.A. Haddad
"Air-ground, ground-air communications using
pseudo-noise through a satellite", IEEE
Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. AES-4,
pp. 774-790, 1968.
7. R.C. Dixon
Spread Spectrum Systems. New York: Wiley,
1975.
8. S.W. Golomb
Shift Register Sequences. San Francisco:
Holden-Day, 1967.
9. W.W. Peterson
Error-Correcting Codes. New York: Wiley,
1961.

10. J.M. Aein
"Multiple access to a hard-limiting communication-satellite repeater", IEEE Trans. Space Electron. Telem., vol. SET-10, pp. 159-167, 1964.
11. D.R. Anderson and P.A. Wintz
"Analysis of a spread-spectrum multiple-access system with a hard limiter," IEEE Trans. Commun. Technol., vol. COM-17, pp. 285-290, 1969.
12. S.W. Golomb
Digital Communications. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1964.
13. R. Gold
"Optimal binary sequences for spread spectrum multiplexing," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. IT-13, pp. 619-621, 1967.
14. J.R. Sergo, Jr. and J.F. Hayes
"Analysis and simulation of a PN synchronization system," IEEE Trans. Commun. Technol. vol. COM-18, pp. 676-679, 1970.
15. H.H. Schreiber
"Self-noise of frequency hopping signals", IEEE Trans. Commun. Technol., vol. COM-17, pp. 588-590, 1969.
16. P.R. Drouilhet, Jr. and S.L. Bernstein
"TATS - A band-spread demodulation system for multiple access tactical satellite communication," in IEEE EASCON'69 Conv. Rec., pp. 126-132.
17. J.R. Klauder, A.C. Price, S. Darlington, and W.J. Abersheim
"The theory and design of chirp radars," Bell Syst. Tech. J., vol. 29, pp. 745-808, 1960.
18. A.J. Berni and W.D. Gregg
"On the utility of chirp modulation for digital signaling," IEEE Trans. Commun. Vol. COM-21, pp. 748-751, 1973.

19. J. Burnswieg and J. Wooldridge
"Ranging and data transmission using digital encoded FM-'chirp' surface acoustic wave filters," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-22, pp. 272-279, 1973.
20. J.P. Costas
"Poisson, Shannon, and the radio amateur," Proc. IRE, vol. 47, pp. 2058-2068, 1959.
21. CCITT-IIIrd Plenary Assembly (Geneva, 1964),
Blue Book, vol. II, p. 239, published by the ITU, Geneva, 1965.
22. G.R. Cooper and R.W. Nettleton
"A spread spectrum technique for high capacity mobile communication", Proc. 27th Annual Veh. Technol. Conf., Orlando, FA, 1977.
23. R.P. Eckert and P.M. Kelly
"Implementing spread spectrum technology in land mobile radio services", IEEE Trans. Commun., vol. COM-25, p. 867-869, Aug. 1977.
24. P.M. Hopkins and R.S. Simpson
"Probability of error in pseudonoise (PN)-modulated spread spectrum binary communication system", IEEE Trans. Commun. Vol. COM-23, pp. 467-472, April 1975.
25. P.A. Kullstam
"Spread spectrum performance analysis in arbitrary interference", IEEE Trans. Commun., Vol. COM-25, pp. 848-853, August 1977.
26. M.B. Pursley
"Performance evaluation for phase-coded spread spectrum multiple access communication Part I: System Analysis", IEEE Trans. Commun. Vol. COM-25, pp. 795-799, August 1977.
27. R.A. Scholtz
"The spread spectrum concept", IEEE Trans. Commun. Vol. COM-25, pp. 748-756, August 77.

28. M.K. Simon
"Noncoherent pseudonoise code tracking performance of spread spectrum receivers", IEEE Trans. Commun., Vol. COM-25, pp. 327-345, March 1977.
29. R.W. Donaldson
"Analysis and Design of mobile radio cellular systems with fixed channel assignments," D.O.C. Contract report, Jan. 1978.
30. "Spread Spectrum Modulation Techniques," Doc. 1/161-E, CCIR Study Groups, Oct. 1977.
31. "Considerations of Criteria for frequency sharing between conventional voice communications and spread-spectrum systems," Doc. 1/170-E, CCIR Study Groups, Oct. 1977.
32. H.R. Raemer
"Statistical Communication Theory and Applications", Prentice-Hall, 1969.

IV CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS POUR ETUDES ULTERIEURES

Dans ce rapport nous avons considéré deux méthodes de gestion du spectre de fréquence pour la communication mobile-terrestre. La première méthode, était l'adoption d'un système cellulaire pour une région donnée avec un système d'attribution de canaux hybride assez sophistiqué et utilisant la discipline Erlang-C. Un modèle de simulation a été développé en utilisant le langage GPSS. A cause de la complexité du modèle, un traitement analytique était impossible. Avec le modèle nous avons attribué jusqu'à 33% des canaux disponibles par cellule pour être utilisés de façon dynamique. Les résultats obtenus ont montré que les systèmes ayant le plus de canaux dynamiques, donnaient la plus petite probabilité que tous les canaux soient occupés, le temps d'attente le plus court et le plus petit nombre moyen d'appels qui attendent dans la queue, pour des augmentations de trafic jusqu'à 15% au-dessus de la charge de base. Pour des augmentations de trafic de 15% à 32% au-dessus de la charge de base, un nombre moyen de canaux dynamiques donnait les meilleurs résultats. Pour

des augmentations de 32% à 40%, un nombre petit de canaux était supérieur, tandis que pour des augmentations au-dessus de 40%, le système fixe prenait le devant. L'explication de ce comportement est que les canaux dynamiques ne sont pas toujours utilisés le maximum de fois dans l'aire de service. Le système fixe se comporte mieux lorsque la charge est élevée à cause de la réutilisation maximum des canaux.

Au sujet de l'application des techniques d'étalement du spectre pour la communication mobile, seulement une revision des techniques de base et quelques avantages et désavantages ont été donnés.

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

1. Quel est l'amélioration de l'utilisation du spectre de fréquence en utilisant le système dynamique ou hybride au lieu du système fixe? Ici les notions économiques des différents paramètres utilisés, tels que la largeur de bande disponible, le coût de la manipulation des données, le coût de l'équipement requis, etc. sont nécessaires avant que l'on puisse tirer des conclusions.

2. Le problème du système d'attribution des canaux fixe dans les cellules, en obéissant aux lois de l'interférence et en considérant la distance minimum de réutilisation, exige la découverte d'algorithmes puissants.

3. Un traitement analytique devrait être tenté de façon à vérifier la validité des résultats de la simulation.

4. Des études ultérieures des systèmes à spectre étalé et de leurs applications à la communication mobile sont en demande.

5. Une comparaison entre le système cellulaire, les techniques d'étalement du spectre et la modulation sur bande latérale unique (SSB) pour la communication mobile est recherchée.

