

CENTRE DE RECHERCHES MATHÉMATIQUES

Résumé du rapport final 1984-85

2. Etude portant sur l'optimisation du
nombre d'assignation de fréquences

par

1. M. DELFOUR (chercheur principal)
Centre de Recherches mathématiques



UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

P
91
C655
D443
1985
v.2

Résumé du rapport final 1984-85

2 Etude portant sur l'optimisation du
nombre d'assignation de fréquences

par

1 M. DELFOUR (chercheur principal)
Centre de Recherches mathématiques
Université de Montréal
C.P. 6128, Succ. A
Montréal, Québec
H3C 3J7

A l'intention du :

Ministère des Communications, Ottawa, Ontario, Canada

En vertu du :

Contrat no. 24ST.36100-4-4121
No. de séries OST84-00256
du Ministère des Approvisionnements et Services du Canada

Période :

1^{er} avril 1984 - 31 mars 1985

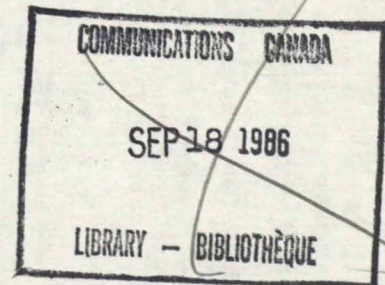
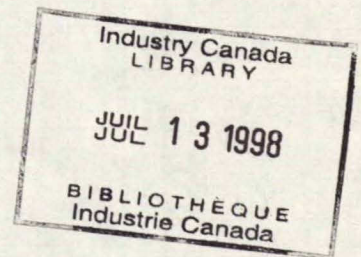


TABLE DES MATIERES

	Pages:
1. INTRODUCTION	1
2. LE PROBLEME DE L'ASSIGNATION DES FREQUENCES AUX RADIOS MOBILES TERRESTRES DANS UNE GRANDE VILLE	3
2.1 Les éléments du problème	3
2.2 Deux solutions extrêmes	5
2.3 Une nouvelle solution souple et économique	6
3. LES ELEMENTS DE LA NOUVELLE SOLUTION	8
3.1 Les stratégies linéaires d'assignation	9
3.2 Le partage des fréquences	12
3.3 Les multistratégies	14
3.4 Les filtres pour augmenter la mobilité des antennes et en permettre la dispersion dans chaque cellule	16
3.5 L'augmentation de la densité des assignations multiples	19
3.6 Quelques résultats d'assignation non-uniforme	20
3.7 L'élément de base de la gille	28
4. ASSIGNATIONS NON-UNIFORMES DANS UNE VILLE DE 96km AVEC REPETITION DU SPECTRE	29
4.1 La ville type choisie pour l'étude	30
4.2 Un seul centre-ville	31
4.2.1 Assignation uniforme dans chaque région	32
4.2.2 Assignation avec un pôle de concentration dans chaque région	35
4.2.3 Assignation uniforme en périphérie et un pôle de concentration et au moins 5 fréquences par gros carré de 4km de côté au centre-ville	37
4.3 Deux centres-villes (ou un centre-ville et une zone industrielle)	39
4.3.1 Assignation uniforme dans chaque région	40
4.3.2 Assignation avec un pôle de concentration dans chaque région	43
4.3.3 Assignation uniforme en périphérie, et un minimum de 1 fréquence par petit carré de 1km de côté avec concentration au centre des deux centres-villes	45
5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	47
5.1 Résultats et conclusions	47
5.2 Recommandations	49
5.3 Recommandation pour le système cellulaire	51

1. INTRODUCTION

L'objectif de ce rapport est de présenter une nouvelle méthode mathématique pour la génération de grilles d'assignation des fréquences aux stations de bases d'un réseau de radios mobiles terrestres dans une grande ville canadienne. Il échantillonne le rapport final 1984-85 et résume les résultats que nous jugeons les plus pertinents à la solution de ce problème formulé à l'époque par le Dr. G. De Couvreur du Ministère des Communications.

Le résultat concret de ce travail a été la mise au point d'une nouvelle approche mathématique pour ce problème. Les avantages pratiques en sont :

1. une réduction considérable des coûts de gestion du spectre par la suppression presque totale des calculs de compatibilité électromagnétique (EMC),
2. une gestion souple et rapide favorisant une certaine décentralisation des décisions,
3. une grande uniformité de la qualité des communications d'un usager à l'autre,
4. la possibilité d'améliorer encore la qualité des communications en tenant compte au départ de plus de mécanismes d'interférence.

Cette approche avantageuse nécessite un minimum de planification préalable basée sur la génération de grilles de grande capacité pouvant s'adapter aux changements de la demande des utilisateurs dans le temps et dans l'espace.

Le potentiel d'application de ces méthodes est très vaste. Selon les accords existants à l'échelle nationale ou internationale, il est possible de considérer une région urbaine, le Canada, l'Amérique du Nord ou même toute la planète. Ces grilles sousjacentes sont indépendantes de la position, de la forme et de la grandeur de la région considérée. En tout point on pourra pratiquement installer une antenne où il y aura un choix très large de fréquences à assigner. Dans une région urbaine, on pourra concentrer une partie importante des assignations au centre-ville et dans les zones industrielles tout en conservant aussi un minimum de fréquences pour les régions périphériques. Si le centre-ville ou les zones industrielles se déplacent, ces changements pourraient être faits de façon continue sans avoir à modifier la grille initiale ou bousculer les utilisateurs existants.

Il est cependant nécessaire pour l'application de ces méthodes de partir avec un spectre de fréquences "vierge". Pour un pays industrialisé cette méthode pourrait donc être utilisée pour une nouvelle bande de fréquences qui serait ouverte aux utilisateurs comme le nouveau système ACSSB (Amplitude Compounded Single Sided Band). Pour un pays en voie de développement, c'est la méthode la plus efficace, rapide et économique de mettre sur pied un réseau de communication pour les radios mobiles terrestres.

Les travaux de recherche qui ont menés à la construction de ces grilles et à l'élaboration de ces méthodes ont été initiés par le Dr. Gilbert De Couvreur. Ces recherches ont fait l'objet de contrats entre le Ministère des Communications et le Centre de recherches mathématiques de l'Université de Montréal au cours des cinq dernières années.

2. LE PROBLEME DE L'ASSIGNATION DES FREQUENCES AUX RADIOS MOBILES TERRESTRES DANS UNE GRANDE VILLE

2.1 Les éléments du problème

Le problème de l'assignation des fréquences est un problème dynamique dans le temps et dans l'espace. D'année en année les utilisateurs changent, leur nombre varie et la distribution géographique de la demande obéit aux moteurs socio-économiques propres à la région considérée.

La difficulté du problème provient des interférences électromagnétiques entre les fréquences assignées aux différentes stations de base. Chaque fois qu'il y a une demande de fréquence en un point géographique donné il faut choisir parmi les fréquences disponibles

- 1) celle pour laquelle il n'y a pas d'interférences électromagnétiques (au sens des règles de non-interférence suivies par le Ministère) avec les fréquences déjà assignées dans la région
- 2) et celle qui respecte les règles de co-canalité lorsqu'une fréquence est partagée entre plusieurs usagers.

L'objectif est de satisfaire à la demande des utilisateurs dans le temps et dans l'espace. Ceci nécessite évidemment une gestion centralisée pour tenir compte des changements de la demande. A l'heure présente une partie importante des coûts de gestion du spectre provient de la nécessité de faire des calculs pour s'assurer de la compatibilité électromagnétique (EMC) de la fréquence que l'on désire assigner.

Comme le processus d'assignation courant à SMS est séquentiel, on peut se demander si les assignations résultantes, les puissances choisies et les contraintes mises sur les usagers résultent en une utilisation optimale et/ou rationnelle du spectre et des ressources et budgets consacrés à sa gestion. Ceci nous amène à nous pencher sur les points suivants :

- a) le choix des politiques d'exploitation du spectre électromagnétique
- b) le choix des méthodes d'assignation des fréquences et de gestion du spectre
- c) l'identification des paramètres qui assurent une meilleure utilisation du spectre et une plus grande souplesse dans sa gestion.

2.2 Deux solutions extrêmes

Il y a pour ce problème deux philosophies extrêmes entre lesquelles il y a place pour un large éventail de politiques réalistes allant de la plus économiquement chère assurant la plus grande liberté aux utilisateurs à la meilleure marché où toutes les assignations sont fixées à l'avance une fois pour toute.

Les politiques canadiennes présentes semblent mettre peu de contraintes sur l'utilisation d'une nouvelle bande de fréquence. Chaque demande de fréquence est satisfaite au moment de la demande de l'utilisateur à partir des fréquences disponibles. Si ce choix est difficile, le gestionnaire peut jouer sur la puissance et la hauteur de l'antenne, exiger l'addition d'un filtre passe bande ou l'utilisation d'une antenne directionnelle, ou encore combiner le tout. Le coût important associé à cette approche provient des calculs de compatibilité électromagnétique (EMC).

Un bon exemple de la philosophie inverse nous est donné par les politiques allemandes. En effet pour réduire et même éliminer les calculs de EMC, ils ont investi quelques années pour construire un plan ou grille d'assignation pour tout le pays prévoyant dans chaque région un ensemble fixe de fréquences assignables, les puissances d'émission maximales et les spécifications minimales de l'équipement correspondantes. En faisant cela les calculs d'EMC sont éliminés et les coûts de gestion minimisés. Cependant il n'y a pratiquement pas de possibilité d'adaptation de la grille à des changements importants de la demande des utilisateurs dans le temps (au cours des années) ou dans l'espace (mobilité des centres urbains ou des zones industrielles).

2.3 Une nouvelle solution souple et économique

Ce que nous allons présenter dans ce rapport c'est une solution intermédiaire qui retient une bonne partie des avantages respectifs des deux solutions extrêmes du paragraphe précédent.

Nous construisons d'abord une grille d'assignation fixe recouvrant toute la région considérée quelqu'en soit la taille et la forme. Cette construction assure que toutes les conditions de non-interférence sont vérifiées sauf peut-être les conditions de co-canalité. Ceci élimine les calculs de EMC comme dans l'approche allemande. Nous supposons dans tout cela que les antennes émettrices sont omnidirectionnelles avec une puissance effective d'émission de 200 Watts. Donc en plus des considérations ci-dessous, nous laissons au gestionnaire ces deux variables supplémentaires de décision.

Pour récupérer la souplesse de l'approche canadienne, on utilise le mécanisme de partage des fréquences. En incorporant ce mécanisme dans la génération de la grille on arrive à augmenter considérablement la densité des assignations jusqu'à 19 fréquences par kilomètre carré pour une distribution géographiquement uniforme. Cette densité peut-être augmentée à 171 fréquences pour une région de $1,02\text{km}^2$ en introduisant localement une non-uniformité dans la distribution géométrique. Pour quantifier la capacité d'assignation de la grille que nous avons construite, nous donnons quelques chiffres qui expliquent pourquoi nous pouvons récupérer une grande souplesse pour satisfaire la demande changeante des utilisateurs malgré l'utilisation d'une grille fixe. En effet la grille construite prévoit la possibilité d'assigner le spectre de 1024 fréquences 171 fois dans une région carrée de

96km de côté. C'est une capacité limitée mais considérable. D'autre part les politiques présentes du Ministère permettent la répétition d'une fréquence au plus 5 fois dans une région carrée de 96km de côté. Nous n'utiliserons donc que 5/171 ème ou environ 3% de la capacité totale d'assignation de la grille. Par ce mécanisme nous récupérons le côté positif des politiques canadiennes : la capacité d'adaptation à des changements de la demande des utilisateurs dans le temps et dans l'espace.

En résumé notre solution consiste en la construction de grille prévoyant une très grande densité d'assignation des fréquences. Comme nous n'utiliserons que 3% de cette capacité d'assignation, nous éliminerons d'une part tous les calculs de EMC et nous préserverons une souplesse limitée mais extrêmement grande d'adaptation aux changements de la demande.

Les méthodes mathématiques utilisées à cette construction ont été mises en oeuvre sous forme de programmes d'ordinateur qui peuvent être facilement utilisés avec des temps de calcul très raisonnables. Il est donc possible de recommencer les calculs du rapport final 1984-85 pour une nouvelle bande de fréquence et pour de nouvelles spécifications exigées du matériel recommandé aux utilisateurs. Réciproquement à partir des performances désirées pour la bande de fréquence choisie, on peut préciser les spécifications du matériel exigé des utilisateurs.

3. LES ELEMENTS DE LA NOUVELLE SOLUTION

Nous ne pouvons pas ici entrer dans le détail des calculs qui entourent la construction de l'élément de base de la grille. Nous allons cependant en indiquer les étapes et donner les chiffres correspondants aux exemples du paragraphe 4.

Toutes les antennes émettrices sont omnidirectionnelles en mode simplex avec une puissance effective d'émission de 200 Watts. Il y a 1024 fréquences à assigner. Ces fréquences sont choisies dans la bande VHF ($F = 160\text{MHz}$). La distance entre deux canaux adjacents est de $\Delta f = 30\text{kHz}$. Le niveau minimum du signal reçu P_{MIN} varie de -132dBW à -148dBW . Les calculs d'interférence électromagnétique (EMC) ont été faits à partir des équations présentement utilisées par SMS (cf. G.A. De Couvreur [1] et rapports finals de 1982-83 et 1983-84). Les spécifications du matériel exigé des utilisateurs sont aussi celles utilisées par SMS. Nous pouvons cependant refaire tous les calculs pour une nouvelle bande et de nouvelles spécifications.

Pour le partage des fréquences les conditions de co-canalité utilisées sont aussi celles utilisées par SMS :

- 1) ne pas répéter une fréquence plus de cinq (5) fois dans un rayon de 100km,
- 2) ne pas répéter une fréquence en deça de 5km ou au-delà de 30km.

3.1 Les stratégies linéaires d'assignation

Le point de départ de nos travaux a été la suggestion du Dr. G.A. De Couvreur d'oublier dans une première étape le côté dynamique du problème, de se restreindre à une ville carrée d'environ 100km de côté et d'essayer d'y assigner 1024 (32×32) fréquences choisies dans la bande VHF. L'objectif initial était d'une part de trouver des méthodes mathématiques pour déterminer la capacité maximale d'assignation dans cette région, et d'autre part de déterminer le degré de non-uniformité que pouvaient supporter ces grilles. Par non-uniformité on entend ici la présence d'un centre-ville et/ou d'une ou plusieurs zones industrielles.

La première remarque est qu'il n'est pas nécessaire de travailler avec les vraies fréquences du spectre. Il est plus pratique et tout aussi correct de remplacer les 1024 fréquences de notre bande VHF par l'ensemble des entiers de 0 à 1023

$$M = \{m : m \text{ entier}, 0 \leq m < 1024\}.$$

Pour obtenir une distribution uniforme des 1024 fréquences nous avons subdivisé le gros carré de 100km de côté en 1024 petits carrés de 3,125km de côté. Nous avons supposé pour nos calculs que l'antenne émettrice était placée au centre de chacun des petits carrés que nous désignerons à partir de maintenant sous le nom de cellule.

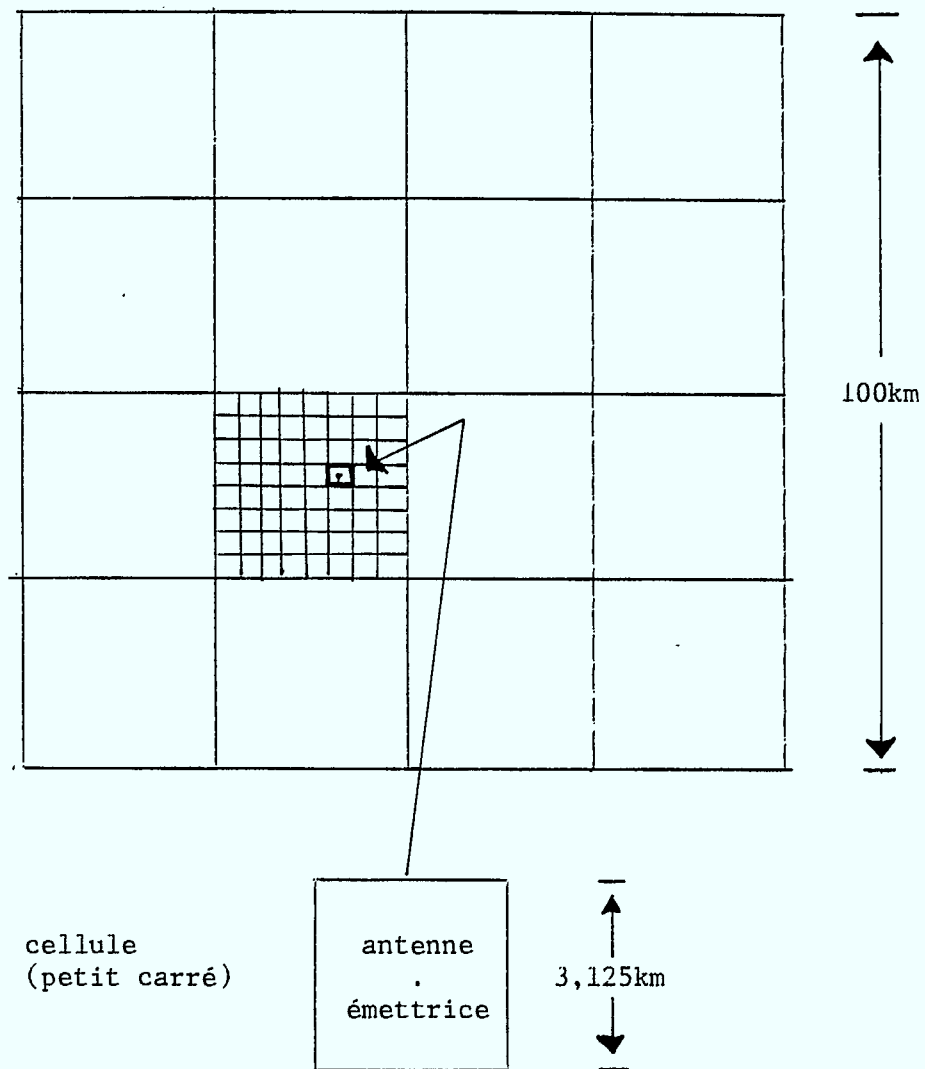


Figure 1. Partition de la région carrée en 1024 cellules.

Lorsque le spectre n'est assigné qu'une fois à la région, nous avons montré qu'il est avantageux d'utiliser les stratégies d'assignation linéaires (cf. rapport final 1981-82). Une stratégie linéaire est caractérisée par deux nombres entiers. Elle donne en fonction de la position de chaque cellule la fréquence qui doit y être assignée. Une optimisation par rapport à toutes les paires d'entiers nous permet de déterminer les stratégies qui respectent toutes les conditions de non-interférence. Pour P_{MIN} égal à -132, -140 et -148dBW le nombre de paires admissibles était de respectivement 8×1760 , 8×1413 et 8×180 .

Grâce à cette marge de manoeuvre il nous a aussi été permis de calculer le diamètre $2R$ du disque dans lequel les antennes peuvent indépendamment être déplacées à l'intérieur de chaque cellule tout en continuant à respecter les conditions de non-interférence.

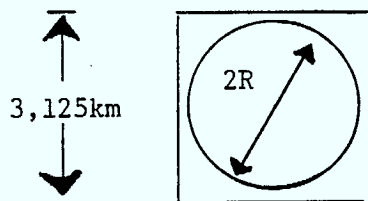


Figure 2.

Ce diamètre passe de 2,96 à 2,84 et 2,57km lorsque P_{MIN} varie de -132 à -148dBW.

Il a aussi été possible de calculer jusqu'à quel point il est possible de comprimer la ville initiale de 100km tout en continuant à respecter les conditions de non-interférence. Lorsque P_{MIN} varie de -132 à -148dBW, la longueur minimum du côté de la ville est respectivement de 39km²², 53km³¹ et 78km¹⁴ (cf. rapport final 1982-83).

3.2 Le partage des fréquences

Une stratégie linéaire ne spécifie pas seulement l'assignation du spectre aux cellules de la grande région carrée initiale. En effet si l'on étend la partition en petites cellules à tout le plan horizontal la stratégie linéaire spécifie la fréquence à utiliser dans chacune de ces cellules. On peut montrer que, dans n'importe carré de 100km, on retrouve exactement les 1024 fréquences du spectre. Il ne s'agit pas cependant d'une reproduction périodique du carré initial. On peut à la rigueur parler d'une "quasi-périodicité" (cf. rapports finals 1981-82 et 1982-83 page 126).

Cette remarque suggère qu'il est déjà possible de répéter le spectre un certain nombre de fois. Si l'on prend par exemple $P_{\text{MIN}} = -132\text{dBW}$ et la région comprimée à un carré de 39km²² de côté, il devient possible de répéter le spectre 9 fois dans un carré de $3 \times 39,22 = 117,66\text{km}$

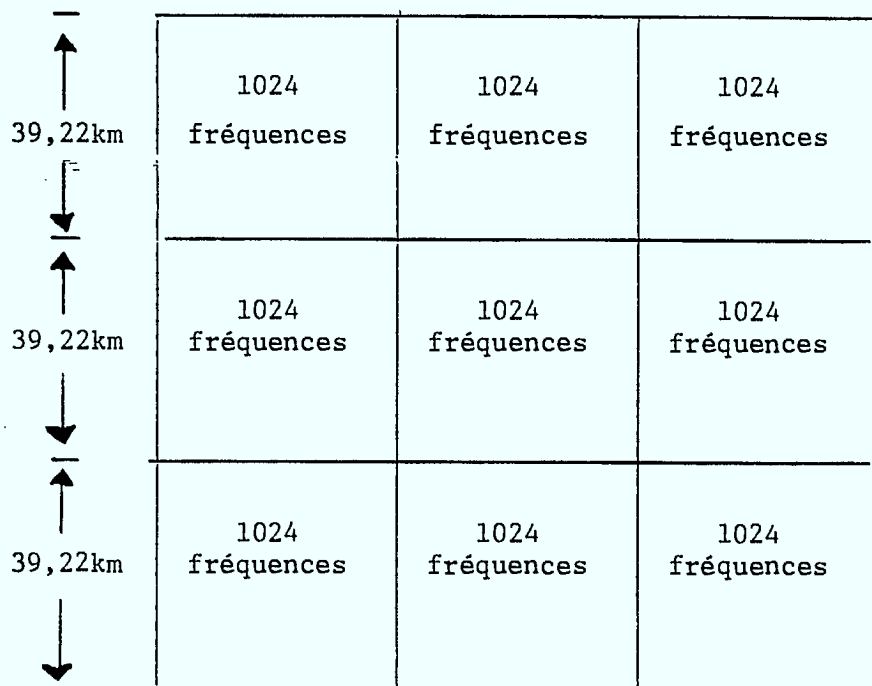


Figure 3.

Il est important d'insister sur le fait que la structure des stratégies linéaires est telle que les conditions de non-interférence seront automatiquement vérifiées d'un carré à l'autre.

Le point faible de cette construction est que, en mode co-canal, une fréquence donnée ne peut être répétée au-delà de 30km. Or par construction cette condition sera presque toujours violée.

On voit donc que pour travailler en mode co-canal il faut pouvoir répéter une fréquence dans un disque d'environ 30km. Pour arriver à ce résultat nous avons mis au point les multistratégies.

3.3 Les multistratégies

Pour palier aux difficultés mentionnées au paragraphe 3.2, il a donc été nécessaire de faire des assignations multiples sur un même mât dans chaque cellule. Par exemple, en répétant le spectre N fois, il devient possible d'assigner N fréquences par cellule. Une multistratégie est une règle d'assignation de N fréquences par cellule. Nous avons choisi de la construire en faisant N translations d'une stratégie linéaire. Ceci revient à ajouter aux deux entiers caractérisant une stratégie linéaire un vecteur de translation comprenant N entiers compris entre 0 et 1023 (cf. rapport final 1983-84).

En plus des conditions de non-interférence intercellulaires, il faut ajouter maintenant des conditions de non-interférence intracellulaires :

- 1) toutes les fréquences sont différentes
- 2) il n'y a pas de produits d'intermodulation et
- 3) il doit y avoir un écart minimum de fréquences $\Delta F_{\min} \geq 6$ canaux
(pour le cas sans filtre).

Des méthodes mathématiques ont été mises au point pour que la vérification de ces conditions n'ai besoin d'être faite que sur les N fréquences définissant le vecteur des translations de la stratégie linéaire. Une fois ceci vérifié les conditions 1), 2) et 3) seront automatiquement vérifiées dans toutes les autres cellules (cf. rapport 1983-84 paragraphes 4.3 à 4.7).

Pour éviter le phénomène décrit au paragraphe 3.2 nous nous sommes assuré que pour chaque fréquence les N répétitions soient faites dans un rayon d'environ 30km et qu'elles soient distantes les unes des autres d'au moins 5km. De plus on a cherché à s'assurer que chaque mât puisse être

déplacé dans un disque de diamètre $2R$ centré au centre de chaque cellule. Pour un indice de répétition $N = 5$, $2R = 2,67\text{km}$ et l'écart minimum de fréquence ΔF_{\min} dans chaque cellule est d'au moins 30 canaux pour $P_{\text{MIN}} = -132\text{dBW}$; pour $N = 10$, $2R = 0,73\text{km}$ et $\Delta F_{\min} \geq 14$ canaux. Si l'on tient maintenant compte de la condition de cocanalté de 5km et de 30km, on a calculé que plus de 93% des $5 \times 1024 = 5120$ fréquences étaient assignable pour $N = 5$. Pour $N = 10$, 86% des $10 \times 1024 = 10240$ fréquences sont assignables. Dans ce dernier cas si l'on tient compte du fait qu'une fréquence est partagée au plus cinq fois, alors toutes les 5120 fréquences sont assignables (cf. rapport final 1983-84 paragraphes 5.2 à 5.3).

Par ces constructions nous avons donc démontré qu'il était possible d'assigner 5 fois le spectre de 1024 en mode partagé à une région carrée de 100km de côté. Comme dans le cas des stratégies linéaires, on peut se poser la question de la mobilité du mât dans chaque cellule et celle de la compression maximale possible de la région. Pour la mobilité on a vu que $2R$ diminuait de 2,67km à 0,73km lorsque N passe de 5 à 10. Pour la compression maximale on obtient lorsque P_{MIN} varie de -132dBW à -148dBW les bornes inférieures de 39km²², 53km³¹ et 78km¹⁴ (cf. rapport final 1984-85 paragraphe 4).

3.4 Les filtres pour augmenter la mobilité des antennes et en permettre la dispersion dans chaque cellule

Nous avons utilisé dans notre étude deux versions d'un filtre "passe-bande" symétrique : le filtre large et le filtre étroit

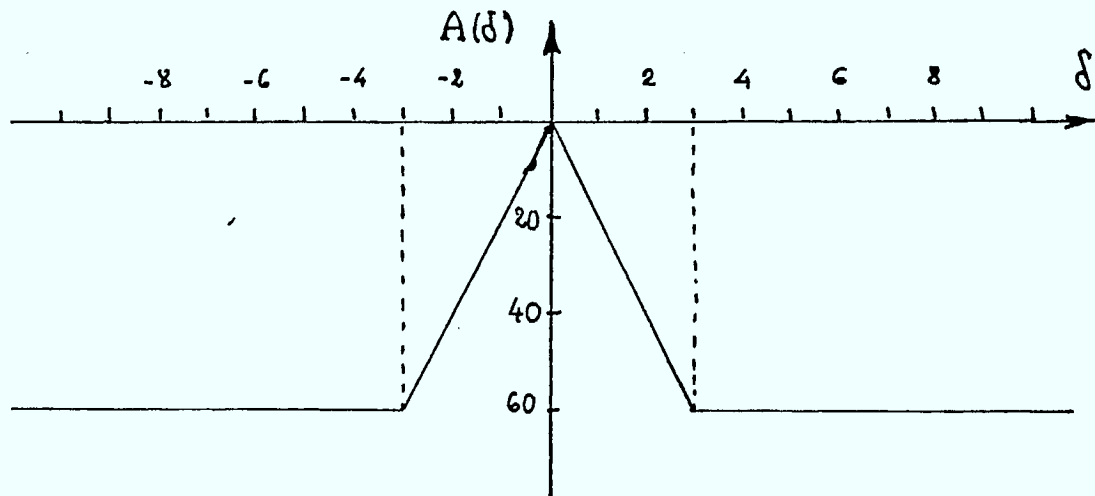


Figure 4. Filtre étroit

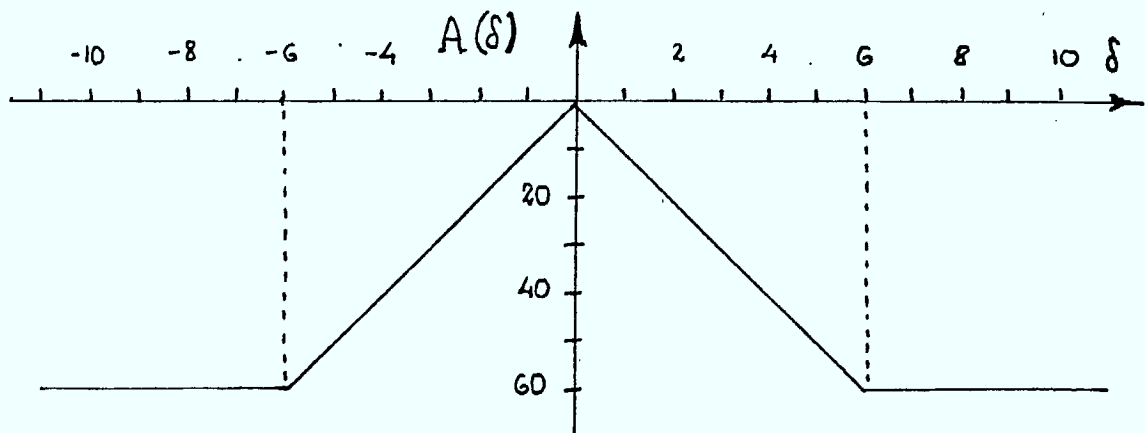


Figure 5. Filtre large

Comme les cellules sont carrées, nous avons mesuré la mobilité des antennes à l'aide d'un petit carré concentrique à la cellule de côté a (cf. Figure 6) plutôt qu'un disque de diamètre $2R$ (cf. rapport final 1983-84 paragraphe 6).

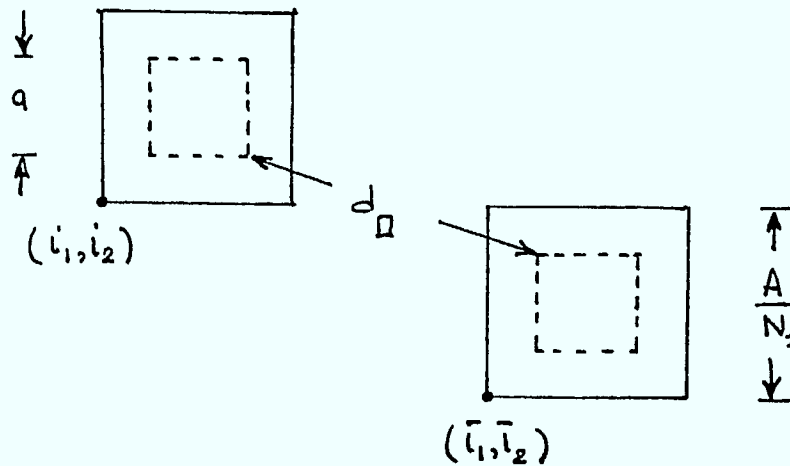


Figure 6.

Si l'on fixe le côté du petit carré $a = 3,120\text{km}$ on obtient le tableau suivante pour le petit filtre

P_{MIN} \ N	5	6	7	8
-132dBW	159	154	122	85
-140dBW	149	130	122	73

Tableau 1. Ecart minimum de fréquence ΔF_{min} mesuré en canaux dans chaque cellule.

Si l'on se rappelle que le côté de la cellule est 3,125km cela veut dire que nous avons une mobilité presque totale du mât sur lequel se trouve les N fréquences. D'autre part comme il y a un écart minimum de 73 à 159 canaux entre les fréquences assignées dans chaque cellule, il devient possible de disperser les N fréquences à l'intérieur de chaque cellule au lieu de les garder sur un même mât. En effet, par construction, il n'y a pas de produits d'intermodulation ni de fréquences adjacentes dans une même cellule. Il ne reste donc qu'à vérifier les conditions de désensibilisation qui pour les écarts mentionnés plus haut n'exigent que les antennes soient distantes d'au plus quelques centimètres! L'utilisation du filtre large nous a donc permis de compenser la perte de mobilité des antennes qui résultait de la répétition du spectre N fois. En fait nous avons non seulement récupéré, mais aussi considérablement gagné de mobilité. Enfin il est bon de noter que l'incorporation du filtre large dans nos calculs n'est pas du tout irréaliste car cela correspond aux spécifications de l'équipement disponible aujourd'hui pour les utilisateurs (cf. rapport final 1983-84).

3.5 L'augmentation de la densité des assignations multiples

Malgré les résultats fort positifs du paragraphe précédent nous nous sommes aperçus qu'il était très difficile d'augmenter l'indice de répétition N tout en maintenant une dispersion caractérisée par le côté $a = 3,120\text{km}$ du petit carré à l'intérieur de la cellule de côté $3,125\text{km}$. En fait pour $N \geq 9$ nous n'avons pas pu trouver de solution (cf. rapport final 1983-84, Remarque 1 page 94).

En regardant de plus près ces constructions, nous avons trouvé une explication à ce phénomène et de là un moyen d'aller au-delà de l'indice de répétition $N = 8$. Nous nous sommes aperçus que la contrainte provenant de l'effet combiné de la condition de mobilité de l'antenne dans le petit carré de côté a et des conditions de co-canalité qui exigent qu'une fréquence ne soit pas répétée en-deça de 5km et au-delà de 30km . Donc même l'utilisation de filtres plus sélectifs n'améliorerait pas la solution. Les filtres ne contribuent surtout qu'à augmenter le degré de mobilité et de dispersion des antennes à l'intérieur d'une même cellule.

Jusqu'ici nous avons travaillé avec une région carrée de côté $A = 100\text{km}$ divisée en 1024 petites cellules de $3,125\text{km}$ de côté. Cela revient à diviser chaque côté en 32 intervalles égaux. Pour augmenter l'indice de répétition N il nous faut diminuer la taille des cellules. Cela revient à choisir un A plus petit et des cellules de côté $A/32$ tout en maintenant le paramètre de mobilité a très près de $A/32$ pour préserver la mobilité des antennes. Comme nous voulons répéter N fois dans le carré de côté A , il ne faut pas trop comprimer. Il ressort de notre analyse que l'idéal est de maintenir A autour du 30km de la condition de co-canalité. C'est ce genre d'argument

qui a été utilisé pour fixer A à 32km, soit des cellules de 1km de côté. Le paramètre de mobilité a été arbitrairement fixé à $a = 0,95\text{km}$. De nombreux calculs en fonction de N et P_{MIN} ont été faits pour les deux filtres (cf. rapport final 1983-84, paragraphe 5). Pour le filtre étroit et $P_{\text{MIN}} = -132\text{dBW}$, nous avons pu aller jusqu'à $N = 19$ avec un écart minimum de fréquences ΔF_{min} de 4 canaux. Lorsque l'on tient compte des conditions de co-canalité il reste un pourcentage d'assignation possible de 72,5% des $19 \times 1024 = 19456$ fréquences de la grille (voir Tableau 1). En d'autres termes si l'on pouvait partager le spectre 19 fois, il serait possible de satisfaire simultanément 14 118 usagers dans une région carrée de 32km de côté, soit une densité de 13,8 fréquences par kilomètre arré.

3.6 Quelques résultats d'assignation non-uniforme

Lorsque le spectre n'est assigné qu'une fois il est possible de concentrer les 1024 fréquences dans un centre-ville de 8km de côté (Tableaux 2 et 3). Lorsque le spectre est assigné 5 fois il est possible de concentrer les $5 \times 1024 = 5120$ fréquences dans un centre-ville de 20km de côté, soit une moyenne de 12,8 fréquences par kilomètre carré (Tableau 4).

Lorsque le spectre est assigné 5 fois à la région carrée choisie de 32km de côté, il est possible de spécifier à priori 2 ou 3 pôles de concentration des assignations pour tenir compte de la présence d'un centre-ville et de zones industrielles (cf. Tableaux 5 et 6). On peut aussi, au choix, spécifier l'assignation d'un nombre minimum de fréquences pour chaque cellule (0 ou 2 dans les exemples traités) (cf. Tableau 7). De cette façon on peut aller de la concentration maximum autour de un ou plusieurs pôles à l'assignation uniforme totale. On peut aussi laisser des zones avec aucune assignation

31-	1	1	1	1	2	3	5	6	8	11	13	13	15	14	14	15	16	16	16	14	12	12	12	12	11	9	7	4	5	5	4	4	
30-	2	3	3	3	4	4	5	6	8	11	13	13	15	14	15	15	16	16	16	15	13	13	13	17	11	10	8	5	6	6	4	4	
29-	2	3	3	3	4	6	6	7	8	9	12	12	14	13	14	14	15	15	15	15	14	15	15	14	13	12	8	5	6	6	5	4	
28-	2	3	3	4	6	8	8	9	9	10	12	12	14	13	14	14	15	15	15	15	14	15	15	14	13	12	11	5	6	6	5	4	
27-	6	7	8	9	11	13	13	14	14	14	16	16	15	15	16	16	16	16	16	16	15	16	16	15	14	12	8	8	8	7	7		
26-	7	8	9	9	12	14	14	15	15	14	16	16	15	15	16	16	16	16	16	16	15	16	16	15	14	12	9	8	8	7	7		
25-	8	9	10	10	13	15	15	16	17	17	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	15	14	11	10	10	9	8		
24-	8	9	10	10	13	15	15	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	15	14	11	10	10	9	8	
23-	10	11	11	11	15	17	17	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	15	12	11	11	10	9		
22-	10	11	11	12	16	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	15	13	12	12	11	10		
21-	11	12	12	13	16	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	17	16	15	15	15	13	11		
20-	12	13	13	13	17	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
19-	13	14	14	14	17	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
18-	14	15	15	15	17	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
17-	14	15	15	15	17	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
16-	14	15	15	15	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
15-	15	15	15	16	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
14-	13	15	15	16	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
13-	12	15	15	16	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
12-	12	15	15	16	17	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
11-	11	14	16	16	17	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	16	15	13	13	12	12		
10-	10	12	14	14	15	17	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
9-	10	12	14	14	15	17	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
8-	9	11	13	13	14	17	19	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
7-	7	8	9	9	9	12	16	16	15	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
6-	7	8	9	9	9	12	15	14	16	16	17	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
5-	6	7	8	8	8	11	14	14	13	14	15	16	17	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
4-	5	6	7	7	7	9	12	12	11	12	13	15	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
3-	2	2	2	2	2	5	7	9	9	11	12	14	15	15	17	17	16	16	16	16	17	17	16	15	15	12	8	7	4	5	5	5	
2-	1	1	1	1	1	4	6	9	9	11	11	13	13	13	15	15	15	15	15	15	15	16	16	15	14	14	11	7	6	4	5	5	5
1-	0	0	0	0	0	3	6	9	9	11	11	13	13	13	14	13	13	13	13	13	14	14	11	10	10	8	6	5	3	4	4	4	
0-	0	0	0	0	0	3	6	9	9	11	11	13	13	13	14	13	12	12	11	11	12	12	9	8	7	5	5	3	3	3	3		

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
R; T=50.43/51.33 11:22:18

Tableau 1. Une distribution qui maximise le pourcentage p d'assignations des 19 x 1024 = 19456 fréquences.

31-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	1	1	1	1	0	1	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	1	1	2	2	2	3	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	6	9	13	14	13	10	5	4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	13	18	18	18	18	17	10	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	19	19	19	19	19	18	14	6	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11	18	19	19	19	19	19	15	10	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8	18	19	19	19	19	18	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	6	16	18	19	19	18	10	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	5	7	13	16	18	16	12	6	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	1	3	4	8	10	6	4	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9-	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
POUR OBTENIR UNE SORTIE GRAPHIQUE TAPER 1, SINON 0

Tableau 2. Assignment du spectre sans répétition avec un pôle en (15,15) :
nombre de fréquences assignées par cellule (sortie imprimante).

31-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	9	11	10	7	5	3	3	3	2	1	1	1		
30-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	12	14	15	12	11	7	6	5	4	3	2	1	1		
29-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	12	16	16	15	14	12	10	10	9	7	4	2	1	
28-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8	15	17	17	17	17	17	16	15	13	13	8	2	1	
27-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7	16	17	17	17	18	18	18	18	16	16	11	6	1	
26-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	14	16	16	19	19	19	19	19	18	18	12	7	2	
25-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	14	16	18	18	19	19	19	19	19	18	14	10	4	
24-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	14	18	18	18	19	19	19	19	19	19	17	10	6	
23-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	17	18	18	18	18	19	19	19	18	18	17	11	8	
22-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	17	18	18	17	17	17	18	17	17	17	18	13	10	
21-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	11	17	18	17	17	18	18	17	17	17	17	17	14	11	
20-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	11	17	16	16	17	17	17	17	17	17	17	15	12	12	
19-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	11	11	14	13	14	14	13	13	12	11	12	14	11	8
18-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	4	6	7	10	9	9	5	5	6	6	4	4	3	
17-	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	2	2	2	1	2	3	2	2	1	2	1	2	1	0	0		
16-	2	0	1	3	3	2	2	3	2	1	1	1	1	2	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0		
15-	2	2	4	5	4	4	5	6	4	5	7	9	8	4	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14-	1	3	6	11	13	12	13	12	10	12	13	12	12	11	9	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13-	1	4	10	13	16	16	17	16	16	16	16	15	17	17	13	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12-	1	5	11	16	17	17	17	18	17	17	17	17	17	17	12	7	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11-	0	5	12	16	17	17	17	17	18	17	17	17	17	17	13	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10-	0	3	9	15	17	17	18	18	18	18	18	17	17	17	14	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9-	0	5	8	13	16	19	19	19	19	19	18	18	17	17	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8-	1	4	6	9	17	18	19	19	19	19	19	18	18	17	14	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7-	0	2	5	9	16	18	19	19	19	19	19	18	18	17	8	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6-	1	1	2	8	14	17	17	19	19	19	18	18	18	18	17	8	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-	0	1	2	4	12	13	15	15	16	17	17	17	18	18	17	12	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4-	0	0	2	3	3	5	8	10	9	12	16	17	17	18	16	9	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-	0	1	2	1	2	2	4	5	5	8	11	15	16	15	15	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2-	1	2	1	1	0	1	1	3	4	6	8	11	10	10	4	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-	2	1	1	0	0	1	0	2	2	2	3	7	6	4	2	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0-	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
 POUR OBTENIR UNE SORTIE GRAPHIQUE TAPER 1, SINON 0

.0
 R: T=3.36/4.15 11:51:40

Tableau 5. Assignation du spectre 5 fois avec deux pôles en (8,8) et (25,25) :
 nombre de fréquences par cellule (sortie imprimante).

(par exemple en raison de la présence d'un lac). La forme de la ville et la forme des zones de concentration sont arbitraires.

Le choix des cellules où les fréquences sont assignées dans les exemples précédents est aussi tout à fait arbitraire.

Le programme pourrait être modifié pour tenir compte d'une demande irrégulière. Initialement toutes les fréquences sont disponibles. Le gestionnaire pourrait spécifier une cellule où il veut assigner certaines fréquences.

Le programme donnerait alors la liste de fréquences disponibles dans la cellule choisie. Le choix des fréquences retenues serait enregistré sur disque permettant au gestionnaire du spectre de répéter l'opération plusieurs fois.

3.7 L'élément de base de la grille

C'est donc cette grille de 32km × 32km avec le filtre étroit passe-bande que nous avons choisie comme élément de base dans les constructions du paragraphe 4 pour une ville de 96km de côté. Ceci est rendu possible par le fait que la multiassignation correspondant à la grille de base de 32km × 32km s'étend à tout le plan horizontal de façon quasi-périodique.

4. ASSIGNATIONS NON-UNIFORMES DANS UNE VILLE DE 96km AVEC REPETITION DU SPECTRE

Nous avons vu au paragraphe 3.5 l'extraordinaire souplesse de notre méthode pour une ville de 32km de côté où nous avons pu imaginer plusieurs scénarios illustrant la grande souplesse et la capacité des multistratégies combinées avec l'utilisation du filtre étroit.

Nous allons maintenant revenir à une ville typique carrée de 96km (c'est-à-dire, à peu près 100km). Comme nous l'avons déjà vu, une multistratégie ne couvre pas seulement le carré correspondant à la grille 32×32 . En effet cette multistratégie s'étend à tout le plan dans toutes les directions. Aussi en tous les points de cette grille infinie il y a N fréquences spécifiées par la multistratégie. Toutes les conditions de non-interférence sont respectées sauf possiblement les deux conditions de co-canalité du 5km et du 30km.

Il est donc naturel de considérer la ville de 96km comme étant composée de 9 carrés de 32km. La philosophie sous-jacente sera de répartir les 1024 fréquences uniformément ou non entre les 9 régions. Les fréquences assignées à chaque région pourraient alors y être répétées 5 fois.

Nous allons considérer deux scénarios. Le premier avec un centre-ville et le second avec deux centres-villes ou encore un centre-ville et une zone industrielle. Dans chaque cas on considérera les cas extrêmes représentés par une distribution uniforme dans chaque région et une concentration au centre de chaque région. En plus un cas intermédiaire sera considéré.

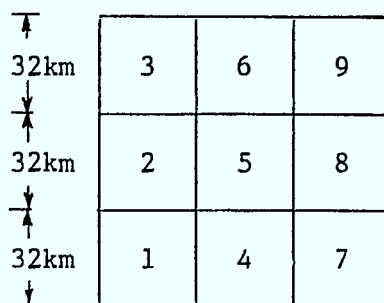
4.1 La ville type choisie pour l'étude

Figure 1. La ville type carrée de 96km de côté

Notre ville type est composée de 9 régions carrées de 32km par 32km. Chaque région comporte 1024 cellules de 1km^2 .

Dans tous les exemples qui suivent nous considérons la multistratégie (voir rapport 1984-85 pour la définition)

$$[I_1 i_1 + I_2 i_2 + T(n)] \bmod N_{12}$$

où

$$N_{12} = N_1 N_2 = 1024,$$

$$I_1 = 32$$

$$I_2 = 65$$

$$T(n) = 0, 19, 68, 119, 146, 168, 316, 420, 448, 468, \\ 472, 520, 588, 706, 774, 910, 924, 953, 1004 \\ 0 \leq n < 19$$

Chacune des antennes peut se déplacer dans un petit carré de 0,95km de côté, à l'intérieur d'une cellule

Comme les assignations s'étendent à tout le plan il est aussi possible de considérer une ville avec une forme arbitraire et même des trous (par exemple présence d'un grand lac). En superposant la grille type sur une telle ville on pourra alors déterminer des régions comme en Figure 1 et procéder aux constructions des paragraphes suivants.

4.2 Un seul centre-ville

Nous présentons tout d'abord une ville comprenant un seul centre-ville où sera assigné 50% du spectre. En raison de la condition de cocanalté nous avons choisi d'attribuer à chaque région une partie du spectre. Comme chacune de ces régions a été construite pour pouvoir répéter le spectre jusqu'à 19 fois, il sera toujours possible de le répéter 5 fois tout en vérifiant les conditions de cocanalté puisque chaque région est constituée du carré de 32km de côté dont on s'est servi au paragraphe 5.

Le spectre de 1024 fréquences a été réparti de la façon suivante entre les 9 régions.

région	bande de fréquences	nombre de fréquences assignables
1	512 - 575 (64)	320
2	576 - 639 (64)	320
3	640 - 703 (64)	320
4	704 - 767 (64)	320
5	0 - 511 (512)	2560
6	768 - 831 (64)	320
7	832 - 895 (64)	320
8	896 - 959 (64)	320
9	960 - 1023 (64)	320

Il est important de noter que nous n'avons pas essayé d'attribuer à chaque région un ensemble de fréquences en tenant compte d'un éventuel critère d'optimalité. Ceci pourrait être fait au besoin, mais ne s'est pas avéré nécessaire ici dans les constructions subséquentes.

Chaque fréquence pouvant être répétée 5 fois, les régions périphériques disposeront de 320 fréquences chacune et le centre-ville (région 5) de 2560 fréquences.

4.2.1 Assignation uniforme dans chaque région

Nous avons vu que chacune des régions périphériques dispose de 320 fréquences. Pour obtenir une assignation géométriquement uniforme il faut donc assigner 5 fréquences dans chaque carré de 4km de côté. En effet un tel carré contient 16 cellules carrées de 1km de côté et on a

$$320 \text{ fréq.}/1024\text{km}^2 = 5 \text{ fréq.}/16\text{km}^2$$

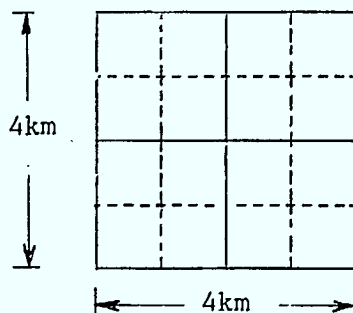


Figure 2. Région dans laquelle 5 fréquences sont assignées

Afin d'assurer une uniformité encore plus fine, on essaiera de placer au moins une fréquence dans chacune des quatre parties du carré de la Figure 2 comme indiqué en Figure 3.

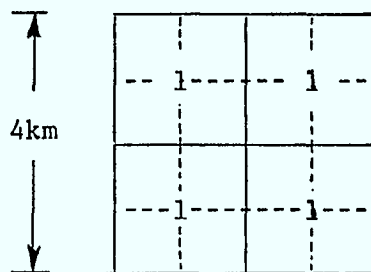


Figure 3. Minimum d'une fréquence par carré de 2km de côté

La cinquième fréquence pourra être placée n'importe où dans le carré de 4km de côté.

Au centre-ville nous avons imposé l'assignation de 40 fréquences dans chaque carré de 4km de côté puisque

$$2560 \text{ fréq.}/1024\text{km}^2 = 4 \text{ fréq.}/16\text{km}^2.$$

Les résultats sont présentés aux pages suivantes. Le Tableau 1 donne toutes les caractéristiques de la multistratégie, la géométrie de la ville, la position des pôles de concentration dans chaque région, la partie du spectre à assigner dans chaque région, le nombre maximum de répétitions et le nombre de fréquences à assigner dans chaque sous-région. Le Tableau 2 donne une sortie imprimante de la région 1. La Figure 4 donne le nombre de fréquences dans chaque petit carré de 4km de côté.

4	5	5	4	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	4	4
5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	7	5	6	5	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	6	7	5	5	5	5
5	6	6	5	7	6	5	5	5	5	5	6	6	6	5	5	5	5	5	7	7	4	5	5
5	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	4	5	5	5	6	5	4	5	5	4
5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4
5	5	5	4	5	5	5	4	40	40	40	40	40	40	36	39	5	5	5	5	5	5	4	5
5	5	5	5	5	5	5	5	40	40	40	40	40	40	40	38	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	4	40	40	40	42	40	40	40	40	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	40	40	40	40	40	40	40	40	5	5	6	5	5	5	5	5
5	5	5	6	6	6	5	5	40	40	45	42	41	40	40	40	5	5	6	7	6	5	5	5
5	5	6	6	5	5	5	5	40	40	40	40	40	40	40	40	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	4	40	40	40	40	40	40	39	40	5	5	5	5	5	5	4	4
5	5	5	5	5	5	4	5	39	40	40	40	40	40	40	39	4	5	5	5	5	5	5	4
5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4
5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	6	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5
5	5	5	5	6	5	5	4	5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	6	6	5	5	5
5	5	5	5	7	6	5	4	5	5	5	6	6	6	5	5	5	5	5	7	5	5	5	4
5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	6	5	5	4	5	5	5	5	5	6	5	5	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5
5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	5	5	5	5	5	5	4

Figure 4. Assignation uniforme dans chaque région

4.2.2 Assignment avec un pôle de concentration dans chaque région

On garde toujours la même multistratégie. On spécifie dans chaque région un pôle autour duquel les fréquences assignables à la région donnée seront concentrées. Dans cet exemple le centre de chaque région a été choisi comme pôle.

En comparant ces résultats à ceux de la Figure 4 au paragraphe précédent, on voit l'extrême souplesse de nos méthodes. Entre ces situations extrêmes on pourrait facilement tenir compte d'une demande ayant une distribution géométrique non-uniforme. Il serait aussi possible dans l'éventualité d'un changement de position du centre-ville ou d'une zone industrielle au cours des années d'assurer une transition souple et harmonieuse d'une distribution vers une autre.

		2	2		2				2				1				2	4	1		2	
	9	19	11	10	12	4			8	20	20	11	6	2			2	8	17	23	15	1
	2	15	28	21	10	1			5	9	17	28	20	3			5	23	17	13	19	3
	7	23	13	16	28	2			4	17	24	11	15	2			3	7	11	22	16	2
	6	6	17	20	11	3			10	13	10	16	19	4			13	27	21	10	12	2
	4	1	6	3	5	1			5	9	3	6					1	5	4	8	1	
		1	1		2				6	9	6	6	6	1			2	3	2	1	1	
	7	17	10	12	14	3			38	109	100	114	109	16			1	11	20	20	12	1
	5	18	28	19	8	1			49	121	128	120	112	20			7	23	13	15	23	2
	8	21	12	18	29	2			61	159	160	145	123	19			1	6	13	23	13	2
	4	7	20	18	11	3			58	142	144	153	156	32			13	28	18	9	14	4
	3		6	3	8	1			8	31	32	30	28	9			1	7	4	7		
					1						2			1			1	2	1	2		1
	7	15	10	14	15	4			8	20	20	11	6	2			1	14	21	19	9	1
	7	22	27	16	8	1			5	9	17	28	20	3			8	22	11	17	25	2
	8	18	13	21	27	3			4	17	24	11	15	2			2	6	17	22	10	2
	2	10	20	15	11	2			10	13	10	16	19	4			12	27	15	10	16	5
	3		5	5	10				5	9	3	6					1	8	6	3	1	

Figure 5. Assignment with concentration in each region

4.2.3 Assignation uniforme en périphérie et un pôle de concentration et au moins 5 fréquences par gros carré de 4km de côté au centre-ville

Ici nous imposons l'assignation d'au moins 5 fréquences par petit carré de 4km de côté dans chacune des régions. Il résulte de cette contrainte que les régions périphériques seront les mêmes que celles du paragraphe 4.2.1. Au centre-ville, c'est-à-dire dans la région 5, le pôle de concentration est placé au centre de la région. On voit en Figure 6 que l'on arrive très bien d'une part à assurer une assignation minimum de 5 fréquences par carré de 4km de côté et d'autre part à concentrer au centre du centre-ville.

4	5	5	4	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	4	4
5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	7	5	6	5	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	6	7	5	5	5	5
5	6	6	5	7	6	5	5	5	5	5	6	6	6	5	5	5	5	5	7	7	4	5	5
5	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	4	5	5	5	6	5	4	5	5	4
5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4
5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	9	10	7	8	8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	4	5	36	100	92	96	89	15	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	47	119	127	120	101	19	5	5	5	6	5	5	5	5	5
5	5	5	6	6	6	5	5	5	51	155	159	145	110	16	5	5	5	6	7	6	5	5	5
5	5	6	6	5	5	5	5	5	51	134	139	144	146	28	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	4	5	9	30	30	26	25	14	5	5	5	5	5	5	5	4	4
5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4
5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4
5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	6	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5
5	5	5	5	6	5	5	4	5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	6	6	5	5	5
5	5	5	5	7	6	5	4	5	5	5	6	6	6	5	5	5	5	5	7	5	5	5	4
5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	6	5	5	4	5	5	5	5	5	6	5	5	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5
5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	5	5	5	5	5	5	4

Figure 6. Assignment uniforme minimum de 5 fréquences par carré de 4km de côté et concentration au centre-ville

4.3 Deux centres-villes (ou un centre-ville et une zone industrielle).

A la différence du paragraphe 4.2, nous allons maintenant supposer la présence de deux centres-villes (les régions 2 et 8) ou de façon analogue d'un centre-ville et d'une zone industrielle. Nous allons donner aux régions 2 et 8 337 fréquences et aux sept régions restantes 350 fréquences soit 50 fréquences par région. Une fois ce choix fait nous allons répéter les trois scénarios du paragraphe 4.2 : l'assignation uniforme dans chaque région (4.3.1), l'assignation avec un pôle de concentration dans chaque région (4.3.2), et l'assignation uniforme en périphérie, un pôle de concentration et une assignation minimum dans les deux centres-villes.

Le spectre des 1024 fréquences a été réparti de la façon suivante entre les 9 régions.

région	bande de fréquences	nombre de fréquences assignables
1	674- 723 (50)	250
2	0- 336 (337)	1685
3	724- 773 (50)	250
4	774- 823 (50)	250
5	824- 873 (50)	250
6	874- 923 (50)	250
7	924- 973 (50)	250
8	337- 673 (337)	1685
9	974-1023 (50)	250

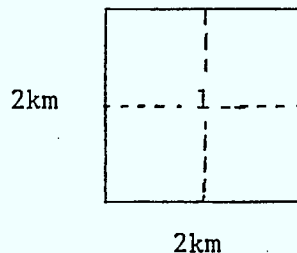
Ici aussi, il est important de noter que nous n'avons pas essayé d'attribuer à chaque région un ensemble de fréquences en tenant compte d'un éventuel critère d'optimalité ou d'uniformité géographique. Ceci pourrait être fait au besoin si cela était nécessaire.

4.3.1 Assignation uniforme dans chaque région

A chacune des 7 régions périphériques, nous avons réservé $5 \times 50 = 250$ fréquences. Cela fait une densité de

$$250 \text{ fréq}/1024\text{km}^2 \approx 0,97 \text{ fréq}/4\text{km}^2$$

Pour assurer une quasi-uniformité dans chacune des régions périphérique nous allons donc essayer d'assigner une fréquence par carré de 2km de côté



Comme il y a 256 petits carrés de 2km de côté dans une région de 32km de côté, il manquera 6 fréquences puisque nous ne disposons que de 250 fréquences. C'est pour cela que nous parlons de quasi-uniformité.

Pour chaque centre-ville nous avons 1685 fréquences que nous répartirons à raison de 26 par petit carré de 4km de côté, soit pour la région de 32km de côté

$$64 \times 26 = 1664.$$

Il restera alors $1685 - 1664 = 21$ fréquences à distribuer parmi les 64 petits carrés. Ici aussi il y a quasi-uniformité.

Les résultats sont présentés aux pages suivantes. Le Tableau 3 donne toutes les caractéristiques de la multistratégie, la géométrie de la ville, la position des pôles de concentration dans chaque région, la partie du spectre à assigner dans chaque région, le nombre maximum de répétitions et le nombre de fréquences à assigner dans chaque sous-région. Le Tableau 4 donne une sortie imprimante de la région 1. La Figure 7 donne le nombre de fréquences dans chaque petit carré de 4km de côté.

3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	
4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	
4	4	4	4	4	5	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	
4	4	4	5	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	6	4	4	4	4	4	3	
4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4	6	5	4	4	3	4	4	4	4	6	3	4	3
4	4	4	5	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	3	
4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	3	
4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	3	4	2	3	4	4	4	4	4	4	
26	26	26	26	26	24	25	26	4	4	4	4	4	3	4	3	24	26	26	26	26	26	26	26
26	26	26	26	26	26	26	26	4	4	4	4	4	3	3	26	26	26	26	26	26	26	26	26
26	26	26	26	26	26	26	26	4	4	4	4	4	4	4	26	26	26	26	29	26	26	26	26
26	26	29	30	28	27	26	25	4	4	4	4	4	4	3	26	26	28	31	28	26	26	26	26
26	26	28	31	29	26	26	26	4	4	4	4	6	4	4	3	26	26	27	27	31	29	26	26
26	26	28	28	29	26	26	26	4	4	4	4	4	4	3	26	26	27	30	28	26	26	26	26
26	26	26	26	26	26	26	26	4	4	4	4	4	4	4	26	26	26	26	26	26	26	26	25
26	26	26	26	26	26	25	25	4	4	4	4	4	4	3	26	26	26	26	26	26	26	25	26
3	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3
4	4	4	3	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
4	4	4	5	5	4	4	3	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
4	4	4	6	4	4	4	3	4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4	6	4	4	4	4
4	4	4	4	5	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3
4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	3

Figure 7. Assignation avec deux pôles uniforme dans chaque région.

4.3.2 Assignment avec un pôle de concentration dans chaque région

On garde encore la même multistratégie et on spécifie dans chaque région un pôle autour duquel les fréquences assignables à la région donnée seront concentrées. Pour chacune des régions, on a choisi comme pôle le centre de la région.

Comme au paragraphe 4.2.2 ceci donne un exemple de l'extrême souplesse de nos méthodes. Les résultats sont donnés en Figure 8 pour le gros carrés de 4km de côté.

		2		1	1																	
7	15	12	9	7	4			1			2			1			1	4	1	2		
3	7	17	21	12	2			2	13	16	15	5	1				2	6	12	18	13	1
3	17	16	9	15	3			6	15	10	14	19	2				3	19	15	8	13	2
7	6	8	15	13	1			2	7	17	16	6	1				3	7	9	18	12	1
6	5	2	2		2			7	17	12	11	15	3				12	19	16	8	9	2
																	1	4	3	5	1	
2	3	6	5	6	1			2									4	8	2	1	3	
26	80	74	71	79	12			4	15	18	12	6	1				29	70	53	72	56	14
17	57	83	87	76	8			5	14	9	17	19	1				45	115	111	77	59	14
49	121	99	73	76	13			1	6	17	13	7	2				32	86	96	125	114	13
37	84	103	123	99	20			10	18	8	6	13	4				31	81	89	72	88	18
7	23	18	20	21	6			2	7	6	2						9	11	27	20	26	4
		1			1			1									1	4			2	
6	16	14	7	3	2			3	15	20	13	4	1				2	5	14	20	12	1
3	6	16	23	16	2			3	14	9	17	19	1				3	17	14	8	15	2
3	17	18	9	14	2			1	7	18	15	9	1				4	6	5	14	14	1
6	8	10	15	13	2			7	14	10	12	14	4				10	22	18	9	7	2
5	5	2	5					2	7	4	2	1					1	5	3	6	2	1

Figure 8. Assignment with two poles and concentration
at the center of each region.

4.3.3 Assignation uniforme en périphérie, et un minimum de 1 fréquence par petit carré de lkm de côté avec concentration au centre des deux centres-villes.

Les sept régions périphériques sont identiques à celles du cas uniforme du paragraphe 4.3.1. Pour les deux centres-villes (régions 2 et 8) on s'assure aussi d'une "quasi-uniformité" de 1 fréquence par petit carré de lkm de côté. Les autres fréquences sont concentrées au centre de chacune des deux régions. Une fois de plus on arrive à une situation intermédiaire où il y a une uniformité minimum globale et une concentration dans deux régions.

3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3
4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3
4	4	4	4	4	5	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	
4	4	4	5	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	4	4	4	4	4	3	
4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4	6	5	4	4	3	4	4	4	4	6	3	4	3	
4	4	4	5	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	3	
4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	
4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	3	4	2	3	4	4	4	4	4	4	4	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
4	6	5	6	6	7	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	7	7	6	5	7	4	4	4	
4	22	69	70	55	62	10	4	4	4	4	4	4	4	4	4	26	69	48	60	61	15	4	4	
4	19	57	79	84	68	11	4	4	4	4	4	4	4	3	4	35	107	108	75	54	12	4	4	
4	42	117	99	72	64	11	4	4	4	4	6	4	4	3	4	28	82	91	121	104	13	4	4	
4	32	76	95	114	93	18	4	4	4	4	4	4	4	3	4	25	71	81	70	72	15	4	4	
4	8	23	19	19	21	10	4	4	4	4	4	4	4	4	4	12	11	24	22	25	6	4	4	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
3	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	
4	4	4	3	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	
4	4	4	5	5	4	4	3	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	
4	4	4	6	4	4	4	3	4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4	6	4	4	4	4	
4	4	4	4	5	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	
4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	3	

Figure 9 . Assignation avec deux pôles, un minimum de 5 fréquences par carré de 4km de côté et concentration au centre de chaque région correspondant à un pôle.

5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.

5.1 RESULTATS ET CONCLUSIONS.

Les chiffres des paragraphes 3 et 4 montrent que pour une ville carrée de 96km de côté, il est possible d'assigner $9 \times 19 = 171$ fois un spectre de 1024 fréquences choisies dans la bande VHF de façon que toutes les conditions de compatibilité électromagnétique (EMC) soient vérifiées. Chaque émetteur peut utiliser une puissance maximale de 200 Watts omnidirectionnelle, mais doit être équipé du filtre "étroit" passe-bande (cf. paragraphe 3.4).

Les 19 fréquences assignées à chaque cellule (petit carré de 1km de côté) peuvent pratiquement être placées n'importe où dans un petit carré concentrique de 0,95km de côté.

La grille d'assignation n'est pas restreinte à un carré. Elle s'étend naturellement à l'infini dans le plan horizontal en préservant partout une densité possible de 19 fréquences par kilomètre carré. En superposant cette grille infinie sur une ville réelle ou en "tapissant" le pays entier, il est alors toujours possible de trouver en tout point les fréquences disponibles à l'aide d'une équation simple ne contenant que trois termes additifs.

Si la demande l'exige, la non-uniformité peut-être considérablement augmentée. Par exemple dans un secteur d'environ $1,02\text{km}^2$ la densité d'assignation peut-être augmentée de 19 à 171 fréquences en utilisant les fréquences des 8 cellules adjacentes à une cellule donnée.

Bien que, une fois une grille obtenue, les calculs de compatibilité électromagnétique (EMC) n'aient jamais plus besoin d'être refaits, l'ensemble des assignations n'est pas rigide et interchangeable. Au contraire ce genre de grille permet une marge de manoeuvre très large pour pouvoir tenir compte des changements de la demande des utilisateurs dans le temps et dans l'espace. Cette souplesse provient du fait que la grille prévoit la répétition de chacune des 1024 fréquences du spectre 19 fois dans une région carrée de 32km de côté, alors que les politiques du Ministère permettent qu'une fréquence soit répétée au plus 5 fois dans une région carrée de 100km de côté. On n'utilise donc qu'environ 3% des possibilités de la grille. Ceci permet au gestionnaire de concentrer dans certaines régions, de ne pas assigner dans d'autres (lacs, montagnes, gouffres, etc...), ou d'assurer un minimum d'assignations réparties de façon géographiquement uniforme.

Les seules contraintes dont doit tenir compte le gestionnaire sont les suivantes :

- 1) ne pas répéter une fréquence plus de cinq (5) fois dans un rayon de 100km,
- 2) ne pas répéter une fréquence en deça de 5km ou entre 30 et 100km.

Toutes ces considérations sont illustrées par deux familles d'exemples : une ville carrée de 32km de côté et une de 96km de côté subdivisée en 9 régions carrées de 32km de côté. Dans chaque exemple plusieurs scénarios ont été considérés avec un, deux ou trois centres-villes et avec uniformité ou concentration des assignations autour d'un ou plusieurs pôles.

En gros il semble bien que l'on puisse presque tout faire. Comme chaque étape de ces constructions n'a pas fait l'objet d'une optimisation systématique et poussée, il y a lieu de s'attendre à une amélioration supplémentaire des résultats si cela était fait. Dans cette éventualité il faudrait distinguer les deux aspects suivants :

- a) l'augmentation de l'indice N de répétition du spectre qui est basé sur le choix d'une multiassignation et la vérification des conditions de non-interférence (EMC),
- b) la façon de choisir les fréquences réservées à chaque région qui dépend des conditions de co-canalité 1) et 2) pour assurer le degré voulu d'uniformité ou de non-uniformité (ceci ne nécessite pas de EMC).

Les programmes d'ordinateur qui ont été développés pour ce rapport et surtout pour les exemples des paragraphes 5 et 6 ont été regroupés dans une annexe à ce rapport. Chaque programme est décrit dans une annexe séparée avec un exemple et les temps et les coûts de calculs sur le système de l'Université de Montréal. Des considérations sur les besoins de fichiers, de mémoire interactive et la séquence d'utilisation des programmes y sont aussi données.

5.2 RECOMMANDATIONS.

Nous avons démontré sur papier le potentiel des méthodes mathématiques développées au cours des cinq dernières années pour l'assignation des fréquences aux radios mobiles terrestres pour la bande VHF en utilisant les chiffres et en suivant les politiques présentes de SMS au Ministère des Communications.

Nous sommes persuadés que l'adoption de ces méthodes simplifierait considérablement la gestion du spectre à partir d'une bande de fréquence vierge comme le nouveau système ACSSB (Amplitude Compounded Single Sided Band). Cette simplification résulterait en des économies de gestions considérables puisqu'il n'y aurait plus à faire de calculs de compatibilité électromagnétique (EMC) à chaque assignation ou réassignation d'une fréquence. D'autre part la construction des grilles sous-jacentes assurerait une plus grande uniformité de la qualité des communications dans une région donnée.

Bien que les exemples n'aient porté que sur la bande VHF, toute la théorie mathématique et les calculs de non-interférence s'appliquent à n'importe quelle bande de fréquences. Le nombre 1024 de fréquences et la taille de 96km pour la ville sont arbitraires. Nous croyons donc avoir la méthodologie nécessaire et le logiciel nécessaire pour mettre en oeuvre nos méthodes pour une nouvelle bande de fréquences.

Dans cette optique nous pourrions donc faire les recommandations suivantes :

Recommandation 1. Prendre la décision politique d'utiliser les multiassignations pour l'assignation des fréquences à partir de la prochaine bande vierge de fréquences qui sera ouverte aux utilisateurs.

Recommandation 2. Préciser tous les paramètres caractéristiques de la bande choisie et les spécifications de l'équipement exigé des utilisateurs.

Recommandation 3. Refaire l'étude de ce rapport dans les conditions de la recommandation 2.

Recommandation 4. Ajouter à l'étude les optimisations additionnelles qui pourront mieux tenir compte des particularités potentielles ou additionnelles associées au spectre, à l'équipement ou à la région géographique choisie.

Recommandation 5. Mise en oeuvre d'un réseau expérimental pour fins de démonstration avant de passer à la mise en oeuvre complète.

L'ensemble de ces recommandations sont plutôt dans le domaine du développement que de la recherche et nécessiteraient des ressources plus considérables que ce qui est possible à l'intérieur du programme de recherche universitaire.

5.3 RECOMMANDATION POUR LE SYSTEME CELLULAIRE.

Enfin nous voulons signaler que la théorie mathématique développée pour les assignations multiples s'applique directement au choix des fréquences pour le nouveau système cellulaire de communication (cf. rapport final 1983-84, M. Delfour [1] et la communication par G. De Couvreur et M. Delfour [1]).

REFERENCES

- G. De Couvreur [1], Selection of optimum culling limits for land-mobile EMC calculations. Systems Engineering, Spectrum Management Systems, Department of Communications, February 1983.
- G. De Couvreur et M. Delfour [1], Optimum frequency assignment strategies for radio cellular systems, in Proc. 6th Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility, Zurich, Switzerland, March 5-7, 1985.
- M. Delfour [1], A method to assign frequencies in a cellular network, Rapport CRM-1179, juillet 1983, Université de Montréal.
- [2], Etude portant sur l'optimisation du nombre d'assignation de fréquences, Rapport final 1983-84, SMS, Ministère des Communications, mars 1984 (contrat no. 12ST.36100-3-0016, No. de série OST83-00066).

- M. Delfour, F. Dubeau et I. Rosenberg [1], Assignation des fréquences, Rapport final 1981-82, SMS Ministère des Communications, mars 1982 (contrat no. 20SU.36100-1-0175, no. de série OSU81-00174).
[2], Etude portant sur l'optimisation du nombre d'assignations de fréquences, Rapport final 1982-83, SMS, Ministère des Communications, mars 1983 (contrat no. 24SU.36100-2-4248, no. de série OSU82-00281).
- M. Delfour, A. Kotzig, A. Manitius et I. Rosenberg, Optimisation du nombre d'assignation de fréquences, Rapport final 1980-81, SMS, Ministère des Communications, mars 1981 (contrat no. 20SU.36100-0-9534, no. de série OSU80-00206).

