

RECOMMANDATION UIT-R BT.1123*

Méthodes de planification pour la télévision de terre (systèmes à 625 lignes) dans les bandes métriques et décimétriques

(1994)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les réseaux d'émetteurs de radiodiffusion devraient être planifiés de manière à assurer la couverture de la zone voulue avec un nombre minimal de fréquences;
- b) que la théorie des réseaux uniformes d'émetteurs est utile pour la conception de nouveaux réseaux d'émetteurs ou pour la réorganisation des réseaux existants;
- c) que, s'il existe effectivement des réseaux bien implantés, il est toujours utile d'avoir des directives relatives aux méthodes de planification pour les nouveaux systèmes à 625 lignes,

recommande

1 d'utiliser les méthodes exposées dans les Annexes 1 et 2 pour la planification préliminaire des nouveaux réseaux d'émetteurs pour les réseaux de télévision de Terre à 625 lignes dans les bandes métriques et décimétriques.

ANNEXE 1

Méthodes de planification pour la télévision de Terre dans les bandes des ondes métriques et décimétriques**1 Généralités**

Les réseaux d'émetteurs de radiodiffusion devraient être planifiés de manière à assurer la couverture voulue de la zone avec un nombre minimal de fréquences. La zone de couverture d'un émetteur dépend d'un certain nombre de facteurs techniques, tels que: sa puissance, le champ minimal utilisable, le rapport de protection en radiofréquence, la distance entre émetteurs fonctionnant sur le même canal ou sur des canaux adjacents, l'espacement entre canaux, la bande passante de l'émission et les facteurs influençant la propagation des ondes. Elle peut aussi dépendre du système de répartition des canaux.

Lorsque de nombreux canaux doivent être planifiés ou replanifiés pour la radiodiffusion sonore en modulation d'amplitude ou de fréquence ou encore pour la télévision, on a constaté que l'utilisation efficace du spectre peut se révéler difficile si on n'emploie que des méthodes empiriques. C'est pour cette raison qu'une théorie des réseaux uniformes d'émetteurs a été élaborée.

Cette méthode peut être appliquée avec succès lorsqu'il existe une certaine uniformité des normes pour les services à planifier. De plus, la bande de fréquences à planifier devrait subir le moins de contraintes possible, c'est-à-dire qu'en théorie, on devrait être entièrement libre d'assigner n'importe quelle fréquence à n'importe quel émetteur.

* La Commission d'études 6 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2002 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 44.

Cette théorie est non seulement utile pour la conception de nouveaux réseaux d'émetteurs ou pour la réorganisation des réseaux existants, mais elle constitue aussi un outil puissant pour déterminer les caractéristiques techniques optimales, telles que l'espacement entre canaux, les caractéristiques des émetteurs, etc., ainsi que pour calculer quelle est la meilleure couverture possible.

Certains pays pourront préférer assurer une couverture de zone complète avec un petit nombre de programmes, tandis que d'autres sacrifieront la couverture de zone totale pour pouvoir diffuser davantage de programmes dans les régions les plus peuplées. En pareils cas, on peut appliquer la théorie du réseau uniforme afin d'obtenir des valeurs de référence pour la couverture réalisable; ces valeurs sont utiles lorsqu'il s'agit de comparer les réseaux dissemblables des divers pays qui ont choisi des méthodes différentes pour réaliser leur couverture interne.

Les données prises comme exemples dans la présente Annexe s'appliquent uniquement aux systèmes à 625 lignes. L'attention des administrations utilisant d'autres systèmes est attirée sur ce fait. Des données complémentaires concernant tous les systèmes sont nécessaires.

2 Techniques théoriques pour un plan international

2.1 Généralités

On peut considérer que les techniques de planification découlant de l'application du principe des réseaux uniformes d'émetteurs sont basées sur l'utilisation des deux éléments fondamentaux suivants:

- les réseaux géométriques réguliers,
- les systèmes de répartition linéaire des canaux.

En raison des nombreux paramètres et effets qui peuvent influencer sur la planification des fréquences, comme les différences dans les conditions de propagation, la puissance des émetteurs, la hauteur et la directivité des antennes d'émission, ainsi que les irrégularités du terrain, il faut tout d'abord simplifier le problème en supposant que tous les émetteurs ont la même puissance et des antennes omnidirectionnelles toutes situées à la même hauteur et avec la même polarisation. On suppose en outre que ces émetteurs sont situés dans une zone s'étendant à l'infini formant un réseau géométrique régulier. Enfin, il faut considérer que les conditions de propagation ne varient pas dans toute la zone en question.

L'étude de ces réseaux réguliers est examinée de manière assez détaillée dans l'Appendice 1 et on parvient ainsi aux conclusions fondamentales suivantes:

- La manière la plus économique d'assurer une couverture totale de la zone consiste à utiliser un réseau constitué de triangles élémentaires équilatéraux, c'est-à-dire dans lequel les émetteurs voisins sont équidistants. Un certain recouvrement de la couverture est inévitable si on veut obtenir une couverture de zone totale. On peut l'exprimer en termes de «facteur de couverture», c'est-à-dire la somme des couvertures de chaque émetteur divisée par la surface de la zone totale à couvrir. L'inverse du facteur de couverture est souvent appelé rendement de couverture. Ce facteur a une valeur minimale de 1,21 dans le cas optimal où on utilise des triangles élémentaires équilatéraux.
- Pour la télévision, le rapport de protection cocanal requis est largement prédominant par rapport à ceux qui concernent d'autres espacements en fréquence, de sorte que, pour obtenir une couverture optimale, il faudra vraisemblablement maximiser la distance entre émetteurs fonctionnant sur le même canal, c'est-à-dire faire en sorte que les triangles d'émetteurs du même canal soient équilatéraux.

- Ce n'est qu'avec des nombres de canaux particuliers que l'on peut obtenir des triangles d'émetteurs fonctionnant sur le même canal et des triangles élémentaires qui soient équilatéraux. On les appelle «nombres losanges» et il faut pour cela que le nombre de canaux C soit tel que:

$$C = a^2 + ab + b^2$$

où a et b sont des entiers non nuls n'ayant pas de diviseur commun.

Pour les valeurs de $C < 80$, ces nombres sont donnés par:

a	1	2	3	3	4	4	5	5	5	5	6	7	7	7	8
b	1	1	1	2	1	3	1	2	3	4	1	1	2	3	1
C	3	7	13	19	21	37	31	39	49	61	43	57	67	79	73

Toutefois, si la bande totale disponible pour le réseau ne correspond pas à un nombre de canaux égal à un «nombre losange», il restera possible d'appliquer une solution employant le nombre total de canaux disponibles, mais, pour ce faire, il faudra généralement adopter un réseau dans lequel les triangles d'émetteurs fonctionnant sur le même canal, ou encore les triangles élémentaires ne seront pas équilatéraux. Une telle solution peut permettre d'obtenir une couverture sensiblement supérieure à celle qu'on pourrait avoir en limitant l'utilisation du spectre à celle qui correspond au nombre losange immédiatement inférieur. Exceptionnellement, d'autres nombres de canaux peuvent aussi permettre d'obtenir des triangles élémentaires et des triangles d'émetteurs fonctionnant sur le même canal qui soient équilatéraux, mais dans ces cas, on ne peut pas utiliser de répartition linéaire des canaux (voir l'Annexe 1, § 3), et, en conséquence, les niveaux de brouillages ne sont pas nécessairement uniformes sur l'ensemble du réseau. La Fig. 14 donne un exemple d'un tel réseau.

Si on considère comme plus important que les triangles élémentaires soient équilatéraux, on peut y parvenir par une transformation (par exemple, affine) qui conserve le plus long côté et qui fait tourner les autres et les allonge pour les rendre égaux. La Fig. 3b) donne un exemple d'une telle transformation pour un réseau à huit canaux.

Après avoir construit des réseaux du type décrit plus haut, le problème qui se pose consiste à organiser les canaux nécessaires de manière à minimiser les brouillages, sans oublier qu'un losange quelconque d'émetteurs fonctionnant sur le même canal ne constitue qu'une partie du réseau s'étendant sur l'ensemble de la zone à planifier. Le calcul des systèmes de répartition linéaire est examiné en détail dans l'Appendice 1.

Une telle répartition linéaire a la propriété de créer une situation de brouillage identique dans tous les canaux, à l'exception de ceux qui se situent aux fréquences les plus élevées et les plus basses (lorsqu'il faut prendre en considération les brouillages par le canal adjacent).

Cette méthode peut être étendue au cas (on en trouvera un exemple au § 2.6) où on souhaite avoir n programmes à chaque emplacement en utilisant un total de nC canaux dans des sous-bandes contiguës comptant chacune C canaux. Dans ce cas, les canaux assignés à chaque émetteur seront:

$$c, c + C, c + 2C, \text{ etc.}, \quad \text{où } 0 \leq c \leq C - 1$$

2.2 Conséquences de l'application des principes de planification en réseaux réguliers dans les bandes attribuées à la télévision de Terre

Dans les paragraphes qui suivent, on examinera l'application de ces principes au nombre réel de canaux disponibles dans chacune des bandes, et on utilisera simultanément ces exemples pour développer plus avant certains aspects de ces principes de planification.

Avant de considérer le cas de chaque bande, il y a lieu d'examiner quelles sont les relations entre les fréquences (en plus du cas cocanal) dont il faut tenir compte dans la planification des réseaux de télévision. (Voir l'Annexe 2.)

Ces relations sont les suivantes:

Relation de fréquence	Espacement entre canaux
Canal adjacent	1
Rayonnement de l'oscillateur local ⁽¹⁾	4 ou 5
Canal conjugué ⁽¹⁾	8, 9 ou 10

(1) Pour les espacements entre canaux et les fréquences intermédiaires des récepteurs généralement utilisés.

Pour tout réseau basé sur des triangles élémentaires à peu près équilatéraux, il s'ensuit que chaque émetteur sera presque équidistant de six autres émetteurs qui, sauf dans le cas des réseaux comptant un très petit nombre de canaux, diffuseront tous sur des canaux différents. Par conséquent, à moins d'adopter des triangles élémentaires très déformés, aucun réseau comptant moins de huit canaux ne peut éviter un recouvrement entre canaux adjacents. La Fig. 2b) donne l'exemple d'un réseau à sept canaux qui évite les recouvrements de canaux adjacents au prix d'une déformation supplémentaire, ce qui a pour effet d'augmenter sensiblement le rayon de couverture exigé de chacun des émetteurs.

2.3 Bande I

La largeur totale de cette bande est de 21 MHz. Le nombre maximal de canaux disponibles est de trois pour tous les systèmes actuels d'émetteurs à 7 MHz de largeur de bande. Il ne peut exister qu'un seul réseau à trois canaux dont les caractéristiques sont les suivantes:

- les trois canaux sont au sommet des triangles élémentaires,
- les triangles élémentaires et les triangles d'émetteurs fonctionnant sur le même canal sont équilatéraux (trois est un nombre losange),
- la distance entre émetteurs fonctionnant sur le même canal est égale à $\sqrt{3}$ fois la distance entre émetteurs adjacents,
- pour assurer une couverture complète, la distance maximale entre un émetteur et le point le plus proche de la zone de couverture de l'émetteur suivant qui fonctionne sur le même canal (au barycentre du triangle élémentaire) est égale à deux fois le rayon de couverture.

Il résulte de a) que les recouvrements entre canaux adjacents sont inévitables.

Il résulte de d) que l'on ne peut obtenir une couverture de zone complète que si le champ à l'extrémité du rayon de couverture dépasse le champ à deux fois la distance d'une valeur au moins égale au rapport de protection requis dans le même canal (même en négligeant les marges pour brouillages multiples ou pour brouillages dus à des émetteurs autres que ceux fonctionnant sur le même canal).

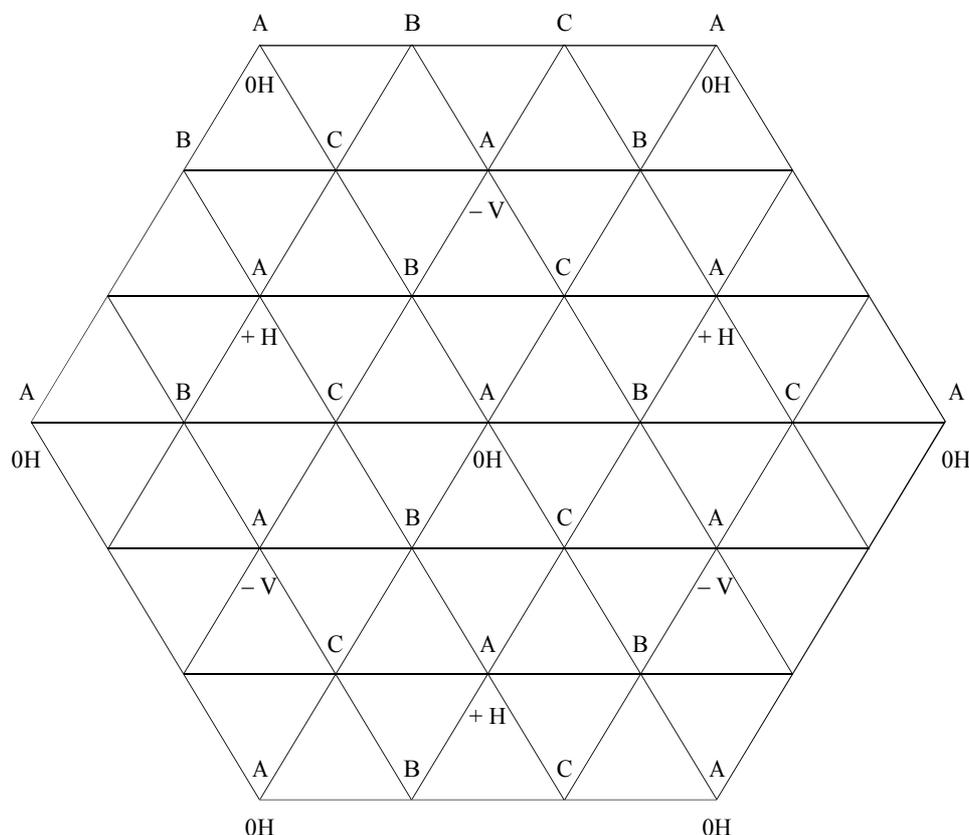
La Fig. 1 montre, dans l'exemple d'un réseau à trois canaux, comment l'utilisation systématique des décalages de fréquence ainsi que des polarisations verticales et horizontales peut réduire les brouillages dans le même canal. En général, on peut aussi utiliser la discrimination de polarisation pour réduire les brouillages dans le canal adjacent. Toutefois, dans le cas particulier de trois canaux (comme indiqué à la Fig. 1), les avantages sont limités car le canal central (B) est équidistant des deux canaux adjacents et la discrimination de polarisation ne pourrait être obtenue que vis-à-vis de l'un d'entre eux. Le même principe est évidemment applicable à d'autres réseaux. On constate que:

- la distance entre émetteurs fonctionnant sur le même canal, sans protection par discrimination de polarisation, ni décalage correspond maintenant à trois fois celle qui sépare les émetteurs fonctionnant sur le canal adjacent;

- tous les anneaux les plus proches de six émetteurs fonctionnant sur le même canal comportent des décalages de fréquence, mais trois seulement ont la polarisation inverse (en effet, on a trois possibilités de décalage mais uniquement deux polarisations).

FIGURE 1

Réseau à trois canaux démontrant l'utilisation du décalage de fréquence et de la polarisation pour réduire les brouillages



A, B, C: canaux
H, V: polarisations
0, +, -: décalage (1/3 de la fréquence de ligne)

Les décalages et les polarisations ne sont indiqués que pour le canal A.

D01

Etant donné la valeur élevée du rapport de protection cocanal nécessaire pour la télévision, même si on tient compte de la réduction du brouillage obtenue par le décalage de fréquence et la discrimination de polarisation, il n'est pas possible d'obtenir une couverture de zone complète dans un réseau à trois canaux, c'est-à-dire qu'il est impossible de couvrir complètement une vaste région en n'utilisant que la Bande I.

2.4 Bande III

La largeur totale disponible est de 56 MHz, ce qui permet de prévoir sept canaux de 8 MHz ou huit canaux de 7 MHz. Dans la Région 1 de l'UIT, on utilise des systèmes de télévision ayant des largeurs de bande nominales de 7 et de 8 MHz mais il faut noter que dans les bandes décimétriques de télévision, l'espacement adopté entre canaux est de 8 MHz dans l'ensemble de la Région. Il semble donc que cette valeur devrait aussi être adoptée uniformément dans toute planification future. De plus, l'adoption d'un espacement entre canaux de 8 MHz n'interdirait pas de conserver les systèmes de télévision ayant une largeur de bande nominale de 7 MHz si on le souhaite. Toutefois, pour être complète, l'étude qui suit traite des réseaux à sept et à huit canaux.

2.4.1 Réseau à sept canaux

A première vue, le réseau le plus approprié est celui indiqué à la Fig. 2a). Il comporte des triangles élémentaires et des triangles d'émetteurs fonctionnant sur le même canal qui sont équilatéraux (ce qui est possible puisque 7 est un nombre losange).

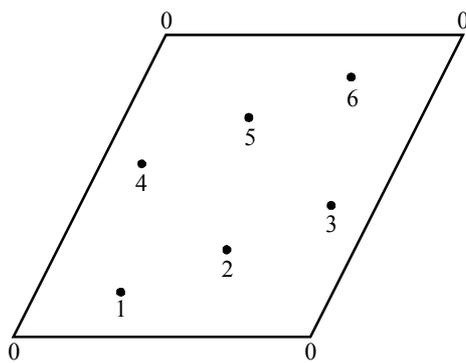
Le réseau a les caractéristiques suivantes:

- recouvrement des zones de service d'émetteurs fonctionnant sur des canaux adjacents,
- distance entre émetteurs fonctionnant sur le même canal égale à $\sqrt{7}$ fois la distance entre émetteurs adjacents. (Le rapport de la distance entre émetteurs fonctionnant sur le même canal à la distance entre émetteurs est égal à la racine carrée du nombre de canaux. C'est là une caractéristique intrinsèque d'un tel réseau.)

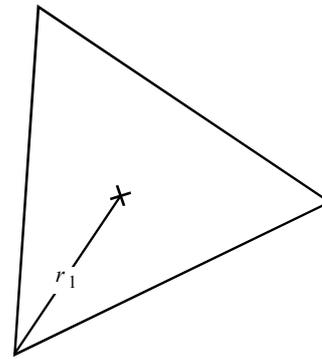
La Fig. 2b) présente une autre version d'un réseau à sept canaux. Le choix de ce réseau est basé sur le fait que la distance entre les émetteurs fonctionnant sur des canaux adjacents est plus grande, mais, comme l'indiquent les Fig. 2c) et 2d), on l'a obtenue au prix d'une déformation considérable des triangles élémentaires, ce qui a entraîné une augmentation de 22% du rayon de couverture de certains émetteurs afin d'assurer une couverture de zone complète.

FIGURE 2

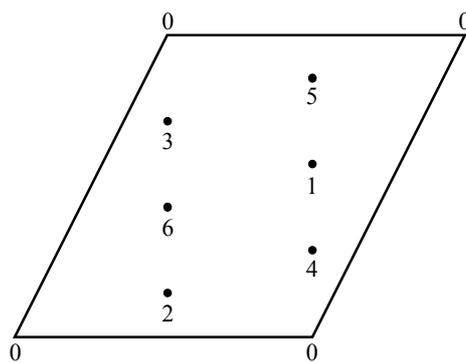
Exemples de réseaux à sept canaux



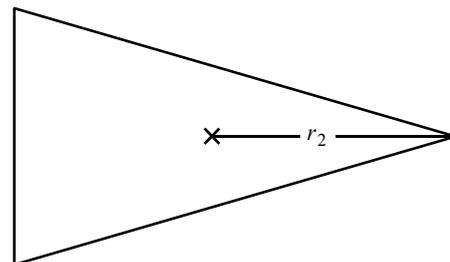
a) Triangles élémentaires équilatéraux



c) Triangle élémentaire de a)
 r_1 : rayon minimal pour assurer une couverture complète



b) Solution évitant les recouvrements des zones de services d'émetteurs diffusant sur des canaux adjacents



d) Triangle élémentaire de b)
 r_2 : rayon minimal pour assurer une couverture complète
Rapport $r_2 / r_1 = 1,22$

Note 1 – Les Fig. c) et d) sont normalisées aux mêmes distances entre émetteurs diffusant sur le même canal.

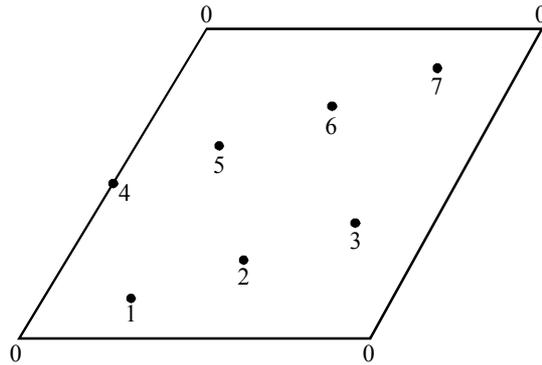
D02

2.4.2 Réseau à huit canaux

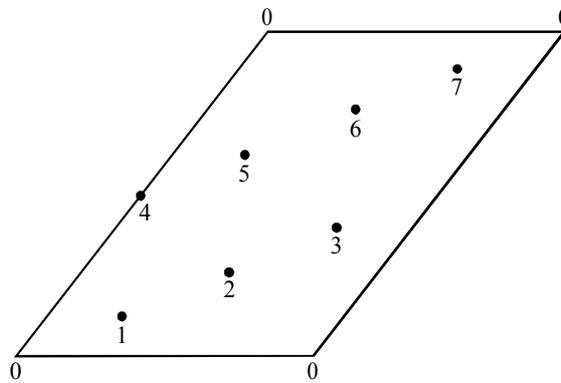
Huit n'étant pas un nombre losange, il n'est pas possible de construire une répartition linéaire des canaux avec des triangles élémentaires et des triangles d'émetteurs fonctionnant sur le même canal

qui soient équilatéraux. Le réseau qui s'en approche le plus est celui présenté à la Fig. 3a) (triangles équilatéraux d'émetteurs fonctionnant sur le même canal) et à la Fig. 3b) (normalisé pour donner des triangles élémentaires équilatéraux). La Fig. 3c) décrit un autre réseau dont les triangles élémentaires sont plus déformés et dans lequel la plus petite distance entre émetteurs n'est pas égale à celle entre émetteurs fonctionnant sur des canaux adjacents. Cette solution n'empêche toutefois pas un certain recouvrement des zones de service d'émetteurs fonctionnant sur des canaux adjacents si on veut obtenir une couverture de zone complète.

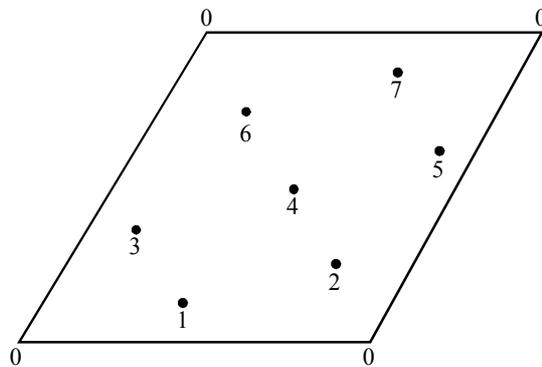
FIGURE 3
Exemples de réseaux à huit canaux



a) Meilleure approximation d'un réseau de triangles élémentaires équilatéraux



b) Transformation du réseau a) pour obtenir des triangles élémentaires équilatéraux



c) Autre solution pour réduire l'importance des brouillages dans le canal adjacent

2.5 Observations générales sur la planification de la télévision dans les bandes métriques

Comme mentionné plus haut, il est impossible d'assurer une couverture complète dans une vaste région avec les trois canaux disponibles en Bande I. On peut, par contre, obtenir une couverture unique de ce genre avec les sept ou huit canaux disponibles en Bande III, mais celle-ci ne peut généralement pas permettre deux couvertures. De toute manière, l'importance de la propagation par la couche E sporadique est telle dans la partie inférieure de la Bande I que le pourcentage de temps pendant lequel un service peut être assuré est fortement réduit.

Il serait théoriquement possible d'utiliser ensemble et de manière coordonnée les Bandes I et III pour assurer un degré élevé de couverture de zone avec deux programmes, c'est-à-dire en utilisant cinq canaux pour chacun d'entre eux. Il faudrait toutefois pour cela adopter un système avec espacement entre canaux de 7 MHz dans une des deux bandes au moins.

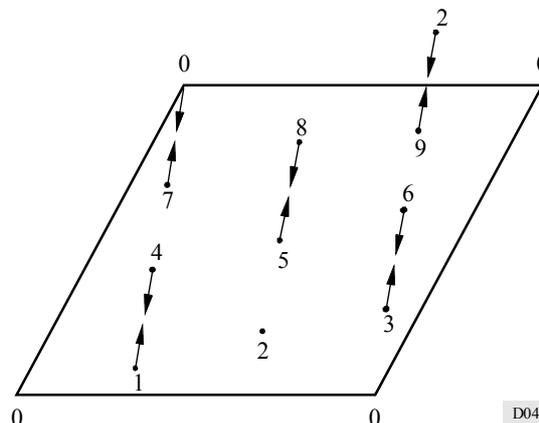
Cette solution présente aussi les difficultés suivantes:

- bien qu'il soit logique d'utiliser ensemble deux des trois canaux de la Bande I pour assurer des couvertures égales, il risque d'en résulter des problèmes techniques sur le site d'émission;
- le troisième canal de la Bande I (sans doute le canal central) devrait de toute manière être utilisé avec un canal de la Bande III, ce qui augmenterait le prix des antennes à l'émission et à la réception, tout en posant des problèmes pour obtenir des couvertures égales;
- les principes de la planification en réseaux linéaires décrits plus haut ne sont pas applicables dans un tel réseau composite, compte tenu des caractéristiques de propagation différentes et de la répartition non continue des canaux.

Il est néanmoins possible d'envisager l'utilisation d'un réseau en Bandes I et III à deux programmes fondé sur un réseau à dix canaux, tel que celui indiqué à la Fig. 4 avec les canaux groupés par paires comme indiqué. On remarquera que, pour l'établissement de ces paires, si les canaux 0 à 2 sont en Bande I, chacun des canaux de cette bande sera couplé avec un autre canal en Bande III. Pour garder ensemble deux canaux de la Bande I, il est possible d'invertir les positions des canaux 2 et 7 et des canaux 3 et 9. Etant donné que ce réseau particulier se caractérise par un espacement de deux canaux sur un côté de chacun des triangles élémentaires, on pourrait penser à effectuer les couplages le long de cet axe. Il est toutefois impossible d'effectuer le couplage par deux d'une séquence complète de nombres sauf si le total est divisible par quatre.

FIGURE 4

Réseau de dix canaux indiquant les «couplages» nécessaires à la diffusion de deux programmes



2.6 Bande décimétrique

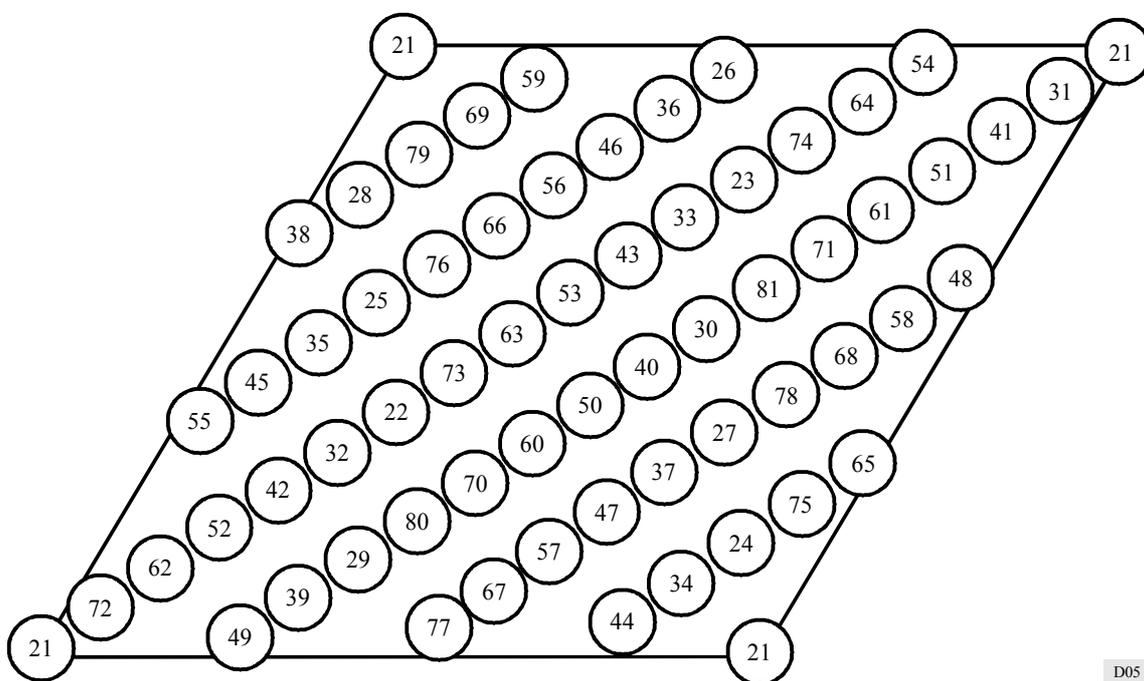
Bien que la bande décimétrique soit composée des Bandes IV et V, il est commode, pour la planification, de la considérer comme un seul ensemble. Avec tous les canaux des deux bandes, (même s'ils ne sont pas tous entièrement disponibles pour la radiodiffusion) il est évident qu'on peut assurer des couvertures multiples.

La subdivision de la bande totale en sous-bandes affectées à des couvertures ou à des programmes déterminés pose des problèmes pour la télévision en bande décimétrique, car la bande totale à utiliser pour chaque zone de couverture serait plus large. Il en résulterait alors des difficultés techniques du fait des larges bandes passantes exigées des antennes d'émission et de réception.

Les besoins peuvent varier d'un pays à l'autre dans la zone soumise à la planification et il est peut-être préférable de fonder la planification sur l'utilisation d'un seul réseau conçu de manière à permettre le «groupement» des fréquences de différentes manières.

Le réseau utilisé à la Conférence européenne de radiodiffusion est représenté à la Fig. 5 et celui utilisé à la Conférence africaine de radiodiffusion est représenté à la Fig. 6. Dans les deux cas, l'espacement entre émetteurs adjacents est égal à la largeur de trois canaux dans une direction donnée et dans tout le réseau. Il est ainsi possible de créer des «groupements» de trois programmes en utilisant les canaux n , $n + 3$, $n + 6$.

FIGURE 5
Répartition théorique des canaux dans les Bandes IV et V
adoptée par la Conférence européenne de radiodiffusion
(Stockholm, 1961)



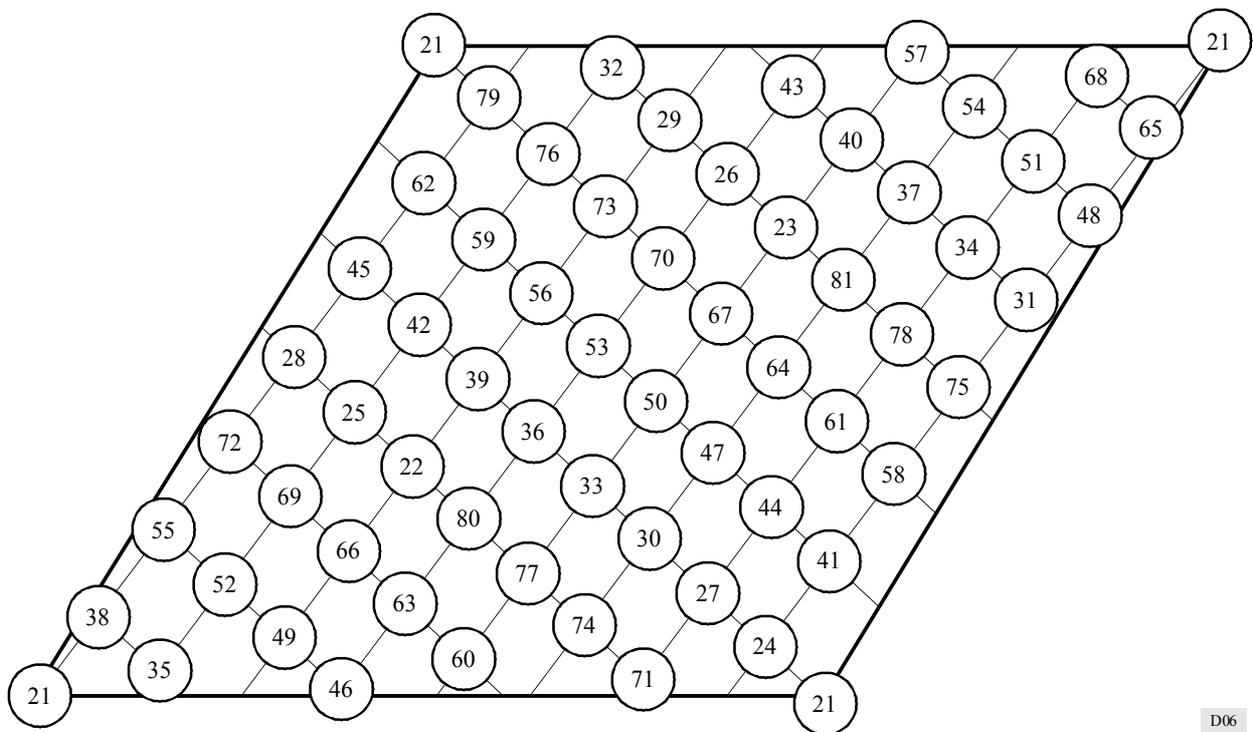
emplacements dans le réseau. Sans nouvelle augmentation de l'espacement dans le réseau, il est possible d'envisager de nouvelles extensions de ce principe de groupement dans le réseau européen pour prévoir:

- cinq programmes avec les canaux $n, n + 3, n + 7, n + 10, n + 13$,
- six programmes avec les canaux $n, n + 3, n + 6, n + 10, n + 13, n + 16$.

NOTE 1 – Ou, symétriquement, $n, n + 4, n + 7, n + 10$.

Le réseau adopté à la Conférence africaine de 1963 semble se prêter moins facilement à l'extension des groupements au-delà de trois programmes, dans un même emplacement d'émission, sans augmentation excessive de l'utilisation du spectre ou sans introduction de brouillage par canal conjugué, n et $n + 9$.

FIGURE 6
Réseau théorique de canaux dans les Bandes IV et V adopté
par la Conférence africaine de radiodiffusion (Genève, 1963)



D06

3 Plan de décalage de fréquence

3.1 Généralités

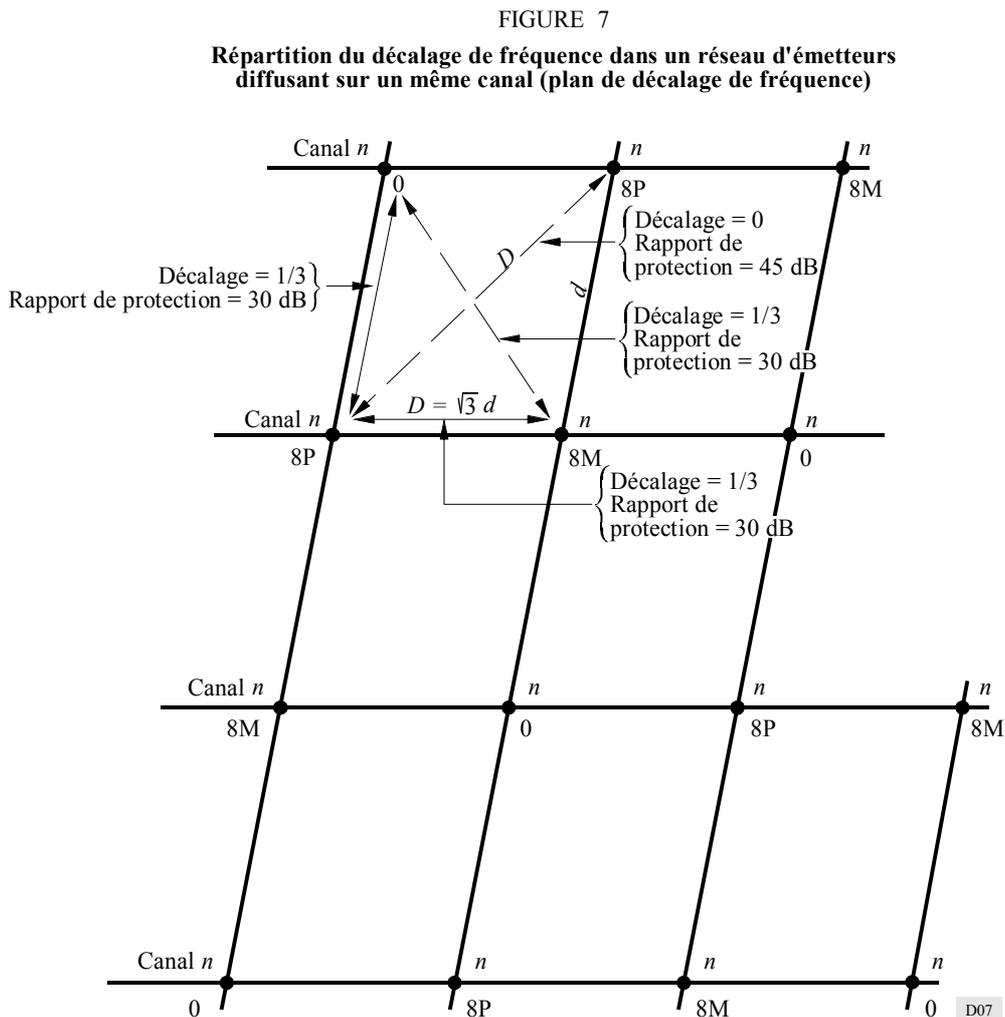
L'application optimale d'un réseau, illustrée aux Fig. 5 et 6, et décrite à l'Appendice 1 pour une répartition linéaire des canaux, ne dépend pas uniquement de la fréquence nominale attribuée à un canal. Il existe un meilleur moyen permettant de garantir une utilisation optimale des bandes de fréquences attribuées à la radiodiffusion télévisuelle: décaler de façon adéquate les canaux pour optimiser la protection entre émetteurs utilisant en partage le même canal (voir la Recommandation UIT-R BT.655). Ces décalages permettent ensuite de calculer l'espacement optimal entre émetteurs fonctionnant dans un même canal, paramètre qui sert à déterminer le réseau d'émetteurs fonctionnant dans le même canal.

3.2 Décalage de faible précision

On obtient l'espacement optimal entre des émetteurs fonctionnant dans le même canal en spécifiant des décalages qui assurent la même protection entre tous les émetteurs d'un réseau d'émetteurs fonctionnant dans le même canal c'est-à-dire 8M, 0 et 8P (décalage par multiples d'un tiers de la fréquence de ligne; rapport de protection de 30 dB dans tout le réseau, brouillage d'origine troposphérique), attribués en alternance aux triplets d'émetteurs des demi-réseaux (voir la Fig. 7). Les émetteurs situés le long de la grande diagonale sont les seuls à avoir un décalage relatif de 0 et sont donc les moins bien protégés (rapport de protection de 45 dB). Toutefois, cela est compensé par le fait que l'espacement entre la paire d'émetteurs fonctionnant dans le même canal est de 1,73 fois celui des triplets d'émetteurs avec un décalage effectif de 1/3 de la fréquence de ligne.

3.3 Décalage de précision

Le décalage de précision permet d'améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre. Toutefois, les possibilités sont limitées si la planification du réseau est basée sur un réseau d'émetteurs diffusant sur le même canal, car les émetteurs situés le long de la grande diagonale, qui ont un décalage relatif de 0, ne peuvent être exploités qu'avec un décalage de faible précision et l'espacement dans le réseau entre émetteurs utilisant le même canal est déterminé par cet espacement minimal requis.



3.4 Répartition du décalage et décalage de précision

En dehors des rapports de protection pour les signaux d'image, la Recommandation UIT-R BT.655 spécifie également les rapports de protection applicables au son analogique qui les accompagne. Dans les répartitions usuelles du décalage (8M, 0, 8P) pour les canaux de télévision, il y a une différence d'environ 10 kHz entre les porteuses son des émetteurs adjacents dans le même canal, d'où un rapport de protection requis de 31 dB.

Dans le cas du décalage de précision, un rapport de protection de 22 dB suffit pour les signaux d'image. Pour obtenir le même rapport de protection pour les signaux son, il faut modifier le décalage de plusieurs multiples de la fréquence de ligne. La différence de fréquence des signaux son doit être d'environ 50 kHz pour obtenir un rapport de protection de 22 dB (égal à celui des signaux d'image). Les rapports de protection des signaux d'image restent inchangés à condition que ces signaux ne soient pas décalés l'un par rapport à l'autre de plus de trois fois la fréquence de ligne.

4 Capacité des bandes de télévision

4.1 Capacité des bandes métriques

Comme il a été vu plus haut, la Bande I peut comporter au maximum trois canaux et seulement si on adopte un système à canaux de 7 MHz. Elle ne peut donc être considérée que comme un complément de la Bande III, sauf si on l'utilise pour des applications qui n'exigent pas une couverture de zone complète.

Ces bandes métriques combinées peuvent offrir neuf canaux si on utilise un système d'émission exigeant des canaux de 8 MHz et dix ou onze canaux dans un système à canaux de 7 MHz. Dans le premier cas, il ne serait pas raisonnable d'envisager d'assurer la couverture pour plus d'un programme dans les bandes métriques uniquement, mais avec dix canaux, il existe une possibilité d'assurer une couverture assez grande mais probablement pas totale pour deux programmes. En pareil cas, il semblerait souhaitable d'essayer de minimiser autant que possible les brouillages grâce à une utilisation systématique des polarisations horizontales et verticales.

Il faut aussi se rappeler qu'en pratique les simplifications apportées à la théorie (voir le § 2.1) ne s'appliqueront généralement pas. Il en résulte qu'il faudra plus de canaux pour un degré donné de couverture que ce qui est prévu en théorie. D'autres problèmes sont mentionnés au § 2.5.

Toute forme de couverture composite en Bandes I et III entraînerait des frais supplémentaires pour les organismes de radiodiffusion, étant donné qu'il faudrait des antennes d'émission distinctes. L'emploi d'antennes de réception log-périodique pourrait peut-être éviter cette difficulté pour le téléspectateur, à condition que les deux services utilisent la même polarisation dans une région donnée, mais une telle antenne serait assez encombrante.

Une autre possibilité à envisager si on doit diffuser deux programmes dans les bandes métriques consiste à assurer la couverture complète au moyen de réémetteurs B.dm. On peut procéder ainsi dans les pays où il n'est pas envisagé de diffuser plus de trois programmes en bande décimétrique.

4.2 Capacité des bandes décimétriques

L'expérience acquise en Europe peut être utilisée pour évaluer en pratique la capacité des bandes décimétriques. Il convient de noter qu'on ne dispose que d'un maximum de 48 canaux (21 à 68) et que, dans certaines régions d'Europe, il existe entre les Bandes IV et V, un intervalle inutilisable pour la radiodiffusion qui peut atteindre une largeur de cinq canaux. Toutefois, il a été, en général, possible d'assurer la couverture pour trois programmes avec protection contre les brouillages pendant 99% du temps. Dans certains cas, par exemple au Royaume-Uni, le temps pendant lequel la protection est obtenue a été réduit à 95% et il a alors été possible d'assurer la couverture pour quatre programmes.

En tout état de cause, il convient de déterminer si on cherche à assurer une couverture de zone ou une couverture de population. Si le peuplement est assez uniforme, la différence entre les deux couvertures peut être faible, mais si la plupart de la population est concentrée dans des villes, elle peut être importante. Dans ce cas, on peut éventuellement assurer la couverture des villes avec davantage de programmes que si on recherche une couverture plus uniforme.

5 Evaluation d'un plan de couverture

Dans les bandes métriques et décimétriques, il est souhaitable d'établir une relation entre les champs prévus ou mesurés et la mesure dans laquelle les téléspectateurs sont satisfaits de la qualité de l'image et du son qu'ils reçoivent. Pour y parvenir, il est important que la répartition des points de mesures soit fortement influencée par la densité de population. Il faut aussi considérer dans quelle mesure les téléspectateurs peuvent utiliser des installations de réception différentes de la normale. L'emploi d'antennes à gain élevé et de pré-amplificateurs à faible bruit dans les régions de faible population permet une extension de la couverture assurée par un émetteur, sans augmentation du champ.

APPENDICE 1

À L'ANNEXE 1

Planification en réseaux: principes fondamentaux de l'établissement de réseaux géométriques réguliers à répartition linéaire des canaux

1 Hypothèses fondamentales

On suppose que tous les émetteurs:

- ont la même puissance, des antennes non directives de même hauteur équivalente et de même polarisation,
- sont répartis dans une région de dimensions infinies où les caractéristiques de propagation sont uniformes.

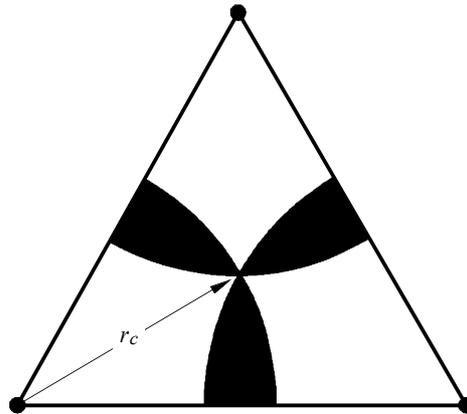
2 Réseaux géométriques réguliers

Les émetteurs sont considérés comme étant situés aux points d'intersection de deux ensembles de parallèles équidistantes entre elles et couvrant l'ensemble de la région. Ces deux ensembles de parallèles subdivisent la région en parallélogrammes dont chacun correspond à un point d'intersection, c'est-à-dire à un emplacement d'émetteur. On obtiendrait donc une couverture complète si chaque émetteur assurait uniquement la couverture d'une région de surface égale à celle du parallélogramme (bien que presque certainement de forme différente).

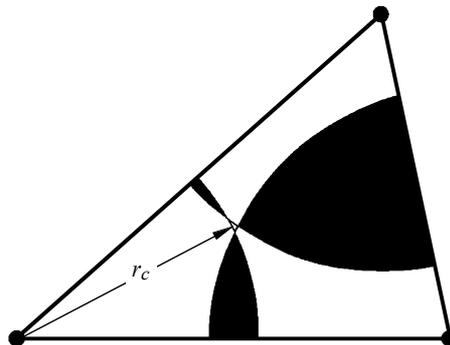
On peut considérer, pour simplifier, un troisième ensemble des parallèles passant par les points d'intersection et divisant ainsi chacun des parallélogrammes en deux triangles égaux. Si on suppose que les antennes d'émission sont non directives et que les zones de couverture sont donc circulaires (en l'absence de brouillage ou en présence de brouillage uniforme), il faut, pour obtenir une couverture de zone complète, que la portée r_c de chacun des émetteurs soit égale à la plus grande des distances entre un sommet et le barycentre du triangle élémentaire (voir la Fig. 8). Un certain recouvrement de couverture est inévitable, mais il faut le minimiser pour assurer une couverture efficace.

FIGURE 8

Exemples de triangles élémentaires montrant les recouvrements nécessaires pour assurer une couverture complète



a) Triangle équilatéral



b) Triangle non équilatéral

D08

On obtient un tel recouvrement minimal si les triangles sont équilatéraux, mais l'augmentation du recouvrement sera faible si on s'écarte un peu de ces conditions. Dans cette situation optimale, les parallélogrammes deviennent des losanges et la distance entre chacun des sommets et le barycentre du triangle est $r/\sqrt{3}$. La zone de couverture, Sc , de chacun des émetteurs est alors donnée par la relation:

$$Sc = \pi \left(\frac{r}{\sqrt{3}} \right)^2 = \frac{\pi r^2}{3}$$

et la superficie de chacun des parallélogrammes est $S = \frac{\sqrt{3} r^2}{2}$.

Le quotient Sc/S est dénommé «facteur de couverture» et son inverse S/Sc «efficacité de couverture». La plus grande valeur de Sc/S est obtenue avec des triangles équilatéraux et elle est égale à $2\pi/3\sqrt{3} = 1,21$. Bien que donnant une efficacité de couverture plus faible, l'utilisation d'un réseau comportant des triangles non équilatéraux peut être avantageuse dans certains cas, ce qui sera examiné lorsqu'on envisagera la répartition des canaux.

En télévision, il faut des rapports de protection dans le même canal ayant une valeur élevée (de l'ordre de 30 à 45 dB), même pour les brouillages non continus. Par conséquent, il est nécessaire que les zones de couverture dans le même canal ne se recouvrent pas, mais aussi qu'elles soient bien distinctes. Il ressort de ce qui précède que, si les émetteurs fonctionnant sur le même canal forment un réseau de triangles équilatéraux où D est la distance entre deux émetteurs voisins, on obtiendra la valeur maximale du facteur de couverture c comme suit:

$$c = 2\pi r_c^2 / \sqrt{3} D^2$$

Pour obtenir une couverture de zone complète, il faudra utiliser un nombre suffisant de canaux, C . Il faudra ensuite que des réseaux de triangles identiques d'émetteurs fonctionnant sur le même canal pour ces C canaux soient superposés de manière que le réseau résultant soit à nouveau parfaitement régulier géométriquement. Le nombre de solutions possibles à ce problème est assez limité.

On peut trouver toutes les solutions possibles si le parallélogramme (ou losange) du même canal est subdivisé par deux ensembles de $C - 1$ droites équidistantes, parallèles à l'une des paires de côtés du parallélogramme. Ceci est illustré par les Fig. 9a) et 10a) pour un réseau équilatéral d'émetteurs fonctionnant sur le même canal et pour $C = 7$ et $C = 12$, respectivement. La régularité géométrique du réseau de triangles élémentaires qui en résulte est obtenue lorsque chacune des $C - 1$ parallèles de l'un des ensembles ne contient qu'un seul émetteur. Les $C - 1$ parallèles de l'autre ensemble ne contiennent aussi qu'un seul émetteur si C est un nombre premier (par exemple, 7). Si C est le produit de deux nombres premiers ou plus, p_i (par exemple $12 = 2 \times 2 \times 3$), il existe également des solutions, alors que dans l'autre ensemble, seules les parallèles qui sont des multiples de p_i (ou de

leurs produits $\prod_{i=1}^{i < n} P_i$) comportent p_i (ou $\prod_{i=1}^{i < n} P_i$) émetteurs (Fig. 10c) à 10e)). Pour $C = 7$, toutes les

solutions possibles (sauf une qui ne doit pas être considérée car tous les émetteurs seraient sur l'un des côtés du triangle) sont représentées sur les Fig. 9b) à 9f).

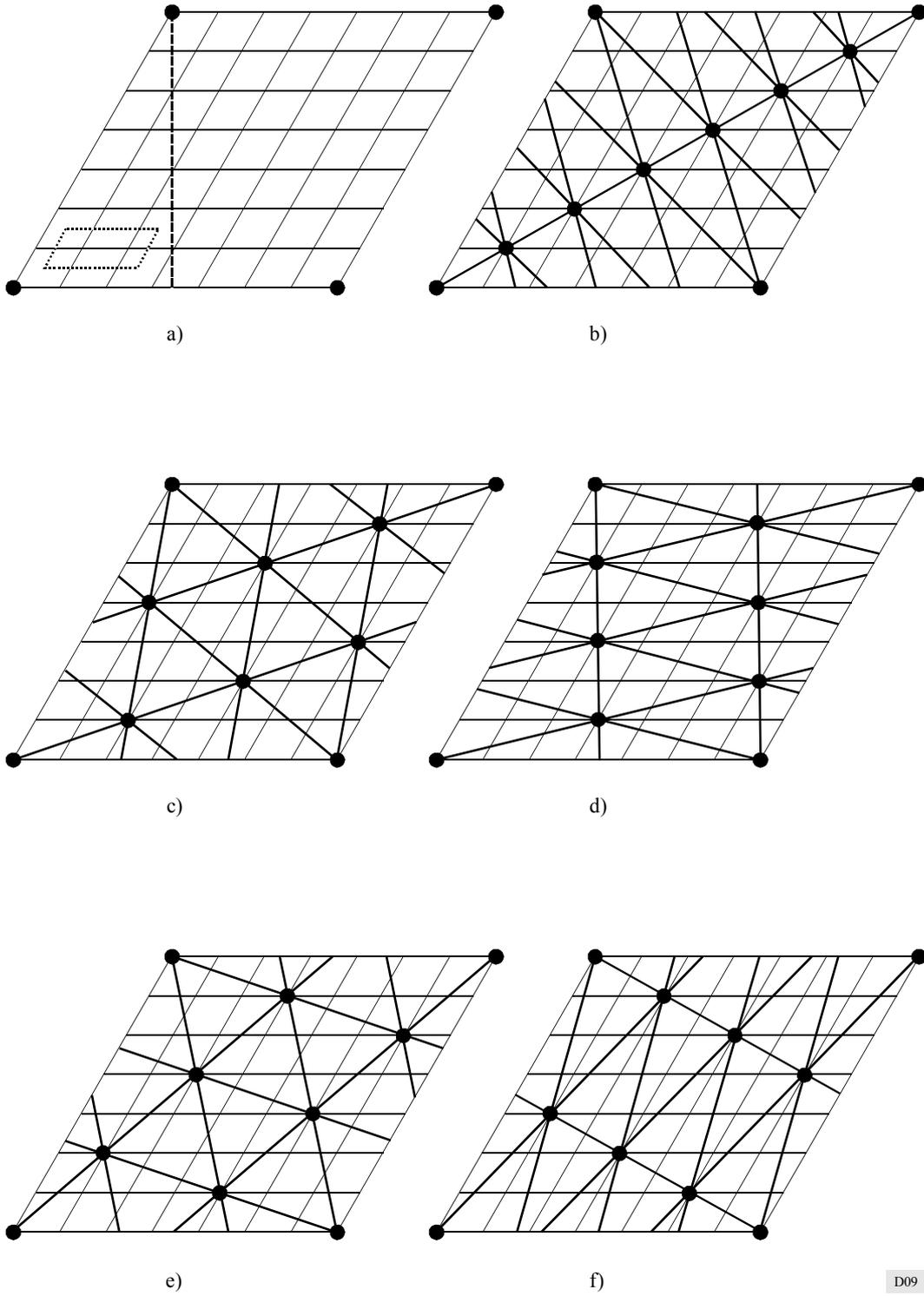
Il est avantageux d'introduire à ce stade un système de coordonnées non rectangulaires (x, y) ayant son origine (0,0) dans le coin inférieur gauche et ses axes dirigés respectivement vers le coin inférieur droit (x) et le coin supérieur gauche (y). Les parallèles de subdivision sont situées à une distance d'une unité l'une de l'autre.

Dans ce système de coordonnées, les solutions illustrées par les Fig. 9b) à 9f) comportent toutes un émetteur à $y = 1$, mais sa position par rapport à x varie entre $x = 1$ et $x = 5$. Les coordonnées de tous les autres émetteurs dans chacune des solutions sont des multiples des premières coordonnées, c'est-à-dire qu'à la Fig. 9b), les coordonnées sont (1, 1), (2, 2), (3, 3), (4, 4), (5, 5) et (6, 6). Les valeurs des coordonnées dépassant C peuvent être normalisées en réduisant le multiple réel de C ou d'un multiple de C , étant donné que les valeurs initiales et résultantes des coordonnées sont congrues les unes aux autres modulo C .

Les Fig. 9b) à 9f) montrent que certaines solutions sont «symétriques» (symétrie triangulaire), par exemple, celles des Fig. 9c) et 9e) ou des Fig. 9b), 9d) et 9f). Ce facteur réduit le nombre de solutions «distinctes» à deux. Il s'ensuit donc que, sauf pour $C = 3$, on peut trouver toutes les solutions en connaissant l'une des solutions «distinctes» si les coordonnées d'un des émetteurs sont fixées à $x \leq C/2$ et $y = 1$ (ou *vice versa*), c'est-à-dire à gauche des verticales pointillées des Fig. 9a) et 10a) et, plus précisément, à l'intérieur du parallélogramme indiqué par les pointillés. Par conséquent, dans l'exemple de la Fig. 9 ($C = 7$), seules les coordonnées (1, 1) et (2, 1) sont à considérer, alors que pour l'exemple de la Fig. 10 ($C = 12$), on ne présente que les solutions «distinctes».

FIGURE 9

Calcul de la répartition possible des canaux dans le cas d'un réseau de triangles équilatéraux d'émetteurs fonctionnant sur le même canal avec $C = 7$



Les solutions illustrées par les Fig. 9 et 10 sont obtenues à partir d'un réseau de triangles équilatéraux pour les émetteurs diffusant sur le même canal. Dans un tel réseau, le carré de la distance d entre points de coordonnées (x_1, y_1) et (x_2, y_2) avec $(x_2 - x_1) = a$ et $(y_2 - y_1) = b$ est $d^2 = a^2 + ab + b^2$. Le losange du même canal des Fig. 9 et 10 a un côté de longueur D , ce qui correspond dans les deux cas à C unités et à une superficie $S = \sqrt{3} D^2/2 = \sqrt{3} C^2/2$. Si cette région est subdivisée en C parallélogrammes élémentaires congrus, la superficie de chacun d'eux sera $S_c = \sqrt{3} C/2$ et, dans le cas où la surface élémentaire est un losange, on aura $S_c = \sqrt{3} d^2/2$, c'est-à-dire $d^2 = C$. Les Fig. 9 et 10 montrent que les triangles élémentaires ne sont généralement pas équilatéraux et qu'ils ont des côtés de longueur d_1, d_2 et d_3 . Ce n'est que dans des cas exceptionnels (Fig. 9c) et 9e)) que le triangle élémentaire est équilatéral. Il n'existe de solutions dans lesquelles le triangle du même canal et le triangle élémentaire sont équilatéraux que lorsque C est un nombre losange, c'est-à-dire quand il existe deux entiers, a et b , satisfaisant la relation $C = a^2 + ab + b^2$. Cette condition résulte du fait que les coordonnées de tous les émetteurs ne peuvent être que des entiers. Les superficies des triangles équilatéraux et non équilatéraux sont égales si:

$$3 d^4 = 4 d_1^2 d_2^2 - (d_1^2 + d_2^2 - d_3^2)^2$$

Exemple: sur la Fig. 10d), les longueurs des côtés sont:

$$d_1 = \sqrt{13}, \quad d_2 = 3, \quad d_3 = 4$$

d'où:

$$3 d^4 = 4 \times 13 \times 9 - (13 + 9 - 16)^2$$

ou:

$$d^2 = \sqrt{(13 \times 12) - 12} = 12 = C$$

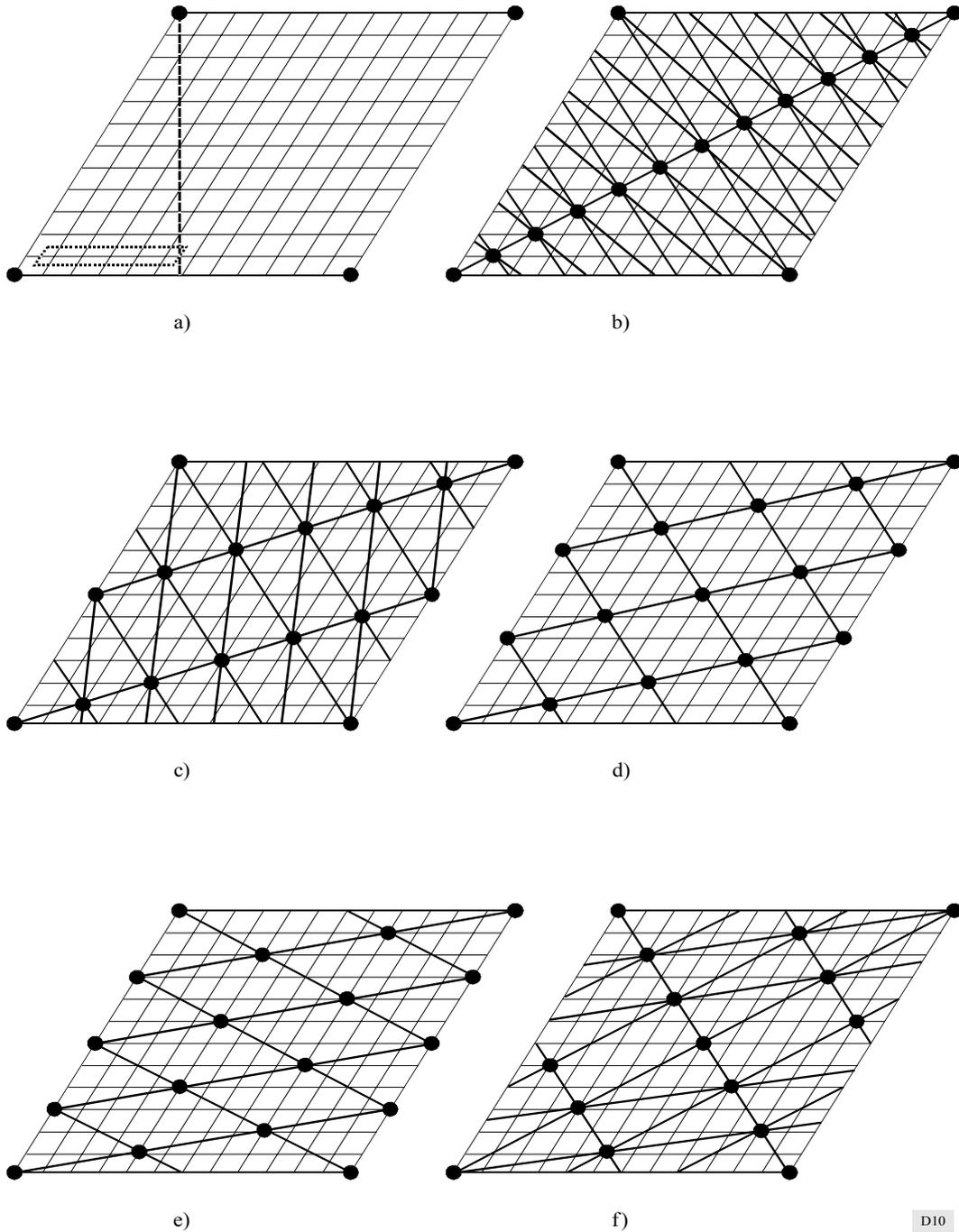
On trouvera au § 2.1 du corps du texte les valeurs des nombres losanges pour $C < 80$ avec les entiers générateurs a et b . On y trouve aussi certaines conclusions fondamentales que l'on peut tirer des considérations développées dans la présente Annexe.

Il est également possible de tirer d'autres conclusions:

- Si les émetteurs situés aux sommets du losange du même canal subissent des brouillages de la part d'autres émetteurs situés ailleurs à l'intérieur du losange et fonctionnant sur des canaux différents, par exemple, sur le canal adjacent ou sur le canal conjugué, il faut alors maximiser la distance de ces émetteurs par rapport aux sommets, c'est-à-dire les situer aussi près que possible du barycentre du triangle. Ces brouillages auront néanmoins tendance à réduire la couverture, et, pour compenser cette perte, il faudra augmenter le nombre de canaux nécessaires.
- L'effet des brouillages dépend essentiellement de la distance entre les émetteurs en cause et du rapport de protection exigé. Etant donné la distance plus faible entre le barycentre et les sommets des triangles du même canal, il peut arriver que le brouillage dans le même canal ne soit plus prédominant. Pour la plupart des systèmes de télévision, ce ne sera pas le cas. A titre d'information, il convient de noter que ce phénomène se produit notamment lors de brouillage par le canal adjacent en radiodiffusion sonore MF avec espacement des canaux de 100 kHz. Dans ce cas, les triangles élémentaires équilatéraux peuvent être préférables à des triangles du même canal équilatéraux. Néanmoins, quelle que soit la solution retenue, le nombre de canaux nécessaire pour assurer une couverture complète augmentera.

FIGURE 10

Calcul de la répartition possible des canaux dans le cas d'un réseau de triangles équilatéraux d'émetteurs fonctionnant sur le même canal avec $C = 12$



D10

3 Mode de répartition linéaire des canaux

Après avoir fixé les caractéristiques géométriques du réseau, il reste à organiser les C canaux nécessaires pour assurer une couverture complète, de manière à réduire le plus possible les brouillages. Il peut être bon de rappeler ici que tout losange d'émetteurs diffusant sur le même canal fait partie d'un réseau s'étendant à l'infini, constitué de C réseaux d'émetteurs diffusant sur le même canal, superposés de manière régulière. Chaque résultat obtenu par la méthode de planification en réseaux sera donc caractérisé par une répétition périodique dans toutes les directions de la disposition géométrique des canaux indiquée, à titre d'exemple, dans l'un des losanges d'émetteurs diffusant sur le même canal.

Il paraît utile d'utiliser comme référence le canal 0 pour étudier l'organisation des canaux et de l'affecter, pour tous les exemples, aux sommets du losange d'émetteurs du même canal. En conséquence, les numéros des canaux (1, 2, ..., $C - 1$) seront automatiquement caractéristiques de la différence de numéros de canaux entre l'émetteur considéré et ceux qui sont situés aux sommets du losange. Toutefois, lorsqu'on considère, par exemple, les brouillages par le canal adjacent, il ne faut pas oublier que ce type de brouillages n'existe pas uniquement entre les canaux 0 et 1, mais aussi entre les canaux 1 et 2, 2 et 3, etc. Pour des raisons de simplicité et de régularité dans le système de répartition des canaux, il semble bon d'assigner le canal 1 à un émetteur de coordonnées (x_1, y_1) qui, comme on l'a expliqué plus haut, devrait être assez près du barycentre et le canal 2 à l'émetteur de coordonnées $(2x_1, 2y_1)$, etc. Il s'ensuit que la différence entre les numéros de canaux assignés à des émetteurs équidistants et alignés sera constante. Si elle est supérieure à un canal, il peut en résulter des numéros de canaux plus grands que C , ce qui doit être normalisé en soustrayant C ou un de ses multiples. Les numéros de canaux initiaux et normalisés sont donc les uns par rapport aux autres congrus modulo C . Les systèmes de répartition ainsi produits sont qualifiés de «répartition linéaire». Il existe évidemment d'autres solutions, mais les répartitions non linéaires, bien que parfois utilisables, sont moins commodes (ces solutions sont rapidement examinées au § 5).

Il est avantageux d'envisager les systèmes linéaires de répartition des canaux pour étudier l'efficacité de couverture puisque la situation des brouillages dans chacun des C réseaux superposés d'émetteurs diffusant sur le même canal est la même, à l'exception de certaines irrégularités pour le premier et le dernier de C canaux. Cette exception peut toutefois être négligée si on suppose que les C canaux en question forment un système cyclique où les canaux 0 et $C - 1$ sont adjacents. On peut noter incidemment que ce sera le cas si on s'efforce d'assurer la couverture avec n programmes en utilisant une séquence de canaux ininterrompue subdivisée en n groupes de C canaux chacun. La Fig. 11 présente un système cyclique de canaux.

Etant donné que la situation des brouillages dans tous les C canaux ainsi que pour chacun des émetteurs dans n'importe quel réseau du même canal est identique, les zones de couverture de tous les émetteurs sont également identiques à la fois par leurs formes et par leurs dimensions. Pour vérifier la couverture obtenue par l'ensemble des émetteurs dans les C canaux, il suffit donc de déterminer la zone de couverture de l'un d'entre eux.

Les systèmes de répartition linéaire des canaux permettent également de tenir compte des brouillages autres que les brouillages dans le même canal. Pour la télévision, il faut considérer les brouillages provenant des canaux adjacents (± 1), du canal conjugué (+8 ou ± 9 ou +10) et de l'oscillateur local d'un récepteur accordé sur le canal ± 4 ou -5 . Théoriquement, ces canaux devraient être situés au voisinage du barycentre de l'un des deux triangles formant un losange de même canal. Leur distance par rapport aux sommets devrait en principe être plus grande si le rapport de protection est plus élevé. Dans les systèmes de répartition linéaire des canaux, pour des raisons de symétrie, les canaux dont le numéro diffère d'une même quantité de celui de l'émetteur de référence mais avec des signes contraires, sont placés de manière symétrique par rapport à ces deux barycentres.

Sachant que les canaux z et $C - z$ sont symétriques l'un par rapport à l'autre, il ne peut évidemment pas exister plus de $C/2$ répartitions différentes des canaux, c'est-à-dire dans l'exemple de la Fig. 9b), seulement trois; elles sont indiquées à la Fig. 12 dans les trois colonnes. Les deux barycentres sont indiqués par la lettre G. La troisième solution permettrait d'obtenir la plus grande distance entre les sommets et le canal adjacent. Dans l'exemple de la Fig. 9c), la distance de chaque émetteur au sommet le plus proche est identique; les trois solutions possibles sont donc équivalentes dans ce cas, si bien qu'en réalité, il n'existe qu'une seule solution discrète par suite de la symétrie. Cette configuration particulière se présente quand C est un nombre losange et que le réseau est constitué de triangles équilatéraux.

FIGURE 11
Système cyclique de groupement de canaux ($n = 2$)

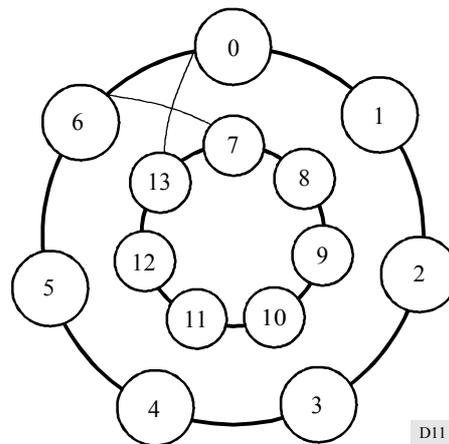
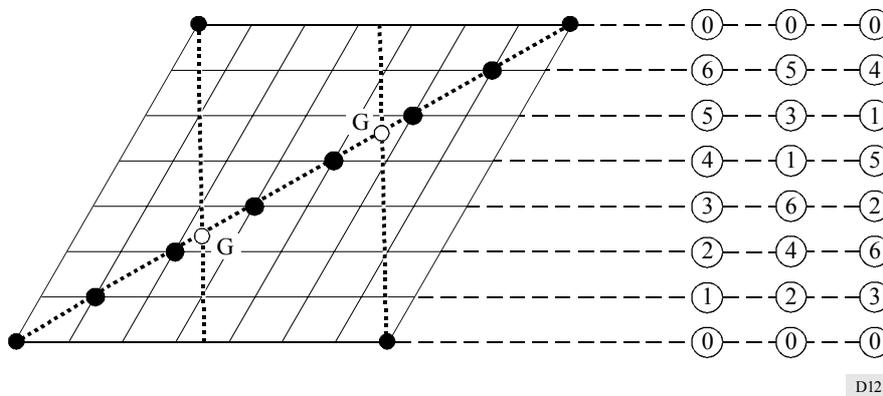


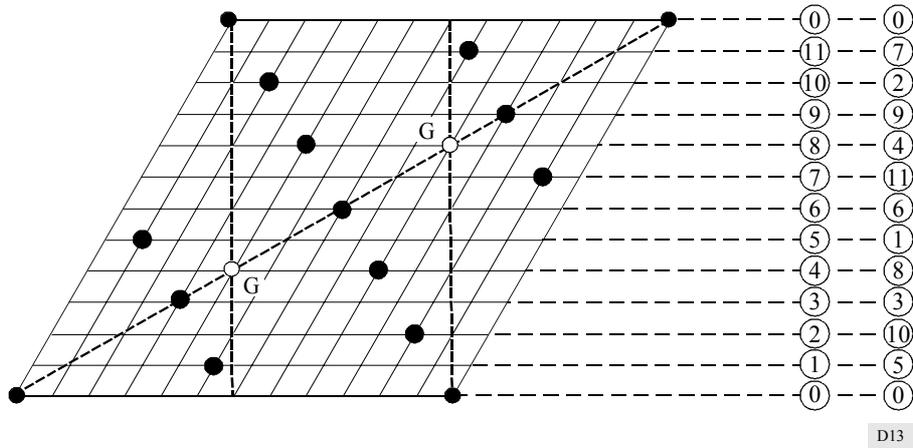
FIGURE 12
Exemples d'attribution des canaux dans un réseau régulier composé de triangles équilatéraux ($C = 7$)



Le nombre de solutions possibles augmente, en principe, avec celui des canaux nécessaires pour assurer une couverture complète. Cependant, la différence, Δ , entre les numéros de canaux utilisés par des émetteurs voisins et le nombre de canaux disponibles, C , ne doit pas avoir de facteur commun (sauf 1), étant donné que dans un tel cas, on n'utiliserait que les canaux dont les numéros sont des multiples de ce facteur, tandis que les autres resteraient inutilisés. Il est évident qu'il est impossible d'obtenir ainsi une répartition linéaire des canaux. Par conséquent, seul le nombre total $C/2$ de solutions (partie entière de cette fraction) n'existera que si C est un nombre premier. Si C est le produit de deux nombres premiers ou plus, il existera beaucoup moins de solutions. Par exemple, pour $C = 12$, il n'en existe que deux, qui sont présentées à la Fig. 13 pour l'exemple du réseau géométrique de la Fig. 10f). Ici encore, les deux barycentres sont indiqués par la lettre G. Aucune des deux solutions n'est entièrement satisfaisante dans ce type de réseau géométrique.

FIGURE 13

Exemples d'attribution des canaux dans un réseau régulier composé de triangles équilatéraux ($C = 12$)



La Fig. 14 présente un exemple pour $C = 19$. Dans cette solution, les triangles élémentaires sont équilatéraux. Le système de répartition des canaux choisi convient assez bien pour la télévision en B.dm utilisant les systèmes G, I ou L, car il tient compte au mieux des brouillages pour les positions avec des différences de canaux de 1, 9 et 18, en supposant que les 61 canaux couvrant l'ensemble de la bande décimétrique sont répartis pour permettre la diffusion de trois programmes à l'aide de 19 canaux pour chaque programme. La distance des émetteurs fonctionnant sur ces canaux par rapport aux sommets est respectivement, $\sqrt{3}$ fois, 2 fois et $\sqrt{3}$ fois la longueur du côté du triangle élémentaire. La position avec une différence de canal de 5 est toutefois assez peu satisfaisante car elle est immédiatement adjacente à celle du canal de référence. Il est facile de vérifier qu'avec cette géométrie, on ne peut trouver aucune solution pour laquelle les positions avec des différences de canaux de 1, 5, 9 et 18 sont toutes également bonnes et satisfaisantes.

On peut maintenant conclure qu'il est possible de résoudre le problème de l'obtention d'une couverture de zone complète à l'aide de l'organigramme de la Fig. 15 en déterminant:

Etape 1: Le facteur de couverture $c_{(1)}$, lorsqu'on utilise un seul canal et quand, en l'absence de bruit, on ne tient compte que des brouillages dans le même canal:

$$c_{(1)} = 2\pi r_1^2 / \sqrt{3} D^2$$

Etape 2: Le nombre minimal de canaux, C_{min} , nécessaire pour assurer une couverture complète: $C_{min} \cong 1,2/c_{(1)}$.

Etape 3: La structure géométrique la plus favorable (triangles élémentaires équilatéraux ou presque équilatéraux) pour C_{min} ou des valeurs un peu plus élevées, si cela est nécessaire ou utile.

Etape 4: Le système de répartition des canaux le plus approprié pour la solution géométrique déterminée à l'Etape 3.

Etape 5: Le facteur de couverture, c_1 , qu'on peut obtenir avec l'un quelconque des C canaux en tenant compte de tous les types de brouillages:

$$c_1 = 2\pi r_1^2 / \sqrt{3} D^2$$

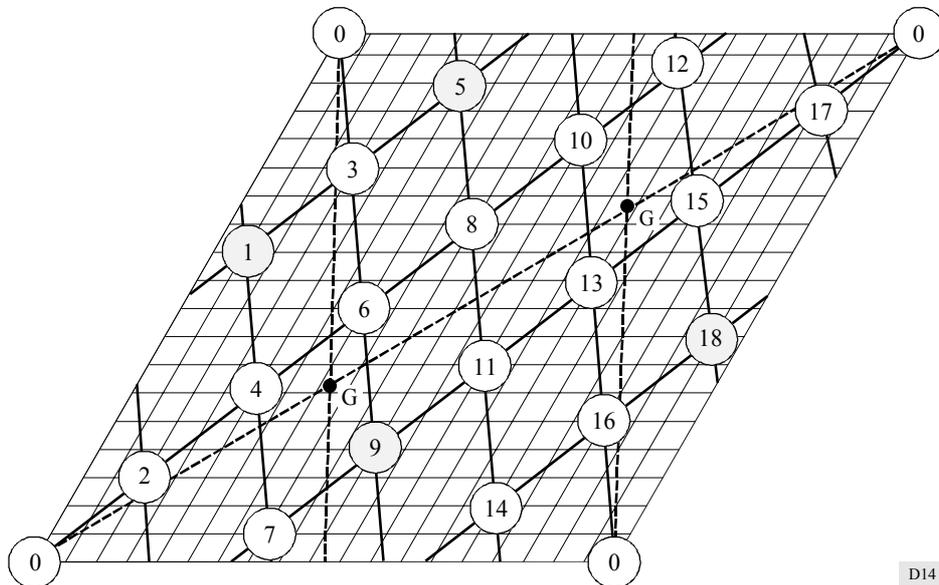
Etape 6: Le facteur de couverture, c , qu'on peut obtenir avec l'ensemble des canaux: $c = c_1 C$.

Etape 7: Le niveau de puissance nécessaire pour permettre une réception exempte de bruit à une distance r_1 de l'émetteur pour, environ, 90% des emplacements.

- Il faudra peut-être répéter les Etapes 3 et 4 de manière itérative pour obtenir un résultat optimal.
- Si le niveau de puissance déterminé à l'Etape 7 dépasse une valeur raisonnable ou prédéterminée, il faut, soit réduire la distance D entre émetteurs fonctionnant sur le même canal et répéter l'ensemble de la procédure, soit augmenter le nombre C de canaux.
- Si dans l'étape 6 le facteur de couverture, c , n'est pas égal à 1,2 (pour des triangles élémentaires équilatéraux) ou ne dépasse pas suffisamment cette valeur (pour des triangles élémentaires non équilatéraux), il faut répéter l'ensemble de la procédure en partant de l'Etape 3, ou, si cela est nécessaire, du début, mais avec une plus grande valeur de C . Les transformations affines peuvent être utiles si les brouillages dus aux autres canaux sont plus importants que les brouillages dans le même canal ou sont de niveau comparable.

FIGURE 14

Exemple de réseau à dix-neuf canaux convenant pour la télévision en B.dm dans le cas où on doit diffuser trois programmes dans des sous-bandes distinctes



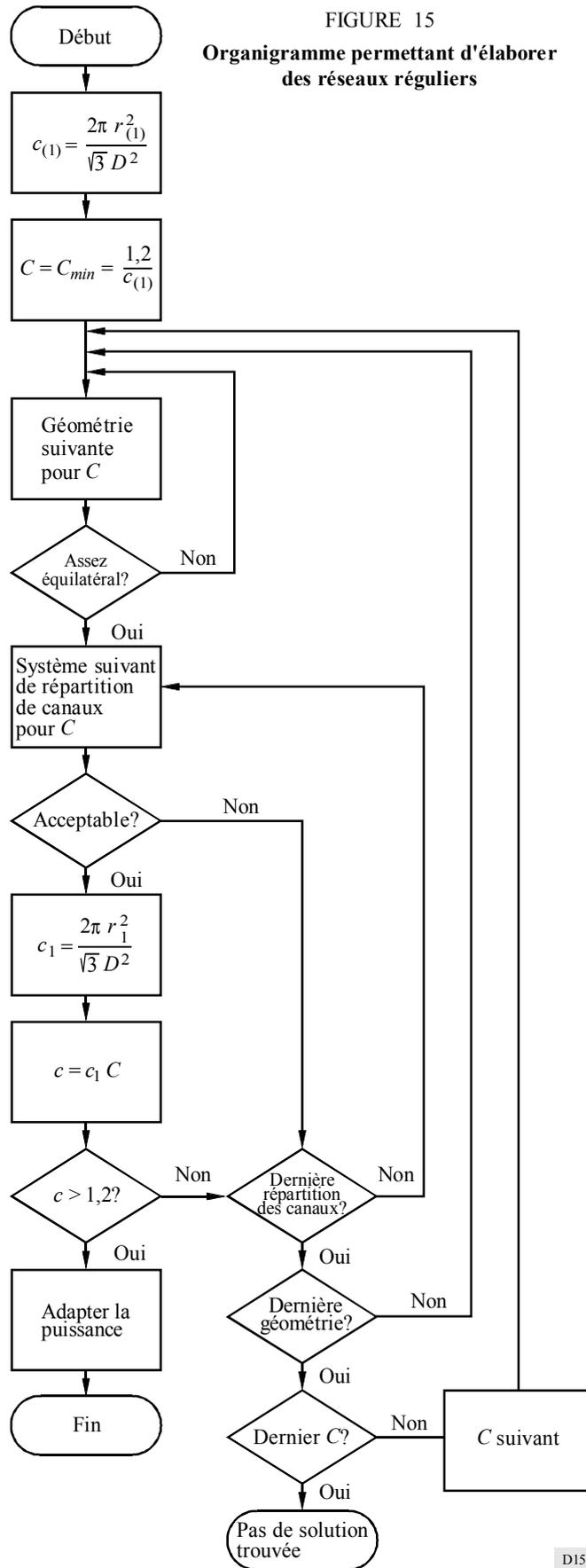
D14

4 Couverture multiple et groupement de canaux

Après avoir résolu le problème d'optimisation pour obtenir une couverture de zone complète avec un nombre minimal de canaux, il est assez facile d'assurer une couverture de zone complète avec plus d'un programme. Il est évident que le nombre C de canaux nécessaires pour assurer la couverture avec P programmes est $C_P = CP$. On peut l'obtenir:

- en étendant le système cyclique de C canaux pour qu'il comprenne P cycles de C canaux chacun. La Fig. 11 présente cette solution pour $C = 7$ et $P = 2$. Elle est basée sur le fait que, dans un système cyclique de canaux, $C - 1$ et C sont déjà adjacents. Il ne faudra donc pas, en principe, envisager de brouillages supplémentaires à l'exception des types de brouillages qui n'intervenient pas auparavant en raison du petit nombre de canaux utilisés. Par exemple, dans le cas de la Fig. 12, on n'utilise que 7 canaux et le canal +9 ne peut pas causer de brouillages par le canal conjugué. Cette situation se modifiera quand on envisagera des couvertures multiples avec 7 canaux par programme, car le canal 2 du deuxième réseau est situé 9 canaux au-dessus du canal 0 du premier réseau, etc.;
- ou en traitant la totalité des C_P canaux comme un ensemble unique, c'est-à-dire comme un seul réseau de C_P canaux.

FIGURE 15
Organigramme permettant d'élaborer des réseaux réguliers



La première méthode garantit une couverture identique pour les P programmes à part certaines exceptions particulières comme les niveaux plus faibles de brouillage par le canal adjacent dans les canaux du haut et du bas de la bande. Elle assure une différence égale entre les numéros des canaux utilisés à chaque emplacement, ce qui peut être considéré comme offrant des avantages et des inconvénients. La seconde méthode est plus souple, puisque le nombre de réseaux possibles augmente avec le nombre total de canaux. Elle suppose le groupement de P assignations dans chaque emplacement d'émission. Celles-ci doivent être choisies à partir de points très proches les uns des autres. Si on constitue des groupements de plus de deux canaux dans un emplacement et si les canaux sont alignés dans le réseau, ils seront, comme dans la première méthode, équidistants.

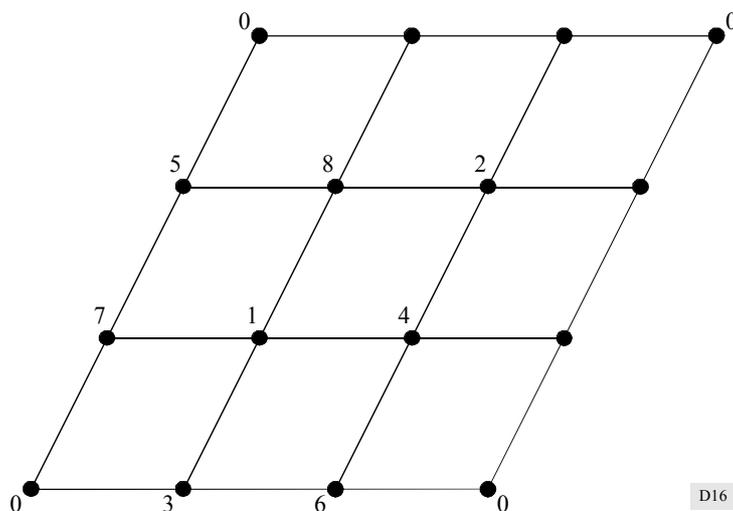
Le groupement réalisé selon la seconde méthode impose une certaine déformation du réseau de base, ce qui ne présente pas nécessairement d'inconvénients, mais il est évident que ce seront les triangles élémentaires résultant du groupement et non ceux du réseau de base initial qui devront être presque équilatéraux. C'est pourquoi les solutions de base comportant des triangles élémentaires qui sont loin d'être équilatéraux peuvent être intéressantes.

5 Répartitions non linéaires

Il a été indiqué plus haut que les répartitions non linéaires des canaux peuvent également conduire à des solutions valables, mais généralement moins commodes. La Fig. 16 présente un exemple d'une telle répartition fondée sur un réseau à 9 canaux. Elle a la particularité de créer un réseau dans lequel les triangles du même canal et les triangles élémentaires sont tous deux équilatéraux bien que 9 ne soit pas un nombre losange. On peut constater que cette répartition ne permet pas que l'incrément des numéros de canaux soit constant dans une direction quelconque du réseau. Il en résulte que les niveaux de brouillages ne seront pas nécessairement identiques à tous les emplacements d'émission.

FIGURE 16

Exemple de réseau non linéaire pour neuf canaux



ANNEXE 2

**Contraintes affectant la planification des fréquences
(Systèmes de télévision à 625 lignes)****1 Introduction**

Afin d'assurer la planification efficace des services de télévision de Terre dans les bandes 47-68 MHz (Bande I), 174-230 MHz (Bande III) et 470-960 MHz (Bandes IV et V), il peut s'avérer nécessaire de tenir compte de certaines contraintes quant à l'utilisation des fréquences afin d'éviter de causer des brouillages à d'autres émissions de télévision et d'assurer la compatibilité avec d'autres services de radiodiffusion, comme la radiodiffusion sonore dans la bande 87,5-108 MHz.

La présente Annexe identifie les contraintes qui peuvent résulter des limitations techniques dans la conception des récepteurs ainsi que de l'émission de plusieurs programmes de télévision ou de radiodiffusion sonore en modulation de fréquence diffusés à partir du même emplacement ou d'emplacements différents mais avec un recouvrement de leurs zones de service. Les brouillages dans le même canal, par le canal adjacent et par le canal conjugué sont traités dans la Recommandation UIT-R BT.655.

Les signaux brouilleurs peuvent être maintenus à des niveaux acceptables si la distance entre les émetteurs en cause est suffisante, mais, compte tenu de la bande relativement étroite qui est attribuée à la télévision, il faut réaliser une économie dans l'utilisation des fréquences et faire en sorte que les canaux soient réutilisés à des distances aussi faibles que possible.

Il n'est pas tenu compte des brouillages résultant du rayonnement des harmoniques, ou des produits d'intermodulation dans la station d'émission, car on admet que l'organisme de radiodiffusion peut prendre les précautions nécessaires pour réduire ces rayonnements parasites à des niveaux acceptables.

2 Contraintes introduites par les récepteurs de télévision**2.1 Rayonnement de l'oscillateur local des récepteurs de télévision**

Les récepteurs super hétérodynes peuvent être la cause de brouillages interdisant l'utilisation de certains canaux. L'oscillateur local des récepteurs, sauf pour le système L et certains récepteurs du système K1, fonctionne à une fréquence située entre 38,0 et 40,2 MHz au-dessus de la porteuse image du signal utile. Par conséquent, si l'espacement entre canaux est de 7 ou 8 MHz et si le canal n est utilisé par un service, le choix, pour un service voisin, du canal $n + 4$ ou du canal $n + 5$ selon le système employé (voir le Tableau 1) entraînerait l'apparition de brouillages causés par l'oscillateur local des récepteurs accordés sur le canal n . Pour le système L et certains récepteurs du système K1, l'oscillateur local fonctionne à une fréquence de 32,7 MHz au-dessous de celle de la porteuse image, de sorte que, dans ce cas, le canal brouillé est le canal $n - 4$.

Ces informations proviennent du Rapport UIT-R BT.625.

De plus, pour cet écart entre canaux, on peut observer des brouillages causés par des battements à la fréquence intermédiaire. En pratique, l'importance de ce problème diminue progressivement avec l'amélioration technique des récepteurs.

Le rayonnement des récepteurs de télévision dans la bande 47-68 MHz peut affecter la réception de la radiodiffusion sonore en modulation de fréquence. Ceci peut se produire lorsque la fréquence de l'oscillateur local des récepteurs de télévision est proche de celle de la porteuse d'un émetteur en modulation de fréquence.

2.2 Canal conjugué

Le brouillage par le canal conjugué se produit lorsque la différence de fréquence entre deux émissions est égale à environ deux fois la fréquence intermédiaire. Le canal conjugué affectant la réception du canal n correspondrait au canal $n + 9$, sauf pour les systèmes B ($n + 10$), pour les systèmes D et K ($n + 8$ et $n + 9$), pour le système K1 ($n + 9$ et $n + 10$) et pour le système L ($n - 9$).

L'amélioration de l'affaiblissement sur le canal conjugué dans les récepteurs modernes réduit au minimum ce phénomène, mais l'affaiblissement n'est pas total, et il faudrait éviter de se placer dans cette situation lorsqu'on établit un plan de fréquences. Le brouillage par le canal conjugué ne constitue pas un problème dans les Bandes I et III.

2.3 Harmoniques des oscillateurs locaux des récepteurs de radiodiffusion sonore en MF

Il se peut que le deuxième ou le troisième harmonique de l'oscillateur local des récepteurs MF tombe dans la Bande III selon que l'oscillateur local est respectivement supradyné ou infradyné. Il serait donc préférable de choisir les fréquences d'émissions de radiodiffusion sonore en modulation de fréquence et les canaux de télévision de manière que cette situation ne se présente pas, mais on ne peut généralement pas en tenir compte dans l'établissement des plans de fréquences.

2.4 Harmoniques et produits d'intermodulation créés par la saturation des récepteurs

Les signaux de radiodiffusion en modulation de fréquence et/ou de télévision de niveau élevé peuvent donner lieu à des non-linéarités dans l'étage d'entrée des récepteurs, ce qui crée des harmoniques et des produits d'intermodulation. Il n'est pas possible de prendre en considération ces mécanismes de brouillages lors de l'élaboration d'un plan de fréquences. Les problèmes éventuels devraient être résolus cas par cas, par exemple, en utilisant des filtres à coupure brusque et des atténuateurs à la réception.

3 Limitations de l'antenne d'émission

Il arrive souvent que des émetteurs de télévision situés au même endroit utilisent un système d'antenne commun. La différence de fréquence minimale possible est déterminée par les limitations introduites par la conception du multiplexeur.

Pour la planification, la différence de fréquence minimale ne doit généralement pas être inférieure à deux canaux dans les Bandes I et III et à trois canaux dans les Bandes IV et V. Par ailleurs, il est techniquement possible de concevoir des multiplexeurs fonctionnant pour des différences de fréquence n'atteignant que deux canaux dans les Bandes IV et V, mais ces équipements risquent d'être plus coûteux, notamment pour les émetteurs de forte puissance.

En théorie, il est possible d'assigner des canaux adjacents à des émetteurs se trouvant au même endroit, à condition que les deux émissions aient des polarisations orthogonales et une p.a.r. similaire. Il est probable, cependant, que cela posera des problèmes techniques à ces emplacements d'émetteurs. En outre, il faut s'attendre à rencontrer de graves difficultés dans les installations de réception qui devront utiliser des systèmes d'antennes distincts pour recevoir les deux signaux.

4 Conclusions applicables aux procédures de planification de télévision

Le Tableau 1 indique, pour les différents systèmes de télévision, les différences exprimées en nombre de canaux, qui devraient être évitées pour les émetteurs situés au même emplacement, en raison du rayonnement des oscillateurs locaux ou du brouillage par le canal conjugué. Lorsque les émetteurs sont situés à des endroits différents mais avec des zones de couverture qui se chevauchent, on estime que le problème est moins grave. Il serait toutefois prudent d'éviter ces relations entre canaux dans la planification initiale.

TABLEAU 1

Système	Nombre de canaux de différence	
	Rayonnement de l'oscillateur local	Brouillage par le canal conjugué
Bandes I et III		
B, I, K1	5	–
D, L, K1 ⁽¹⁾	4	–
Bandes IV et V		
B	5	10
D, K	4	8, 9
G, H, I	5	9
K1	5	9, 10
L, K1 ⁽¹⁾	4	9

⁽¹⁾ Si la fréquence de l'oscillateur local est la même que pour le système L.

Il convient de noter que ces contraintes se rapportent à un espacement uniforme des canaux pour l'ensemble de la zone de planification. Dans le cas où des émetteurs utilisent différents systèmes et/ou différents espacements de canaux avec des zones de couverture qui se chevauchent, une étude détaillée cas par cas s'impose.