

RECOMMANDATION UIT-R BS.598-1*

Facteurs influençant la couverture en radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude dans la bande 6 (ondes hectométriques)

(1982-1990)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'il est impossible d'améliorer au-delà d'une certaine limite, imposée par des facteurs physiques et techniques, la couverture en radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude dans une bande de fréquences donnée;
- b) que l'amélioration de la couverture dans une bande de fréquences donnée correspond à une utilisation plus efficace du spectre radioélectrique;
- c) que l'amélioration de cette efficacité n'est possible que grâce aux moyens suivants:
 - optimisation de l'efficacité de tous les émetteurs du réseau considéré;
 - réduction des effets du brouillage causé par tous les émetteurs du réseau;
 - choix d'une largeur de canal appropriée;
 - disposition des canaux telle que, dans tout le réseau, le brouillage soit réduit au minimum;
- d) qu'il est possible de définir un facteur de couverture qui soit représentatif de l'efficacité d'utilisation du spectre radioélectrique;
- e) que, parmi les facteurs qui influent sur la couverture en radiodiffusion en ondes hectométriques (bande 6), on peut citer:
 - le champ minimal utilisable;
 - la puissance des émetteurs du réseau;
 - les rapports de protection RF;
 - la distance entre émetteurs de même canal;
 - l'espacement des canaux;
 - la largeur de bande à l'émission;
 - la propagation des ondes et les facteurs qui influent sur cette propagation;
 - la distribution des canaux,

recommande

qu'en ce qui concerne la planification des fréquences et la solution des problèmes d'assignation de fréquence dans la bande 6 (ondes hectométriques), on tire parti des connaissances déjà réunies sur les relations entre les divers facteurs qui influent sur la couverture en radiodiffusion, relations qui sont décrites dans l'Annexe 1.

* 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.

Les informations données dans l'Annexe 1 ont été obtenues à la suite d'études sur des réseaux réguliers, une distribution linéaire des canaux et en supposant des antennes d'émission équi-directives.

Les aspects d'exploitation de la couverture en radiodiffusion (B.hm) sont exposés dans les Annexes 2, 3, 4 et 5.

ANNEXE 1

1 Introduction

Au cours de la décennie qui a précédé la Conférence administrative régionale de radiodiffusion à ondes kilométriques et hectométriques (Régions 1 et 3), (Genève, 1974-1975), les facteurs qui influent sur la couverture en radiodiffusion sonore à ondes hectométriques (bande 6) ainsi que leurs relations ont été abondamment étudiés dans divers pays. Les résultats déjà obtenus jettent une vive lumière sur ce problème complexe et peuvent même être considérés comme apportant une réponse définitive.

Pour des raisons évidentes, les études sont parties du principe qu'étant donné la limitation des bandes attribuées à la radiodiffusion à ondes hectométriques, aucun canal ne pourrait être attribué exclusivement à un émetteur dans le monde entier. Toutefois l'assignation d'un même canal à plusieurs émetteurs supposés suffisamment éloignés l'un de l'autre conduit inévitablement à des problèmes de brouillage dans ce canal.

2 Définition du facteur de couverture

On suppose d'abord que, dans une zone infiniment étendue, tous les émetteurs (en nombre indéfini) utilisent la même fréquence et la même puissance p (kW), la distance entre deux émetteurs voisins étant D (km). Dans un tel réseau à un seul canal, la plus forte densité peut être obtenue lorsque trois émetteurs voisins forment un triangle équilatéral de côté D (voir Fig. 1), conditions dans lesquelles l'utilisation du spectre est supposée presque optimale. En présence de bruit et de brouillage dus aux stations environnantes fonctionnant dans le même canal, la portée R (km) de chacun des émetteurs dépend:

- de la fréquence;
- de la propagation qui influe à la fois sur le champ utile E_w et sur les champs brouilleurs E_i ;
- du champ minimal utilisable (E_{min});
- des rapports de protection en radiofréquence (a_i).

La portée est la distance par rapport à l'émetteur utile à laquelle le champ de l'émetteur utile est égal au champ utilisable E_u :

$$E_u = E_w = \sqrt{E_{min}^2 + \sum_{i=1}^n (E_i \times a_i)^2} \quad \text{(voir le Rapport UIT-R BS.945)}$$

NOTE – Lorsque les valeurs du champ ou du rapport de protection sont exprimées en dB(μ V/m) ou dB, respectivement, la conversion peut être faite au moyen des formules:

$$\underline{E}(\mu\text{V/m}) = 10^{\frac{E(\text{dB}(\mu\text{V/m}))}{20}} \quad a = 10^{\frac{A(\text{dB})}{20}}$$

En l'absence de bruit, ou lorsque le brouillage est largement prédominant, la zone de couverture ne dépend pas de la puissance d'émission, alors qu'elle en dépend dans le cas contraire.

D'une façon générale, le facteur de couverture c peut être défini comme le rapport de la somme des surfaces S_n couvertes par chaque émetteur de même fréquence sur une zone très étendue, à la surface totale S de la zone:

$$c = \sum S_n / S$$

Pour déterminer le facteur de couverture dans le cas théorique d'un réseau régulier, on subdivise la zone infiniment étendue en zones unitaires, dont chacune se compose de deux triangles équilatéraux correspondant au même canal et ayant un côté commun. Dans ces conditions, chaque zone unitaire correspond à un seul des émetteurs fonctionnant dans le même canal (voir Fig. 1). Le facteur de couverture (par canal) peut alors être défini:

- soit comme le rapport entre la zone de couverture πR^2 et la zone unitaire $1/2 \sqrt{3} D^2$ (couverture en surface):

$$c = \frac{2\pi}{\sqrt{3}} \left(\frac{R}{D}\right)^2 \times 100 \quad (\%)$$

- soit comme le rapport du nombre d'habitants des deux zones mentionnées (couverture démographique).

C'est le concept de couverture en surface qui sera retenu dans la suite de la présente Annexe du fait que la notion de couverture démographique ne saurait être utilisée sans des renseignements supplémentaires sur la distribution de la population et qu'en tout état de cause des études générales fondées sur la démographie seraient difficiles à réaliser.

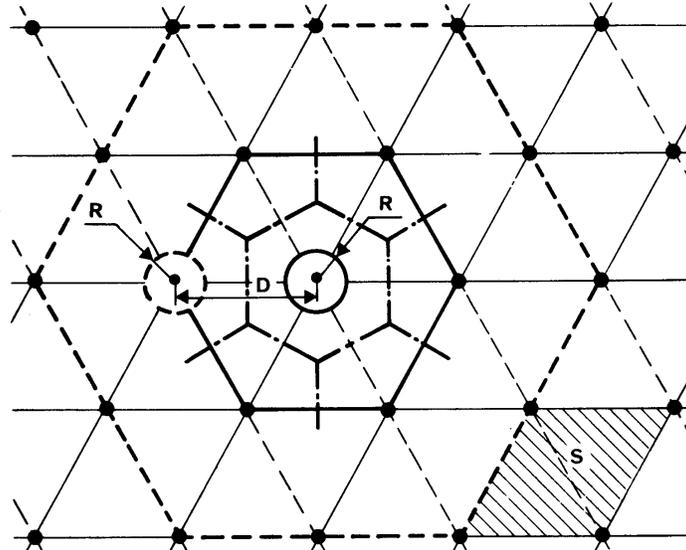


FIGURE 1 – Réseau d'émetteurs à mailles régulières

D : distance entre émetteurs de même canal
 R : portée de l'émetteur
 S : surface unitaire

L'influence des canaux restants (par exemple, canaux adjacents, deuxième canal) comme sources potentielles de brouillage devrait également être prise en considération. En principe, dans une zone unitaire, chaque canal ne peut être assigné qu'à un seul émetteur. Selon que l'on désire ou non une couverture identique pour chaque canal, les canaux devraient, soit être répartis sur toute la zone unitaire selon un schéma géométrique régulier et un mode de distribution approprié (par exemple linéaire), soit, dans le cas d'une couverture différente par canal, être distribués autrement, des distances suffisamment grandes étant toutefois maintenues entre les émetteurs qui risqueraient de provoquer ou de subir un brouillage.

Le facteur de couverture c s'exprime normalement en pourcentage. Si la couverture, pour l'ensemble des canaux de la bande 6 (ondes hectométriques) dépasse l'unité (100%), ce nombre représente le nombre moyen des programmes qui peuvent être reçus en tout point de la zone considérée.

3 Facteur de couverture c , en fonction de la distance D entre les émetteurs de même canal

3.1 Généralités

Pour établir les courbes indiquant la variation du facteur de couverture c en fonction de la distance D entre émetteurs de même canal pour différentes conditions, on a utilisé deux méthodes différentes A et B. Ces méthodes reposent néanmoins sur des bases communes, qui sont les suivantes:

- émetteurs de même puissance p ;
- courbes de propagation de l'onde de sol de la Recommandation UIT-R P.368;
- courbes de propagation de l'onde ionosphérique de la Recommandation UIT-R P.1447. Voir également le Manuel de l'UIT-R – L'ionosphère et ses effets sur la propagation des ondes radioélectriques;
- rayonnement constant dans tous les azimuts et pour tous les angles de site.

Les deux méthodes A et B diffèrent par les hypothèses suivantes:

Méthode A (résultats représentés sur la Fig. 2):

- la puissance reste inchangée ($p = 1$ kW),
- il n'y a pas de limitation par le bruit ($E_{min} = -\infty$ dB),
- le rapport de protection en radiofréquence A varie de 5 en 5 dB entre 20 dB et 45 dB,
- la conductivité du sol σ est de 3×10^{-3} S/m.

Méthode B (résultats représentés sur les Fig. 3 et 4):

- la puissance p varie, de 5 en 5 dB, entre 1 kW et 1000 kW,
- le champ minimal utilisable est $E_{min} = 60$ dB(μ V/m),
- les rapports de protection en radiofréquence sont $A = 40, 30$ ou 27 dB,
- les conductivités du sol σ sont de $10^{-3}, 3 \times 10^{-3}$ ou 10^{-2} S/m.

En fait, on a aussi étudié pour la méthode B l'emploi rigoureux et systématique des antennes directives. D'après les résultats obtenus, il ne faut pas s'attendre à une amélioration substantielle de l'efficacité d'utilisation du spectre dans de telles conditions. Il ne s'ensuit pas, toutefois, que l'on ne puisse arriver à des résultats intéressants en ayant largement recours à des antennes directives possédant un diagramme de rayonnement horizontal bien adapté aux divers cas particuliers de brouillage et de couverture (voir l'Annexe 2).

3.2 Résultats obtenus avec un modèle de Terre plane

Les courbes des Fig. 2, 3 et 4 sont données à titre d'exemple. Elles montrent de quelle façon le facteur de couverture c pour un même canal et pour une fréquence de 1 MHz dépend de la distance D dans des conditions variables. Elles tiennent compte de l'influence des brouilleurs fonctionnant sur le même canal et situés dans les deux hexagones les plus proches entourant l'émetteur utile (voir Fig. 1). C'est ainsi que le brouillage provenant de dix-huit stations, soit de six stations situées aux distances D , $D\sqrt{3}$ et $2D$, a été compris dans les calculs. Pour des raisons de symétrie, la zone de couverture a été prise égale à la valeur quadratique moyenne des valeurs obtenues pour deux directions horizontales importantes:

- la direction des brouilleurs distants de D et $2D$;
- la direction des brouilleurs distants de $\sqrt{3}D$.

En particulier, la Fig. 2 montre les résultats que donne la méthode A; elle est valable lorsque la couverture de l'onde de sol est limitée par le brouillage dû à l'onde ionosphérique et que, en l'absence de bruit, il n'y a aucune influence de la puissance. Le paramètre en fonction duquel sont tracées les courbes est le rapport de protection en radiofréquence A . On y trouve aussi l'indication, en dB par rapport à $1 \mu\text{V/m}$, du champ E_1 de l'émetteur utile à la limite de la zone de couverture, pour une puissance d'émission de 1 kW avec une antenne verticale courte. Par exemple, les points d'intersection d'une courbe en traits mixtes (points et tirets) tracée pour $E_1 = 40$ dB avec les courbes $c = f(D)$ pour $A = 20$ dB, correspondant respectivement au brouillage par onde ionosphérique du type 1 (courbe en traits pleins) ou du type 2 (courbe en tirets) montrent que, lorsque la distance entre émetteurs de même canal est D (abscisses des points d'intersection, à savoir respectivement 2 800 ou 4 800 km) et pour un rapport de protection A de 20 dB, le champ à la limite de la zone, où le rapport de protection RF est supérieur ou égal à 20 dB, est de 0,1 mV/m.

La Fig. 2 montre que:

- le facteur de couverture augmente lorsque le rapport de protection RF diminue, quel que soit le type de propagation de l'onde ionosphérique brouilleuse;
- la forme générale des courbes dépend beaucoup du type de propagation;
- aux distances supérieures à 1 500 km environ, le facteur de couverture augmente quand la propagation de l'onde ionosphérique brouilleuse est du type 1;
- le facteur de couverture est largement indépendant de la distance entre émetteurs de même canal quand la propagation est du type 2;
- il n'y a pas de séparation optimale nette entre émetteurs de même canal tant qu'il n'y a pas de limitation par le bruit.

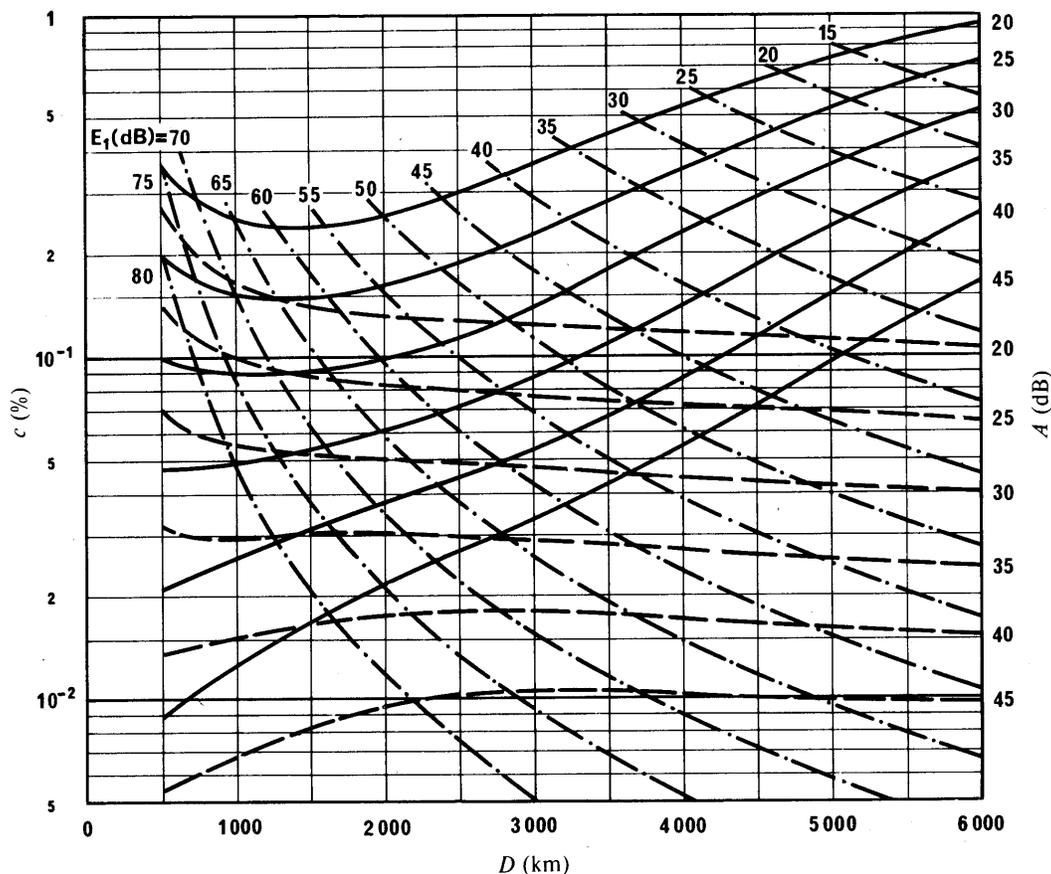


FIGURE 2 – *Facteur de couverture par canal (c) en fonction de la distance entre émetteurs de même canal (D) pour diverses conditions de propagation*

Paramètres: – rapport de protection RF A
 – champ de l'émetteur utile à la limite de la zone de couverture E_1 ; ($p = 1$ kW)

Conditions de propagation:

- signal utile: onde de sol ($\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m), Recommandation UIT-R P.368
- signaux brouilleurs: onde ionosphérique: Recommandation UIT-R P.1147

Aucune limitation de couverture par le bruit.

0598-02

Les courbes des Fig. 2, 3 et 4, qui présentent les résultats donnés par la méthode B, montrent l'influence de la puissance p (qui est le paramètre en fonction duquel elles sont tracées) en présence de bruit, et cela pour les trois valeurs du rapport de protection indiquées ci-dessus. Pour faciliter, sur chacune des Figures, la comparaison entre les cinq exemples donnés, on a représenté le facteur de couverture en échelle logarithmique. Ces cinq exemples sont les suivants:

- service par onde de sol brouillé par onde de sol (jour): courbes du groupe A;
- service par onde de sol brouillé par onde ionosphérique (nuit) pour les deux types de courbes de propagation ionosphérique considérés: courbes des groupes B₁ et B₂;
- service par onde ionosphérique brouillé par onde ionosphérique (nuit) pour les deux types de courbes de propagation ionosphérique considérés: courbes des groupes C₁ et C₂.

Les Fig. 3 et 4 montrent qu'en présence de bruit:

- la distance optimale de séparation entre émetteurs de même fréquence varie considérablement avec la puissance d'émission;
- la distance optimale de séparation est très différente le jour et la nuit;
- la couverture est la plus faible lorsque le service par onde de sol est brouillé par les ondes ionosphériques des émetteurs brouilleurs.

On voit aussi sur les Figures que, si la distance entre émetteurs fonctionnant dans le même canal est inférieure à la valeur optimale, le brouillage domine, de sorte qu'une augmentation de puissance n'a qu'une utilité réduite et qu'une réduction de puissance n'entraîne aucune diminution de la couverture.

Lorsque l'onde ionosphérique est du type 1, on peut également voir que:

- la distance optimale de séparation entre émetteurs de même canal n'est pas très différente pour le service nocturne par onde de sol ou par onde ionosphérique;
- pour les émetteurs de grande puissance tout au moins ($p \geq 30$ kW), le service par onde ionosphérique donnerait une couverture comparable à celle du service diurne par onde de sol.

Toutefois, les résultats diffèrent notablement lorsque la propagation de l'onde ionosphérique est du type 2. Dans ce cas:

- la distance optimale de séparation entre émetteurs fonctionnant dans le même canal, si elle existe, varie notablement, de nuit, pour le service par onde de sol et le service par onde ionosphérique;
- la couverture par onde ionosphérique est plus ou moins inférieure à celle de l'onde de sol pendant le jour.

Enfin, selon la valeur de la conductivité du sol, la couverture de l'onde de sol pendant la nuit peut augmenter aux petites distances à mesure que la distance entre les émetteurs de même canal diminue. Il en résulte une couverture plus étendue pour des distances réduites entre émetteurs de même canal, alors que les portées de service sont réduites à quelques kilomètres seulement.

L'influence exercée sur la couverture par le rapport de protection RF peut se déduire des Fig. 3a et 3b, tandis qu'une comparaison entre les Fig. 3b, 4a et 4b permet de déterminer l'influence de la conductivité du sol.

Comme on pouvait s'y attendre, une augmentation du rapport de protection se traduit par une diminution de la couverture, diminution qui peut être compensée au moins partiellement si l'on augmente la distance qui sépare les émetteurs de même canal. Cette perte de couverture est particulièrement prononcée dans le cas du service par onde ionosphérique obtenu pendant la nuit avec les courbes du type 2.

De façon similaire, une diminution de la conductivité du sol se traduit par une diminution de la couverture de l'onde de sol tant de jour que de nuit. Cet effet peut être atténué en partie si l'on réduit la distance entre émetteurs de même canal, mais cela uniquement de jour. La conductivité du sol n'exerce bien entendu aucune influence sur la couverture de l'onde ionosphérique.

3.3 Résultats obtenus avec un modèle de Terre sphérique

En cas de brouillage par onde ionosphérique soit du service par onde de sol, soit du service par onde ionosphérique, les distances les plus appropriées entre émetteurs de même canal sont de l'ordre du rayon de la Terre, de sorte qu'il faut tenir compte de la sphéricité de la Terre. C'est ce qui a été fait en étudiant uniquement le cas du service par onde de sol et en tenant compte du brouillage éventuel dû aux émetteurs de même canal les plus proches, tous séparés par des distances égales.

On a essayé de couvrir une sphère par un réseau de triangles sphériques équilatéraux. On peut montrer que ce résultat peut s'obtenir en remplaçant, en première approximation, la sphère par un polyèdre. Le tétraèdre, l'octaèdre et l'icosaèdre donnent respectivement des surfaces formées de 4, 8 et 20 triangles équilatéraux. Ces triangles peuvent être développés sur une surface plane et l'on peut alors appliquer sans difficulté une répartition linéaire des canaux.

Toutefois, lorsqu'on reconstitue le polyèdre, certains triangles ont des côtés ou des sommets communs avec d'autres triangles dont ils étaient séparés dans le développement en plan. Dans ces groupes de triangles, la répartition des canaux n'est plus nécessairement linéaire, d'où des restrictions dans l'utilisation des canaux figurant dans ces triangles. La proportion maximale des triangles inutilisables par rapport au nombre total sera au maximum de 40% dans le cas de l'icosaèdre, de 25% dans le cas de l'octaèdre et de 50% dans le cas du tétraèdre. Par contre, on peut, dans la majorité des cas, ne pas tenir compte de ces triangles, car les terres n'occupent qu'un tiers de la surface du globe terrestre. Il est, par conséquent, toujours possible d'utiliser les résultats obtenus à l'aide d'un réseau sur surface plane.

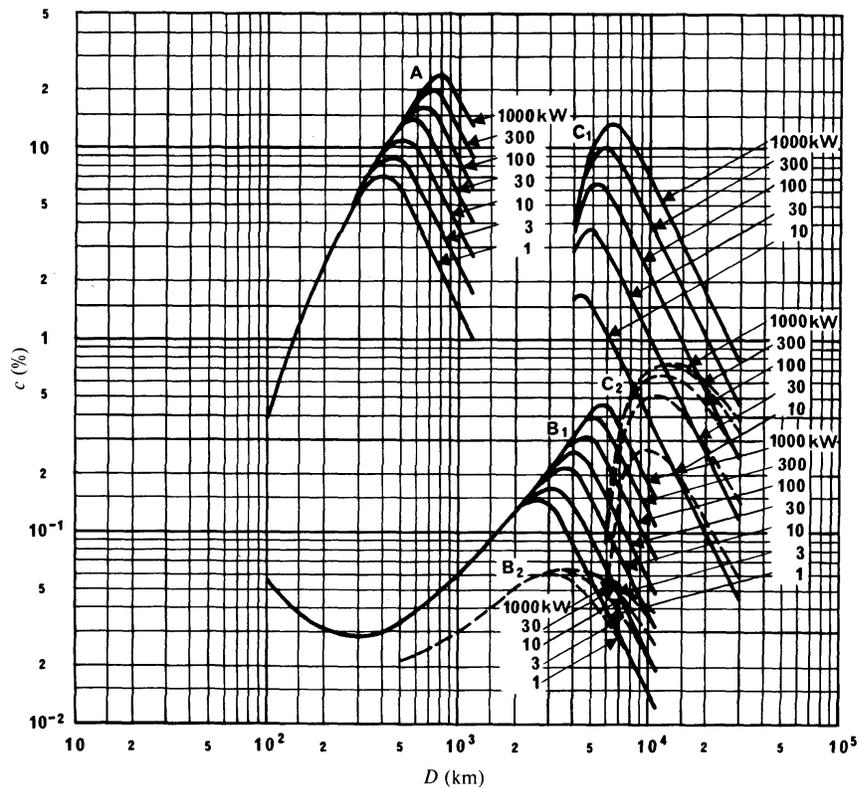


FIGURE 3a – Facteur de couverture par canal (c) en fonction de la distance entre émetteurs de même canal (D) pour diverses conditions de propagation

Paramètre: p.a.r.v. de l'émetteur p (kW) (constante pour tous les angles de site)

Familles de courbes ($f = 1$ MHz):

A: service par onde de sol, conditions de jour

B: service par onde de sol, conditions de nuit

C: service par onde ionosphérique, conditions de nuit

Conditions de propagation:

– onde de sol: Recommandation UIT-R P.368

– onde ionosphérique: Recommandation UIT-R P.1147

Champ minimal utilisable: $E_{min} = 60$ dB(μ V/m)

Conductivité du sol: $\sigma = 10^{-2}$ S/m

Rapport de protection: $A = 40$ dB

0598-03a

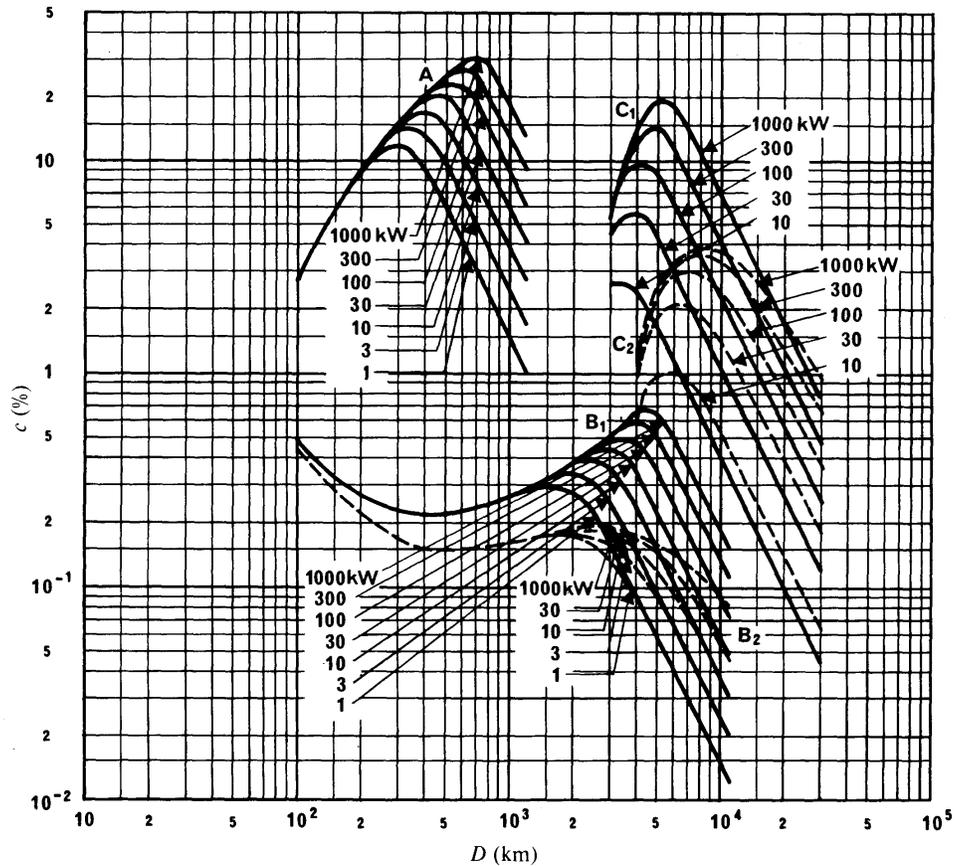


FIGURE 3b – Facteur de couverture par canal (c) en fonction de la distance entre émetteurs de même canal (D) pour diverses conditions de propagation

Paramètre: p.a.r.v. de l'émetteur, p (kW) (constante pour tous les angles de site)

Familles de courbes ($f = 1$ MHz):

- A: service par onde de sol, conditions de jour
- B: service par onde de sol, conditions de nuit
- C: service par onde ionosphérique, conditions de nuit

Conditions de propagation:

- onde de sol: **Recommandation UIT-R P.368**
- onde ionosphérique: **Recommandation UIT-R P.1147**

Champ minimal utilisable: $E_{min} = 60$ dB(μ V/m)

Conductivité du sol: $\sigma = 10^{-2}$ S/m

Rapport de protection: $A = 30$ dB

0598-03b

Si l'on suppose que, pour couvrir les terres émergées, 50% des triangles seront effectivement employés, et si l'on tient compte du fait que deux surfaces triangulaires portent chacune le nombre total des canaux disponibles, il est dès lors évident que chaque canal peut être utilisé un nombre de fois égal au quart du nombre des triangles. Il est intéressant de remarquer que cette restriction dans l'emploi de chaque canal est attribuable exclusivement à la dimension et aux caractéristiques de la surface terrestre et que les distances entre émetteurs de même canal résultant du choix du polyèdre seront d'environ 12 740 km, 10 000 km et 7 050 km pour le tétraèdre, l'octaèdre et l'icosaèdre, respectivement. Il est possible d'arriver à réduire les distances entre émetteurs de même canal et, par voie de conséquence, à augmenter le nombre de ces émetteurs en subdivisant les triangles sphériques équilatéraux en triangles plus petits qui, néanmoins, ne seront plus équilatéraux sauf après développement en plan.

On peut maintenant présenter le résultat final sous forme d'un diagramme unique illustrant la relation entre:

- le nombre d'émetteurs b de même canal;
- la distance D entre ces émetteurs;
- la puissance d'émission P nécessaire;
- le facteur de couverture c qui peut être obtenu.

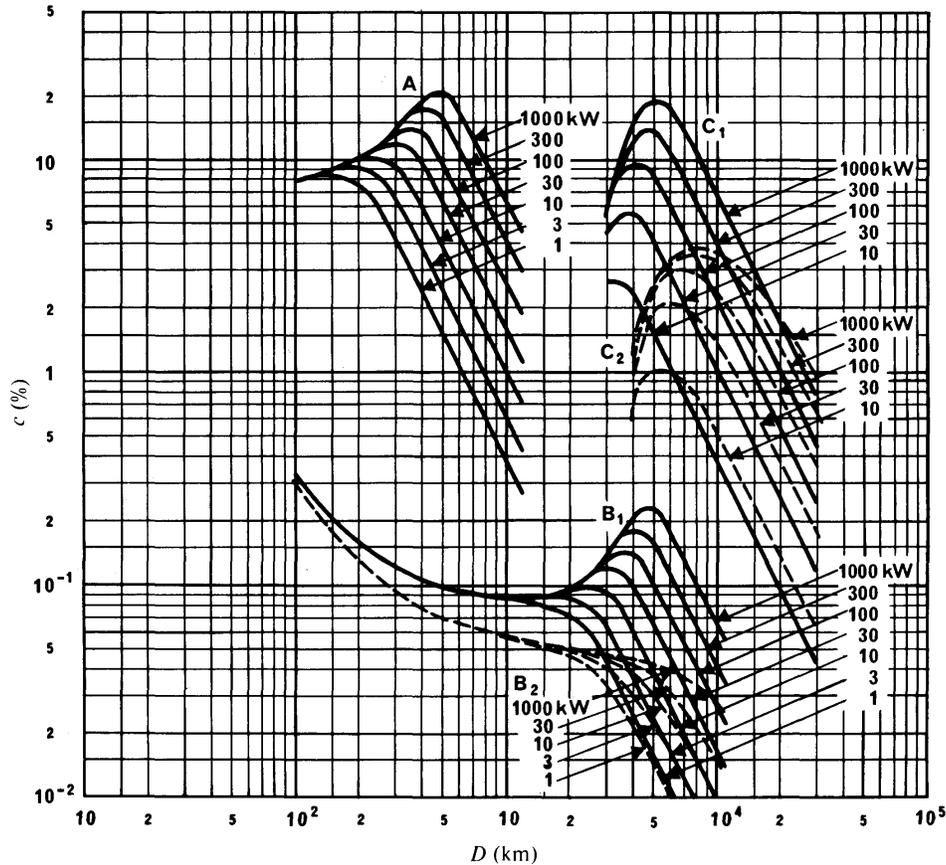


FIGURE 4a – Facteur de couverture par canal (c) en fonction de la distance entre émetteurs de même canal (D) pour diverses conditions de propagation

Paramètre: p.a.r.v. de l'émetteur, p (kW) (constante pour tous les angles de site)

Familles de courbes ($f = 1$ MHz):

- A: service par onde de sol, conditions de jour
- B: service par onde de sol, conditions de nuit
- C: service par onde ionosphérique, conditions de nuit

Conditions de propagation:

- onde de sol: Recommandation UIT-R P.368
- onde ionosphérique: Recommandation UIT-R P.1147

Champ minimal utilisable: $E_{min} = 60$ dB(μ V/m)

Conductivité du sol: $\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m

Rapport de protection: $A = 30$ dB

0598-04a

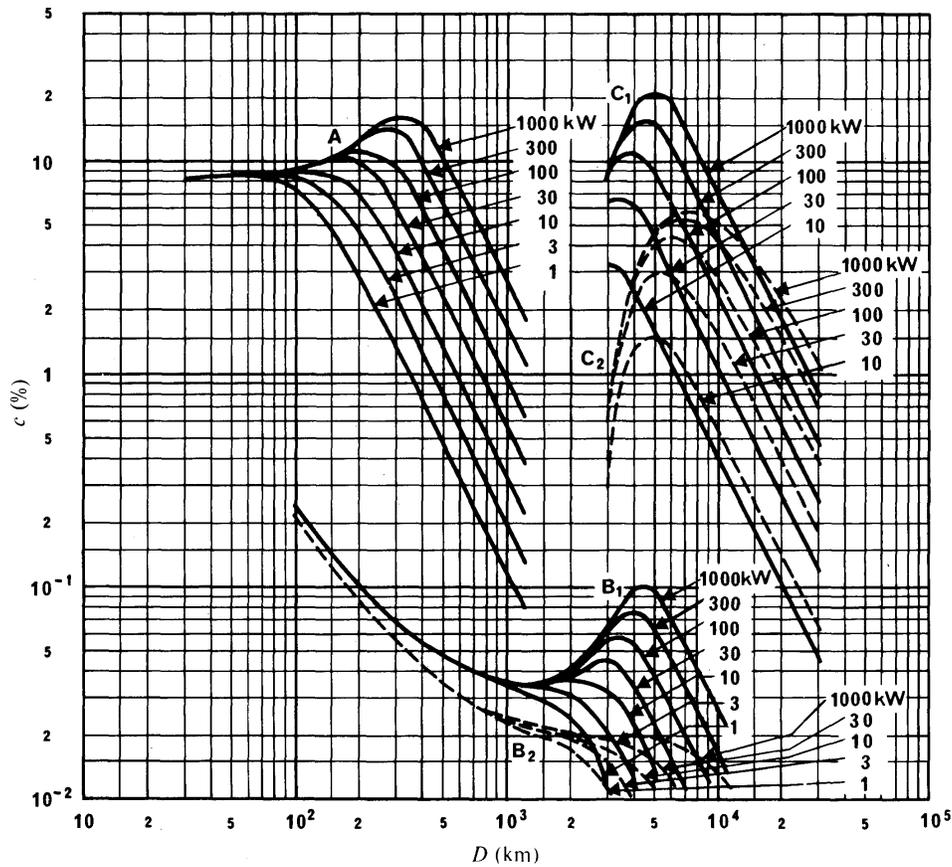


FIGURE 4b – Facteur de couverture par canal (c) en fonction de la distance entre émetteurs de même canal (D) pour diverses conditions de propagation

Paramètre: p.a.r.v. de l'émetteur, p (kW) (constante pour tous les angles de site)

Familles de courbes ($f = 1$ MHz):

- A: service par onde de sol, conditions de jour
- B: service par onde de sol, conditions de nuit
- C: service par onde ionosphérique, conditions de nuit

Conditions de propagation:

- onde de sol: Recommandation UIT-R P.368
- onde ionosphérique: Recommandation UIT-R P.1147

Champ minimal utilisable: $E_{min} = 60$ dB(μ V/m)

Conductivité du sol: $\sigma = 10^{-3}$ S/m

Rapport de protection: $A = 27$ dB

0598-04b

Ce résultat est présenté sur la Fig. 5. On notera que la valeur absolue fixée pour l'un quelconque de ces paramètres détermine la valeur de tous les autres. En se référant à la Fig. 5, on ne doit pas perdre de vue le fait qu'elle ne peut donner qu'une idée approximative des relations en cause.

Dans une autre étude, on a calculé l'influence du rapport de protection RF sur le facteur de couverture en partant des mêmes hypothèses que celles posées précédemment. Les résultats sont représentés sur la Fig. 6 où l'on voit que le facteur de couverture augmente plus rapidement en sens inverse de la valeur de ce rapport de protection lorsque la distance entre émetteurs fonctionnant dans le même canal est relativement faible. Ainsi, pour une distance de 3 000 km, le facteur de couverture est 100 fois plus élevé lorsque le rapport de protection en radiofréquence a la valeur 20 dB au lieu de 40 dB.

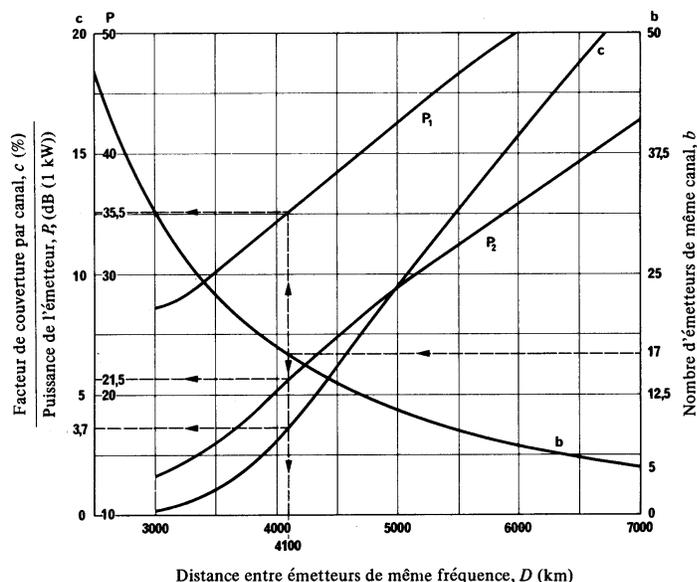


FIGURE 5 – Nombre d'émetteurs b , puissance de l'émetteur P et facteur de couverture par émetteur c , en fonction de la distance entre émetteurs de même fréquence, D

Courbes P_1 : puissance de l'émetteur (dB (1 kW)) pour $E_{min} = 74$ dB(μ V/m)
 P_2 : puissance de l'émetteur (dB (1 kW)) pour $E_{min} = 60$ dB(μ V/m)
 b : nombre d'émetteurs de même fréquence
 c : facteur de couverture par canal (%)
 Rapport de protection en radiofréquence: 40 dB
 Fréquence, f : 1 MHz

Exemple:

Si le nombre d'émetteurs qui partagent le même canal est $b = 17$, la distance entre émetteurs de ce canal est $D = 4100$ km, le facteur de couverture par canal est $c = 3,7\%$ et la p.a.r.v. de chaque émetteur pour que la couverture soit limitée par les brouillages (plutôt que par le bruit) est:

$$P = 21,5 \text{ dB (1 kW) pour } E_{min} = 60 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$$

ou

$$P = 35,5 \text{ dB (1 kW) pour } E_{min} = 74 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$$

D07-sc

4 Facteur de couverture en fonction de l'espacement des canaux

L'influence de l'espacement des canaux en ondes hectométriques sur la couverture de nuit, par onde de sol et par onde ionosphérique, a été étudiée par l'UER et au Japon pour des espacements compris entre 5 et 10 kHz. Ces études étaient fondées sur des distributions régulières de canaux et sur la courbe du rapport de protection RF de la Recommandation UIT-R BS.560. De plus, on a admis que le nombre d'émetteurs N sur une surface donnée reste constant lorsqu'on fait varier l'espacement des canaux et l'on a pris en considération l'ensemble des Zones européenne et africaine de radio-diffusion, ce qui représente une aire d'environ 42×10^6 km². Des études semblables ont été faites en URSS, mais fondées sur une courbe du rapport de protection RF obtenue en partant de récepteurs de haute qualité à bande passante réglable, très répandus en URSS. La couverture totale a été calculée dans diverses hypothèses et certains des résultats obtenus par l'UER et au Japon sont présentés sur la Fig. 7 (service par onde de sol) et sur la Fig. 8 (service par onde ionosphérique); le facteur de couverture y est représenté en fonction de l'espacement des canaux entre les limites indiquées et pour diverses valeurs du nombre total des assignations de fréquences.

On voit sur les Fig. 7 et 8 que la couverture maximale est obtenue avec un espacement des canaux d'environ 8 kHz et qu'elle ne dépend pratiquement pas des hypothèses de départ, puisqu'elle est indépendante en particulier du nombre d'assignations dans la zone considérée. Cependant, si la valeur absolue de la couverture ne dépend pas étroitement du nombre d'assignations dans le cas du service par onde de sol (Fig. 7), elle en dépend fortement dans le cas du service par onde ionosphérique (Fig. 8).

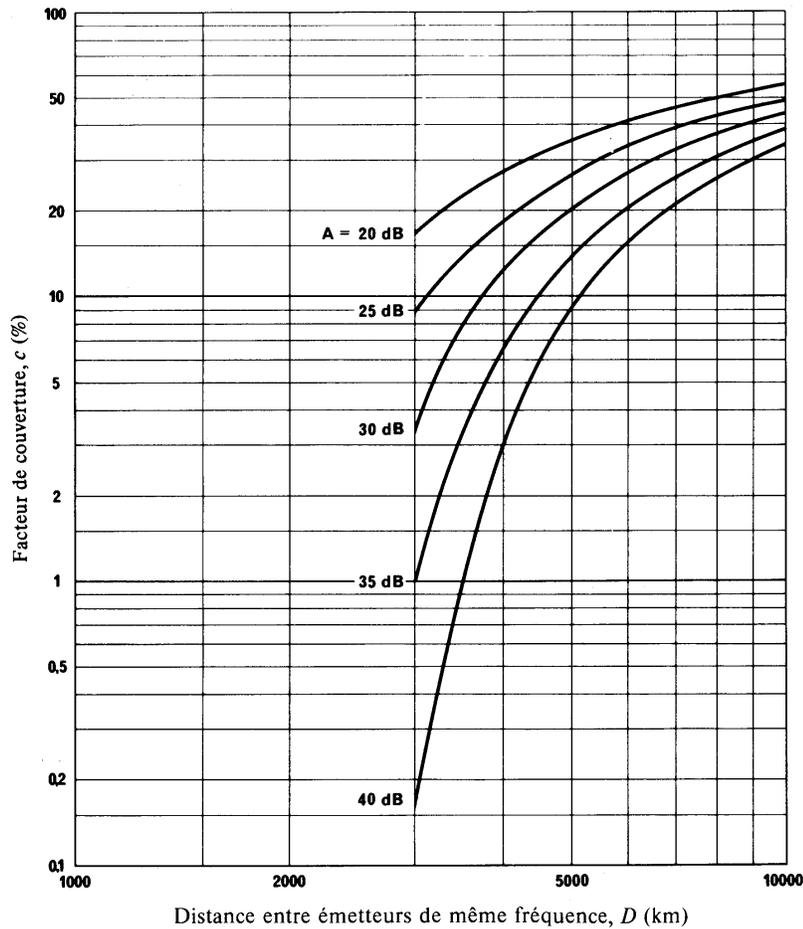


FIGURE 6 — Facteur de couverture, c , dans le cas d'une Terre sphérique, en fonction de la distance, D , entre émetteurs de même canal avec, comme paramètre, le rapport de protection en radiofréquence, A

Fréquence: 1 MHz

D08-sc

Les résultats obtenus en URSS indiquent qu'il y a lieu de s'attendre à une couverture maximale pour un espacement des canaux de l'ordre de 9 kHz. Les bases techniques des études effectuées dans les diverses parties du monde étant presque identiques, sauf pour ce qui est de la courbe du rapport de protection RF, il est évident que la différence entre les résultats tient uniquement à la différence de forme des courbes utilisées pour le rapport de protection RF.

Le fait qu'il y ait une seule valeur optimale spécifique pour les deux jeux de conditions de base, à savoir 8 kHz d'un côté et 9 kHz de l'autre, s'explique mieux par la Fig. 9.

Si dans la bande 6 (ondes hectométriques), il faut N assignations de fréquence pour des émetteurs (ou groupes d'émetteurs synchronisés) sur une surface donnée S et si l'on ne tient compte que des brouillages dans le même canal, on peut améliorer la couverture en réduisant l'espacement des canaux, ce qui permettra d'augmenter le nombre des canaux disponibles. Il est évident que, dans ce cas, la distance moyenne entre émetteurs de même canal augmentera également (courbe A de la Fig. 9) et que, de cette façon, on pourra réduire les brouillages. Dans ces conditions, de faibles valeurs de l'espacement des canaux seront préférables.

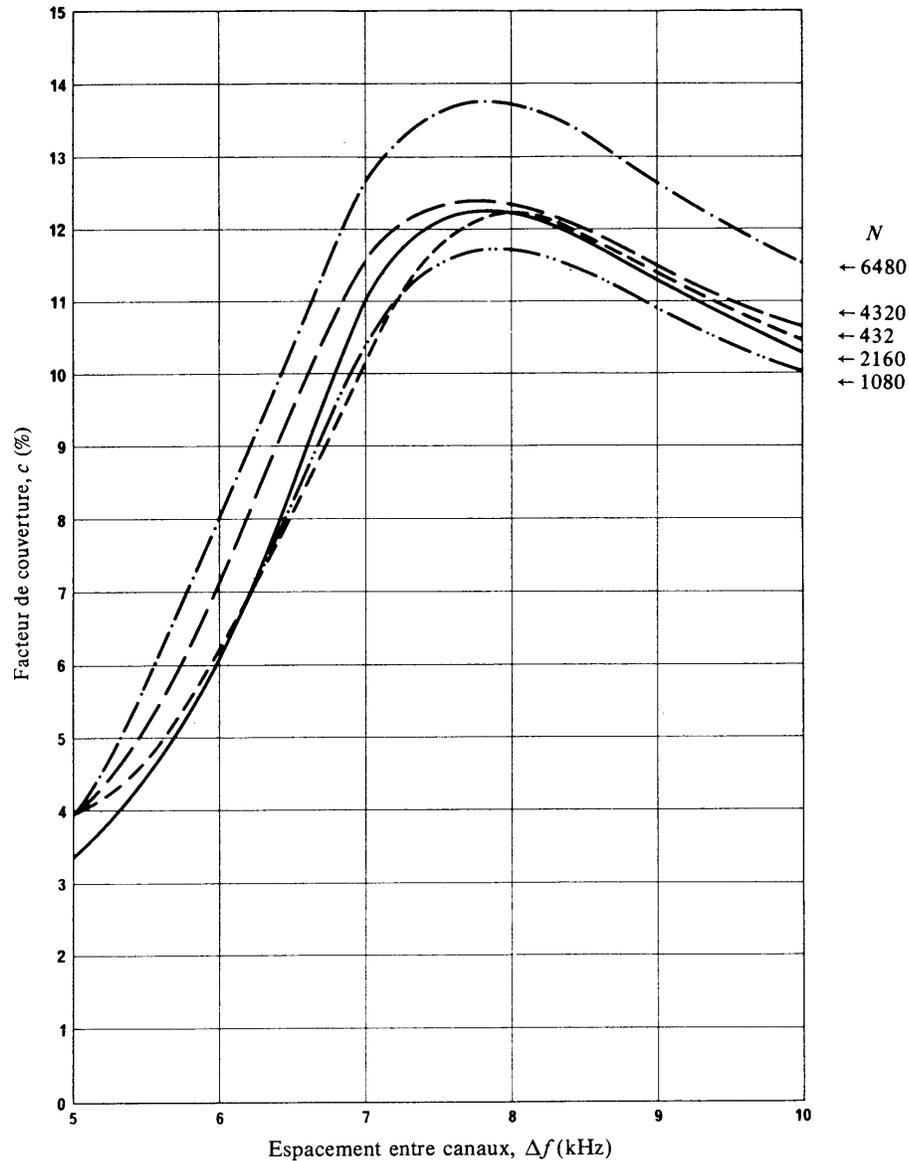


FIGURE 7 – Couverture, c , réalisable dans la bande d'ondes hectométriques (1080 kHz) avec N stations dans une zone de $42 \times 10^6 \text{ km}^2$ par un service à onde directe pendant la nuit

Courbe de propagation utilisée

Onde de sol:	Recommandation UIT-R P.368 ($\sigma = 3 \times 10^{-3} \text{ S/m}$) à 1 MHz
Onde ionosphérique:	Recommandation UIT-R P.1147
Rapport de protection, A :	26 dB
Courbe du rapport de protection pour le canal adjacent:	Recommandation UIT-R BS.560, courbe A

0598-07

Par contre, si l'on tient compte des brouillages par le canal adjacent sans faire varier les autres facteurs, les brouillages augmentent et, par conséquent, la couverture diminue lorsque l'espacement des canaux diminue (courbe B de la Fig. 9). Des valeurs plus élevées pour l'espacement des canaux sont donc préférables dans ce cas.

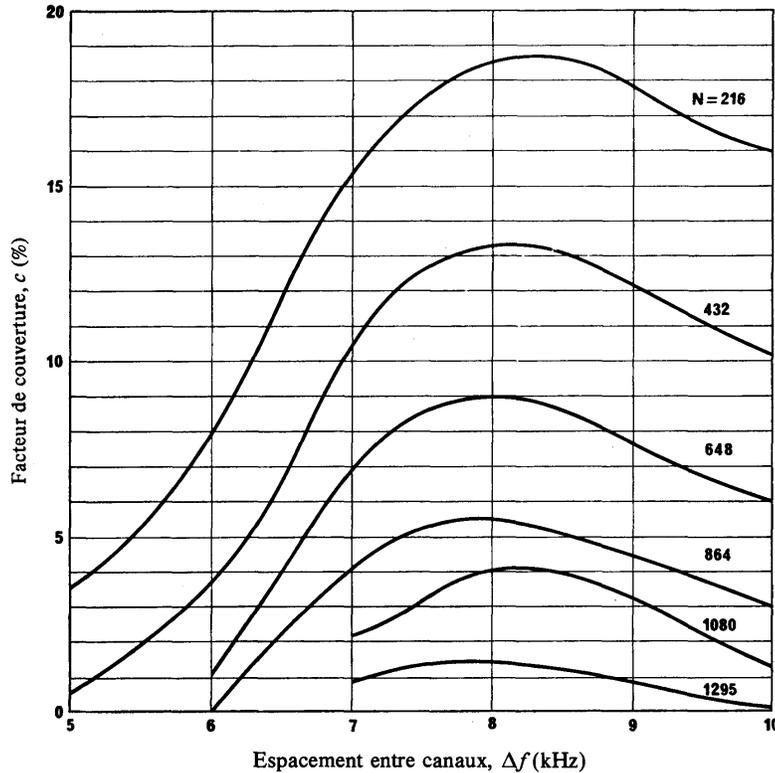


FIGURE 8 – Couverture, c , en surface par onde indirecte, réalisable avec tous les canaux dans la bande 6 (ondes hectométriques)

Paramètre: nombre d'assignations de fréquence, N

- Hypothèses de base:
- surface totale: $42 \times 10^6 \text{ km}^2$
 - rapports de protection dans le même canal pour le champ médian: 27 dB
 - **rapports de protection relatifs**: courbes de la Recommandation UIT-R BS.560
 - chaque émetteur utile est brouillé par trois émetteurs dans le même canal et trois dans le canal adjacent
 - courbes de propagation par onde indirecte: Recommandation UIT-R P.1147

0598-08

En pratique, il faut tenir compte de ces deux types de brouillage et il est évident que la courbe de couverture en fonction de l'espacement des porteuses se situera au-dessous des deux courbes considérées plus haut.

En outre, étant donné l'allure des deux courbes limites, il est très probable que la courbe représentant la couverture résultante présentera un maximum. De fait, on peut observer un maximum (courbe C de la Fig. 9) bien que celui-ci soit relativement plat.

Il résulte d'une autre étude que l'espacement optimal des canaux assurant une couverture maximale dépend principalement de la courbe des rapports de protection RF et, plus précisément, correspond en gros à une valeur de l'ordre de $A_{rel} = -20 \text{ dB}$. Par conséquent, les résultats différents obtenus dans diverses parties du monde ne sont nullement discordants et l'on peut au contraire dire que, dans une certaine mesure, ils confirment l'utilité de cette étude supplémentaire.

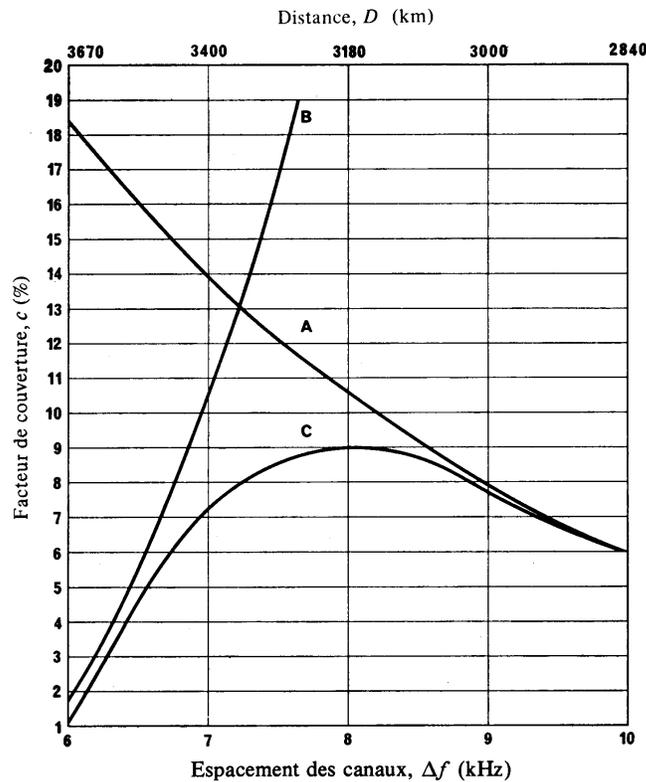


FIGURE 9 – Courbes limites du facteur de couverture (rapport de protection en radiofréquence: 27 dB)

Courbe A: couverture réalisable en présence de brouillage dans le même canal (trois émetteurs)

Courbe B: couverture réalisable en présence de brouillage provenant d'un canal adjacent (trois émetteurs)

Courbe C: couverture réalisable quand les deux types de brouillage sont pris en considération

Rapport de protection, $A = 27$ dB

Nombre d'assignations de fréquence, $N = 648$

D11-sc

La série des courbes représentées sur la Fig. 10 apporte une méthode simple mais efficace pour la détermination de l'espacement optimal des canaux pour une courbe des rapports de protection RF donnée. Le facteur de couverture y est représenté en fonction de l'espacement des canaux, compte tenu des brouillages dans le même canal et par le canal adjacent. Dans ce cas particulier, cependant, les valeurs du rapport de protection pour le canal adjacent sont utilisées comme un paramètre indépendant de l'espacement des canaux. Ainsi, les courbes de cette Fig. 10 peuvent servir aux fins envisagées en connexion avec la Fig. 1 de la Recommandation UIT-R BS.560 ou avec n'importe quelle autre courbe représentant le rapport de protection RF relatif. Si, pour chaque espacement des canaux, on fait sur la Fig. 10 une marque, par exemple au moyen d'un petit cercle, sur la courbe représentant le rapport de protection RF relatif (ce qui a été fait sur la Fig. 10 pour la courbe C de la Recommandation UIT-R BS.560) ou au moyen d'un petit carré (représentant les valeurs du rapport de protection RF relatif obtenues à partir des récepteurs de haute qualité à large bande passante utilisés en URSS), la série de ces petits cercles ou de ces petits carrés fera ressortir la dépendance qui existe réellement entre le facteur de couverture et l'espacement des canaux et indiquera, en fait, comme on peut le voir sur la Figure, qu'une valeur maximale est atteinte pour un espacement d'environ 8 ou 9 kHz selon le cas.

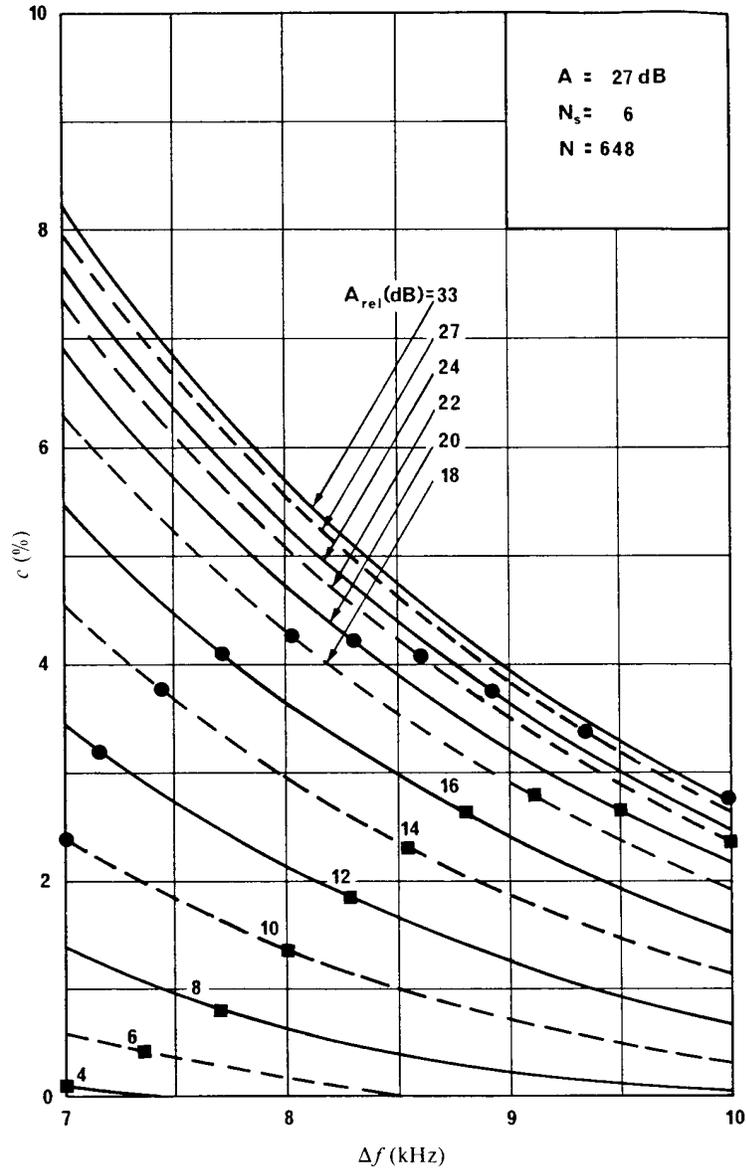


FIGURE 10 – Facteur de couverture (c) en fonction de l'espacement des canaux

- Paramètre: rapport de protection RF relatif (A_{rel})
- : valeur particulière de A_{rel} , voir la Recommandation UIT-R BS.560, Fig. 1, courbe C
 - : valeur particulière de A_{rel}
 - N : nombre total d'assignations de fréquence
 - N_s : nombre de groupes d'émetteurs brouilleurs, consistant chacun en un émetteur fonctionnant dans le même canal et un émetteur fonctionnant dans le canal adjacent
- 0598-10

On ne doit cependant pas oublier que les résultats montrant la supériorité d'une valeur particulière de l'espacement des canaux ont été obtenus lors d'études fondées sur un réseau d'émetteurs à mailles régulières et sur des distributions linéaires des canaux. Si, en particulier, la distance entre émetteurs fonctionnant dans des canaux adjacents varie largement dans toute la zone de planification, et s'il y

a souvent entre ces émetteurs des distances relativement faibles, l'effet des brouillages par le canal adjacent sera plus important que dans le cas théorique. En pareil cas, on pourra être amené à choisir des espacements des canaux supérieurs à la valeur optimale théorique.

5 Conclusions

La couverture que l'on peut obtenir en ondes hectométriques (bande 6) est déterminée principalement par la distance qui sépare deux émetteurs partageant le même canal et par l'espacement entre canaux adjacents.

La distance optimale entre émetteurs de même canal dépend de nombreux facteurs qui sont: la fréquence, la puissance du réseau d'émetteurs, le rapport de protection RF, le champ minimal utilisable et les caractéristiques de propagation de l'onde de sol et de l'onde ionosphérique, selon le cas. Le choix d'une distance adéquate entre émetteurs de même canal est immédiatement et radicalement déterminant pour le nombre des émetteurs qui pourront fonctionner sur le même canal, et inversement. Cette relation est illustrée, en particulier, sur la Fig. 5.

La valeur optimale de l'espacement des canaux dépend de la courbe du rapport de protection RF relatif, considérée comme représentative des émetteurs fonctionnant dans la zone de planification.

On notera cependant que la couverture peut être améliorée bien au-delà des limites calculées dans cette Annexe par les moyens suivants (voir l'Annexe 2):

- l'emploi d'antennes d'émission directives bien adaptées à la situation particulière;
- l'emploi de réseaux d'émetteurs synchronisés;
- des puissances d'émission soigneusement choisies en fonction de chaque cas particulier.

ANNEXE 2

Aspects d'exploitation de la couverture en radiodiffusion (B.hm)

1 Couverture diurne

Les résultats suivants sont fondés sur les courbes de propagation de l'onde de sol données dans la Recommandation UIT-R P.368.

Du fait de l'absorption importante de l'onde ionosphérique pendant la journée, seule l'onde de sol est utilisable. Le rayon de couverture (voir l'Annexe 3) dépend de la fréquence et des caractéristiques électriques du sol à l'intérieur de la zone de couverture; pour les puissances d'émission élevées, ce rayon est de l'ordre de 100 km. Un réseau d'émetteurs optimisé pour la couverture diurne peut être établi avec des distances très faibles entre émetteurs de même canal, c'est-à-dire avec une densité d'émetteurs considérablement plus élevée que la densité actuelle. Par exemple, pour une distance

moyenne de 500 km environ entre émetteurs fonctionnant dans un même canal, un réseau d'émetteurs exploité de jour conduirait à la desserte de la totalité du territoire avec environ dix programmes et une bonne qualité de réception.

La couverture pendant la journée ne pose donc pas de problèmes du point de vue technique.

2 Couverture nocturne

Au crépuscule, l'absorption de l'onde ionosphérique est très réduite et, à des distances de plusieurs milliers de kilomètres, des champs élevés apparaissent durant une période d'une ou de deux heures. Il en résulte des brouillages qui limitent la zone de couverture par onde de sol. On considère l'onde ionosphérique comme constituant surtout une source de brouillage et ce n'est que dans des cas spéciaux que l'emploi systématique de cette onde a été envisagé.

Pendant la nuit, la présence de l'onde ionosphérique pose des problèmes techniques complexes et oblige à une planification s'étendant à de très grandes zones, sur la base des accords internationaux.

Pour avoir un bon aperçu des possibilités de programmes radiophoniques en ondes hectométriques dans diverses hypothèses de base, on a fait, dans le cadre de l'UER, un grand nombre d'exercices de répartition de fréquences et on a calculé les facteurs de couverture obtenus. Les études ont été faites pour des régions géographiques données, en particulier pour les zones de radiodiffusion européenne et africaine.

Pour ces exercices, on a pris en considération des émetteurs assez uniformément répartis dont la puissance identique est rayonnée par une antenne équidirective, mais dont les emplacements coïncident avec les emplacements réels ou prévus en Europe et en Afrique. Les zones de couverture ont été calculées par une méthode statistique, en tenant compte uniquement des brouillages dus aux autres émetteurs. Cette méthode de calcul permet de comparer valablement les résultats obtenus pour deux exercices différents, mais on ne devrait pas utiliser sans précaution les valeurs absolues des résultats.

Les calculs ont été effectués en utilisant différentes valeurs du rapport de protection en radiofréquence (tel que défini dans la Recommandation UIT-R BS.638). Ces valeurs du rapport de protection correspondent évidemment à des qualités de service différentes. Il va de soi que les zones de couverture ainsi calculées sont d'autant plus grandes que le rapport de protection est plus faible. L'augmentation de la zone de couverture, lorsque le rapport de protection (c'est-à-dire la qualité du service) diminue, ne signifie pas que l'on obtiendra ainsi de meilleures conditions d'écoute: celles-ci ne dépendent pas du rapport de protection, mais uniquement de la puissance et de la disposition des émetteurs brouilleurs.

Il convient de noter que, si l'on compare les résultats de deux exercices différents, il peut y avoir des différences plus ou moins prononcées suivant le rapport de protection radiofréquence, c'est-à-dire la qualité de service recherchée. C'est pourquoi les résultats des calculs ne doivent pas être discutés sans indication de la qualité de service correspondante.

Enfin, il est bon de rappeler qu'on a utilisé dans les calculs des données statistiques de propagation. En particulier, on a choisi des courbes de prévision du champ ionosphérique qui représentent des valeurs médianes (c'est-à-dire pendant 50% du temps) pour une fréquence moyenne de 1 000 kHz.

On peut donc supposer que les résultats obtenus représentent la situation moyenne pour l'ensemble de la bande hectométrique.

Quelques-uns de ces résultats sont résumés ci-après.

2.1 Couverture nocturne par onde de sol

La couverture globale obtenue par onde de sol dépend en premier lieu de la distance entre émetteurs de même canal, c'est-à-dire de la densité d'émetteurs. Pour une puissance d'émission donnée, la couverture par onde de sol croît avec cette distance. Ainsi, pour des émetteurs de 300 kW et des rapports de protection supposés de 40 dB, 33 dB et 27 dB, l'emploi de 121 canaux actuellement disponibles dans la bande des ondes hectométriques permet de couvrir les pourcentages suivants de la surface de l'ensemble de l'Europe et de l'Afrique:

TABLEAU 1

Distance entre émetteurs de même canal (km)	Couverture par onde de sol					
	Rapport de protection de radiofréquence (dB)					
	40		33		27	
	Nombre de programmes	Surface couverte (%)	Nombre de programmes	Surface couverte (%)	Nombre de programmes	Surface couverte (%)
2700	1	6	1	11	1	21
3500	1	8	1	15	1	25
4100	1	9	1	17	1	28

Les facteurs de couverture mentionnés ci-dessus peuvent éventuellement être améliorés par l'emploi de réseaux synchronisés et d'antennes directives. En outre, la couverture démographique peut être rendue supérieure à la couverture en surface en choisissant convenablement l'emplacement des émetteurs. On dispose de peu de renseignements numériques sur ces améliorations possibles.

Le problème de la puissance d'émission qui donne la plus grande couverture possible par onde de sol pour une densité d'émetteurs donnée fait l'objet d'études détaillées d'où l'on peut déduire une réponse suffisamment précise. De plus, il faut se souvenir que la couverture nocturne par onde de sol est aussi limitée par les brouillages entre l'onde de sol et l'onde ionosphérique du même émetteur. Il n'a toutefois pas été tenu compte de cet effet pour calculer les valeurs approximatives de la portée de service indiquées dans l'Annexe 4.

2.2 Couverture par onde ionosphérique

En utilisant les mêmes hypothèses qu'au § 2.1 (émetteurs de 300 kW et rapports de protection de 40 dB, 33 dB ou 27 dB), l'onde ionosphérique procurerait la couverture suivante de l'ensemble des surfaces de l'Europe et de l'Afrique en utilisant la totalité de la bande hectométrique (voir le Tableau 2).

On constate que la couverture nocturne par onde ionosphérique dépend, beaucoup plus que la couverture par onde de sol, de la densité d'émetteurs adoptée: pour des densités élevées d'émetteurs (c'est-à-dire des distances inférieures à 2700 km dans le même canal), la couverture nocturne par onde ionosphérique décroît rapidement tandis qu'une distance de 4100 km dans le même canal permettrait de recevoir plusieurs programmes à n'importe quel endroit de la zone considérée.

Naturellement, la majorité de ces programmes proviendrait d'un émetteur se trouvant à grande distance du point de réception. En outre, il ne faut pas perdre de vue qu'il n'est pas possible d'obtenir en permanence une bonne qualité en onde ionosphérique, contrairement au cas de l'onde de sol. Il faut également tenir compte du fait qu'en pratique la zone couverte la nuit ne sera pas continue, car il y aura une zone annulaire aux alentours de 100 à 200 km, avec des évanouissements sélectifs dus à l'interférence entre ondes de sol et ionosphérique. Ce phénomène a été négligé dans les études effectuées jusqu'à présent. Des exemples de valeurs approximatives de la portée de la couverture sont donnés dans l'Annexe 4. Il reste que l'emploi de l'onde ionosphérique permettrait de mieux utiliser le spectre pour ce qui est de la zone couverte, car le rapport entre les surfaces des zones desservies et des zones de brouillage est plus favorable. Finalement, il est bon de rappeler qu'une couverture nocturne satisfaisante par onde de sol conduira normalement aussi à une couverture satisfaisante par onde ionosphérique.

TABLEAU 2

Distance entre émetteurs de même canal (km)	Couverture par onde ionosphérique					
	Rapport de protection en radiofréquence (dB)					
	40		33		27	
	Nombre de programmes	Surface couverte (%)	Nombre de programmes	Surface couverte (%)	Nombre de programmes	Surface couverte (%)
2700	négligeable		1	30	6,1	100
3500	1	15	7,4	100	23,3	100
4100	2,5	100	14,9	100	31,6	100

2.3 Combinaison des couvertures par onde de sol et par onde ionosphérique

Les § 2.1 et 2.2 permettent de conclure qu'on peut obtenir de bons résultats pour les deux types de couverture si les émetteurs de grande puissance et de même canal sont suffisamment éloignés.

3 Combinaison des couvertures diurne et nocturne

Comme il a été montré aux § 1 et 2, les réseaux d'émetteurs conçus pour une bonne couverture diurne diffèrent fondamentalement de ceux qui ont été établis pour une bonne couverture nocturne: les distances entre émetteurs de même canal seraient, par exemple, d'environ 500 km dans le premier cas et 4000 km dans le second cas. Comme le nombre total des émetteurs des deux réseaux correspondants serait dans un rapport égal au carré du rapport des distances entre émetteurs dans le même canal, la coexistence des deux réseaux signifierait que, dans cet exemple, seul un émetteur sur 64 pourrait fonctionner après le coucher du soleil. Dans cet exemple, on compare deux cas extrêmes de couverture optimale, mais ni l'une ni l'autre ne correspond à la pratique actuelle. Tout réseau dans lequel chaque émetteur resterait en service jour et nuit conduirait à une couverture réduite soit dans la journée soit pendant la nuit, ou, dans le cas d'un réseau constitué suivant un compromis entre les deux types, à une couverture moins bonne aussi bien le jour que la nuit.

Par ailleurs, le passage entre un réseau diurne et un réseau nocturne, conçus tous deux pour réaliser une couverture efficace, poserait des problèmes sur les plans opérationnel et administratif. En fait, comme il a été montré, la majorité des émetteurs diurnes devrait être arrêtée au coucher du soleil jusqu'au lever du soleil pour éviter des brouillages prohibitifs pendant les heures de nuit. L'heure d'arrêt de l'émission dépend en effet de la saison et de la latitude, surtout aux latitudes élevées et moyennes. En outre, à cause de l'apparition relativement lente de l'onde ionosphérique au coucher du soleil, il y aura toujours une période pendant laquelle les réseaux d'émetteurs diurnes seront brouillés (si tous les émetteurs fonctionnent encore) ou encore pendant laquelle l'onde ionosphérique sera encore trop faible. Bien que les inconvénients mentionnés ci-dessus paraissent rendre impraticable un tel mode d'exploitation sur des bases systématiques, les avantages qui pourraient en résulter sont tels qu'un examen plus approfondi est souhaitable, notamment pour certains cas particuliers.

Les normes d'assignation utilisées par la Conférence administrative régionale de radiodiffusion à ondes hectométriques (Région 2) (Rio de Janeiro, 1981) pourraient servir d'exemple pour une couverture combinée diurne et nocturne.

Il existe trois classes de stations: A, B et C. Pour la classe A, on autorise en général une puissance maximale de 100 kW pendant la journée et de 50 kW pendant la nuit, de 50 kW dans les deux cas pour la classe B et de 1 kW pour la classe C, sauf dans la zone tropicale de bruit 2 où l'on autorise pour la classe C une puissance diurne maximale de 5 kW. Il est prévu que les stations de la classe A desservent des zones de service secondaires très étendues (onde ionosphérique), les stations de la classe B des zones de service primaires assez étendues (ondes de sol) et la classe C des zones de service primaires locales peu étendues.

La couverture nocturne, fondée sur une protection *de 26 dB dans le même canal* des zones de service à ondes de sol contre des sources brouilleuses multiples à ondes ionosphériques, est possible sur la base de la somme quadratique des signaux brouilleurs. Toutefois, pour déterminer le champ utilisable (E_u), on ne tient compte que des sources de brouillages importantes. Les signaux brouilleurs étant indiqués par ordre de grandeur, toute source contribuant au brouillage dont le signal est inférieur à la moitié de la valeur arithmétique de la *somme quadratique totale des champs brouilleurs*, calculée en utilisant toutes les contributions les plus importantes, n'est pas censée causer de brouillage. Ce processus s'applique seulement lorsque la valeur de E_u est plus élevée que le champ nominal utilisable (E_{nom}). En général, deux ou trois stations brouilleuses seulement contribuent au E_u , malgré la présence dans la région d'un grand nombre de stations émettant sur le même canal. Le brouillage de nouvelles stations doit être inférieur à la moitié de la valeur actuelle de E_u et doit être inférieur à celui du plus petit brouilleur considéré, afin de ne pas déplacer ce brouilleur.

4 Couverture démographique

La question de la couverture a un autre aspect que celui, d'ailleurs important, de la couverture en surface: c'est celui de la couverture démographique. Des études à ce sujet ont été entreprises dans certains pays, mais ce point demande à être étudié plus avant.

5 Améliorations de la couverture

5.1 Réseaux synchronisés

Un réseau synchronisé est un groupe d'émetteurs fonctionnant sur la même fréquence et transmettant le même programme. Un tel réseau est destiné essentiellement à une couverture par onde de sol.

Dans la plupart des pays européens, l'emploi de réseaux synchronisés à la place d'un émetteur unique, de puissance égale à la somme des puissances des émetteurs du réseau, conduit à une meilleure adaptation des zones desservies à la répartition de la population et, par suite, à une augmentation du nombre d'auditeurs desservis. L'Annexe 5 donne quelques exemples de résultats obtenus dans divers pays. Les réseaux synchronisés sont surtout efficaces dans les pays où il existe des zones à forte densité de population relativement éloignées.

Il faut noter aussi que:

- la qualité de la réception par onde ionosphérique n'est acceptable que dans les zones où le champ d'un des émetteurs est nettement prédominant;
- le brouillage dû à un réseau synchronisé est équivalent à celui d'un émetteur unique (de puissance égale à la puissance totale du réseau) supposé situé au «centre de gravité» du réseau, tout au moins lorsque la distance moyenne entre émetteurs du réseau est inférieure au dixième environ de la distance de l'émetteur de même canal le plus proche;
- les réseaux synchronisés sont peu utilisables pour les pays de très petites dimensions;
- l'emploi d'antennes directives à l'émission améliore la couverture d'émetteurs synchronisés;
- l'utilisation de démodulateurs synchrones conduit à une diminution des distorsions non linéaires dues aux interférences entre émetteurs d'un réseau synchronisé, ce qui augmenterait la couverture obtenue par de tels réseaux.

Par ailleurs, les émetteurs d'un réseau synchronisé peuvent diffuser des programmes différents, mais uniquement en période diurne et si les émetteurs sont suffisamment éloignés.

Il est évident que les frais d'investissement et d'exploitation sont plus élevés pour un réseau synchronisé que pour un émetteur unique; cependant, l'emploi de réseaux synchronisés doit être envisagé chaque fois que l'on peut escompter bénéficier des avantages mentionnés.

5.2 Directivité des antennes

5.2.1 Diagramme vertical des antennes d'émission à polarisation verticale

On peut concevoir une antenne possédant un diagramme de rayonnement spécial dans le plan vertical tel que la puissance soit concentrée dans un ou plusieurs secteurs verticaux particuliers, permettant ainsi de réaliser le type de couverture demandé.

En concentrant l'énergie dans le *plan proche de l'horizontale*, il est possible d'augmenter la couverture diurne par onde de sol ou d'utiliser une puissance d'émission moindre, sans réduire la couverture. Lorsque la couverture par onde de sol est limitée par les évanouissements et non par le brouillage des émetteurs de même canal, une antenne anti-évanouissement pourrait améliorer cette couverture. Une telle amélioration ne saurait toutefois être obtenue que pour des fréquences situées dans la partie inférieure de la bande hectométrique et en des emplacements où la conductivité du sol serait supérieure à la moyenne. Enfin, des antennes de ce type peuvent contribuer à réduire la transmodulation ionosphérique. En revanche, elles fournissent une moins bonne couverture par onde ionosphérique pour des portées plus petites, lorsque le brouillage est le même à des distances inférieures à 2 000 km.

En concentrant l'énergie en dehors du plan horizontal, on améliore la couverture par onde ionosphérique, mais la couverture par onde de sol devient moins bonne et le risque de transmodulation ionosphérique augmente.

5.2.2 Diagramme horizontal des antennes d'émission à polarisation verticale

On peut réaliser des conditions particulières de couverture en concentrant l'énergie rayonnée dans certaines directions horizontales. Tout en n'apportant pas une amélioration de la couverture globale, l'emploi généralisé d'antennes directives dans un plan d'assignations de fréquence peut favoriser la couverture nationale des pays, essentiellement parce que ces antennes permettent une meilleure adaptation à certaines zones de couverture souhaitées, et également une réduction du brouillage dans des cas particuliers. De plus, dans certains cas particuliers, l'emploi d'antennes directives dans le plan horizontal permettra d'utiliser un canal dans une zone donnée, alors qu'il serait impossible de le faire avec une antenne équidirective dans le plan horizontal. Une telle antenne directive permet en effet de réduire le brouillage dans la zone de couverture d'un émetteur partageant le même canal et, par suite, de réduire la distance de partage. Cela constitue le principal avantage des antennes directives.

5.2.3 Aspects économiques

D'une façon générale, une antenne qui doit satisfaire à des caractéristiques de rayonnement spéciales est plus coûteuse qu'une simple antenne non directive. Des conditions spéciales pour le diagramme vertical entraînent généralement des structures plus élevées et le coût augmente rapidement avec la hauteur.

Les conditions spéciales pour le diagramme horizontal conduisent à des antennes à plusieurs éléments et nécessitent une plus grande surface de terrain.

Le coût de telles antennes est moindre dans la partie supérieure des fréquences hectométriques. Les conditions climatiques locales peuvent être un facteur important du prix de l'antenne.

5.2.4 Amélioration de la couverture en ondes hectométriques par l'emploi d'antennes directives

Aux Etats-Unis d'Amérique, on utilise depuis le milieu des années 30 des antennes d'émission directives, en ondes hectométriques, afin de réduire les brouillages. Actuellement, plus de 1 500 sont en service. D'autres pays utilisent aussi de telles antennes dans le même but.

L'emploi d'antennes directives pour des émetteurs de même canal, mais non synchronisés, à l'intérieur d'un même pays peut augmenter substantiellement la couverture. De façon générale, plus on emploie d'antennes directives, plus efficace est la couverture.

Les antennes directives sont particulièrement adaptées au service nocturne et sont également utiles au service diurne. De même, les antennes directives sont avantageuses pour réduire le brouillage causé aux autres pays. Un autre avantage des antennes directives, pour les émetteurs de même canal, mais non synchronisés, est de permettre des programmes locaux indépendants.

5.3 Comparaison des antennes à éléments rayonnants verticaux et à éléments rayonnants horizontaux

Une antenne d'émission verticale classique assure une couverture par onde de sol avec une portée réduite, et une couverture nocturne par onde ionosphérique avec des portées plus grandes. A des distances intermédiaires, il existe une zone dans laquelle les évanouissements sont plus gênants du fait que les champs dus à l'onde de sol et à l'onde ionosphérique sont à peu près égaux.

L'emploi d'un élément rayonnant horizontal, ou d'un groupement de tels éléments, comme on peut le faire en ondes hectométriques, offre des avantages certains quand le but principal est la couverture nocturne par onde ionosphérique, mais ne convient pas pour une couverture diurne par onde de sol.

L'avantage essentiel est qu'on peut arriver à obtenir ainsi un champ ionosphérique à peu près constant, depuis l'émetteur jusqu'aux limites de la zone de couverture. Une telle antenne peut être

étudiée pour un rayon de couverture atteignant le maximum réalisable (environ 1 000 km), ou bien une portée plus limitée (500 km par exemple). Cependant, au voisinage immédiat de l'émetteur (quelques kilomètres), il peut y avoir une dégradation de la qualité par suite de l'interférence entre l'onde de sol, faible mais inévitable, et l'onde ionosphérique. S'il faut desservir cette zone, un petit émetteur «de remplissage» sur une fréquence différente et avec une polarisation verticale peut être nécessaire.

Des calculs tenant compte des différentes directivités et des différents affaiblissements par couplage de polarisation ont été faits dans le cas d'un simple doublet horizontal au lieu d'une antenne verticale courte. Il convient de souligner l'importance de la conductivité imparfaite du sol qui non seulement diminue le rayonnement des antennes verticales aux petits angles de site, mais augmente le rayonnement des antennes horizontales pour ces petits angles dans certaines directions. Dans ce dernier cas, et pour le brouillage dans le même canal dû au rayonnement sous de petits angles, la réduction à laquelle on peut s'attendre en utilisant une antenne à éléments horizontaux au lieu d'une antenne verticale risque d'être surestimée jusqu'à 20 dB, si on suppose le sol parfaitement conducteur, alors qu'en pratique sa conductivité est médiocre.

Les résultats d'études théoriques montrent que, pour une puissance d'émission donnée, lorsque les réflexions sont limitées à la région E, un doublet horizontal simple au lieu d'une antenne verticale courte peut réduire de 10 à 15 dB le brouillage dans un même canal pour des valeurs courantes de la conductivité du sol. Des études et des mesures plus récentes faites aux latitudes tempérées ont toutefois montré qu'aux fréquences et aux heures auxquelles on observe des réflexions sous de grands angles dans la région F, cet avantage perd beaucoup de son importance du fait que la propagation par plusieurs bonds est alors fortement stimulée.

Un des inconvénients d'une antenne à éléments horizontaux est qu'il faut lui substituer une antenne verticale pour assurer une couverture diurne, mais en général on peut obtenir une zone de service comparable sans recourir à plusieurs émetteurs. Dans ce cas également, il y a le problème du changement des conditions d'exploitation déjà discuté au § 3. Un autre inconvénient est le coût des antennes, surtout aux fréquences basses de la bande hectométrique.

Il sera généralement nécessaire de limiter le rayonnement suivant l'angle de site, afin d'éviter une grave transmodulation ionosphérique (voir l'Annexe 1 à la Recommandation UIT-R BS.498). Il peut être plus difficile de respecter cette condition avec des antennes à éléments horizontaux qu'avec des antennes verticales.

Il a été suggéré récemment qu'une antenne à éléments horizontaux devrait être composée d'une ou plusieurs paires de doublets croisés, convenablement alimentés, pour obtenir des ondes polarisées elliptiquement dans certaines directions et exciter l'onde ordinaire plus fortement que l'onde extraordinaire. L'avantage essentiel par rapport à une antenne à polarisation rectiligne tient au fait que, la transmodulation ionosphérique étant surtout due à l'onde extraordinaire, cette transmodulation serait, théoriquement, moindre que pour une même puissance d'émission. Un autre avantage serait la diminution de l'affaiblissement par couplage de polarisation.

On peut dire, pour conclure, que l'antenne à éléments horizontaux peut être utile dans certains cas particuliers. On ne peut toutefois, sur la base des résultats connus, recommander son introduction généralisée dans le but d'augmenter la densité des assignations de fréquence.

Des mesures ont été faites en République populaire de Pologne, en vue de comparer l'efficacité des polarisations verticale et horizontale pour un service par onde de sol dans la partie supérieure de la bande hectométrique de radiodiffusion. Elles ont été faites à des distances atteignant 20 km de l'émetteur, sur des trajets traversant des régions construites et non pas des terrains plats et sans obstacle. Les résultats montrent que l'affaiblissement en polarisation horizontale semble nettement moins élevé qu'on aurait pu le prévoir d'après la théorie de la propagation sur une terre uniforme.

Pour ce qui est de la réduction de l'onde ionosphérique en radiodiffusion dans la bande 6 (ondes hectométriques), on a entrepris en Australie des études sur une méthode permettant de réduire le champ de l'onde ionosphérique grâce à l'absorption importante du rayon extraordinaire pour des fréquences d'émission voisines de la gyrofréquence. Dans ce système, l'antenne d'émission doit rayonner une onde dont la polarisation est telle que la propagation dans l'ionosphère se fait uniquement selon le mode extraordinaire. Ce système est dit «transmission orthogonale».

Des essais de propagation, effectués en 1965 et 1967, montrent que la valeur médiane du champ de l'onde ionosphérique d'un émetteur de radiodiffusion fonctionnant dans la bande 6 (ondes hectométriques) peut être réduite de 16 dB sur des trajets orientés vers le nord dans l'hémisphère Sud, si la transmission classique en polarisation verticale est remplacée par la transmission orthogonale. On n'a pas constaté de variation appréciable de cette diminution sur des trajets sud-nord dont les longueurs étaient comprises entre 243 km et 695 km. La diminution était plus faible sur des trajets en partie orientés vers l'est ou l'ouest, en raison des caractéristiques particulières de l'antenne d'émission qui ne permettaient pas d'obtenir sur ces trajets l'inclinaison convenable de l'ellipse de polarisation. Les mesures ont montré une diminution de 13 dB du champ sur des trajets qui s'écartaient de 19° vers l'est ou l'ouest par rapport à la direction de la zone à desservir (nord magnétique).

Cette méthode qui utilise principalement les modes extraordinaires ne peut être recommandée pour toutes les classes de puissance en raison notamment des effets ionosphériques de transmodulation dus à l'onde extraordinaire (voir ci-dessus).

5.4 Émetteurs de faible puissance

Le but des émetteurs de faible puissance est de desservir des zones de très faible étendue, telles que des villes, où le champ des émetteurs principaux est insuffisant, ou bien éventuellement de permettre la diffusion de programmes locaux.

Pour l'efficacité du service, ces émetteurs doivent faire partie du plan. Il semble qu'ils ne puissent fonctionner en pratique qu'avec un champ utilisable nettement supérieur à celui des autres stations (de nuit en particulier).

Outre le cas d'émetteurs de faible puissance faisant partie de réseaux synchronisés (voir le § 5.1), ces émetteurs peuvent utiliser:

- soit les canaux affectés à des émetteurs de puissances différentes;
- soit un ou plusieurs canaux particuliers (autrefois nommés «fréquences communes internationales»).

Dans le premier cas, l'emplacement des émetteurs et leurs autres caractéristiques doivent être clairement précisés dans le plan et toute adjonction ultérieure serait dangereuse. Dans le second cas, il suffirait de préciser les zones géographiques où peuvent se trouver ces émetteurs (compte tenu des brouillages par les canaux adjacents) et, en outre, d'indiquer le nombre d'émetteurs par zone et la puissance maximale à ne pas dépasser.

Les études déjà faites indiquent que le nombre actuel des fréquences communes internationales est nettement insuffisant et qu'un nombre de cinq à dix serait préférable.

Sur le plan technique, l'efficacité de ces émetteurs serait meilleure si leurs canaux se trouvaient dans la partie inférieure de la bande hectométrique mais, en pratique, on sera sans doute conduit à les disperser dans le spectre. De plus, la puissance maximale admissible et le nombre d'émetteurs de faible puissance sont fonction de la fréquence.

ANNEXE 3

Valeur approximative de la portée de couverture diurne

La portée de couverture diurne a été calculée, en l'absence de brouillage causé par d'autres émetteurs, à l'aide des courbes de propagation de la Recommandation UIT-R P.368. En ce qui concerne la limitation de la portée de couverture, on a supposé que les valeurs du champ minimal sont en principe les suivantes:

2,2 mV/m (67 dB(μ V/m)) pour le tiers inférieur de la bande hectométrique (525 kHz à 900 kHz environ),

0,8 mV/m (58 dB(μ V/m)) pour le tiers supérieur de la bande hectométrique (1 250 kHz environ à 1 605 kHz).

Pour la conductivité du sol, trois valeurs ont été retenues:

- une bonne conductivité ($\sigma = 10 \times 10^{-3}$ S/m)
- une conductivité moyenne ($\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m)
- une conductivité médiocre ($\sigma = 1 \times 10^{-3}$ S/m)

Quand on considère les chiffres ainsi obtenus, il ne faut pas perdre de vue que la situation moyenne des emplacements d'émetteurs dans de nombreux pays ne correspond nullement à une conductivité de $\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m; en outre, le fait que ces emplacements sont souvent en terrain accidenté ou montagneux conduit normalement à des portées inférieures à celles qui sont indiquées par la suite.

La p.a.r.v. dans le plan horizontal est supposée être de 500 kW (f.c.m. 6 700 V).

TABLEAU 3

Fréquence (kHz)	Rayon de service (km)		
	$\sigma = 1 \times 10^{-3}$ (S/m)	$\sigma = 3 \times 10^{-3}$ (S/m)	$\sigma = 10 \times 10^{-3}$ (S/m)
<i>Tiers inférieur de la bande 6</i> 525 900	80	180 130	310
<i>Tiers supérieur de la bande 6</i> 1 250 1 605	60	105 90	180

ANNEXE 4

Valeur approximative de la portée de couverture nocturne

La portée de couverture nocturne a été calculée sur la base des hypothèses suivantes:

- deux émetteurs de même fréquence distants de 3 500 km et rayonnant des puissances égales, d'une valeur telle que leur brouillage mutuel soit le seul facteur qui limite la portée*; il n'a pas été tenu compte de l'interférence entre l'onde de sol de l'émetteur utile et son onde ionosphérique;

* La tendance indiquée dans le Tableau 4 apparaît également pour d'autres cas de brouillage (plus de deux émetteurs, distances différentes, etc.).

- propagation par onde de sol selon la Recommandation UIT-R P.368;
- conductivité du sol: $\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m;
- propagation de l'onde ionosphérique selon la Recommandation UIT-R P.1147;
- rapport de protection: 27 dB, 33 dB et 40 dB.

TABLEAU 4

Rapport de protection (dB)	Rayon de service (km)	
	525 kHz	1 605 kHz
<i>Couverture par onde de sol</i>		
27	170	90
33	135	70
40	95	55
<i>Couverture par onde ionosphérique</i>		
27	635	850
33	420	660
40	< 300 ⁽¹⁾	450

(1) Les courbes utilisées lors de l'étude ne s'appliquent pas aux distances inférieures à 300 km.

ANNEXE 5

Couverture obtenue par des réseaux synchronisés

Le Tableau 5 ci-après expose le résultat d'études où l'on a comparé la couverture le jour et la nuit, obtenue au moyen de réseaux d'émetteurs synchronisés avec celle qui aurait été obtenue par un émetteur fictif unique, situé à un emplacement approprié et rayonnant une puissance égale à la somme des puissances des émetteurs du réseau synchronisé.

TABLEAU 5

Rapport entre les facteurs de couverture obtenus par un groupe d'émetteurs synchronisés et par un émetteur unique

Source	Fréquence (kHz)	Nombre d'émetteurs	Puissance totale (kW)	Rapport de couverture			
				De jour		De nuit	
				Surface	Population	Surface	Population
O.R.F.	1025	4	300	1,45	1,68		1,83
B.B.C.	1214	16	270		1,26		3,2 ⁽¹⁾ 3,0 ⁽²⁾
RAI	1367	14	85	2,12	3,84	1,39 ⁽³⁾ 1,18 ⁽⁴⁾ 0,81 ⁽⁵⁾	6,24 ⁽³⁾ 7,39 ⁽⁴⁾ 17,74 ⁽⁵⁾

- (1) Compte tenu des brouillages causés par les émetteurs autres que ceux appartenant au réseau synchronisé.
- (2) Brouillage entre les émetteurs du réseau synchronisé seulement.
- (3) Rapport de protection dans le même canal pour les émetteurs qui n'appartiennent pas au réseau synchronisé: 20 dB.
- (4) Rapport de protection dans le même canal pour les émetteurs qui n'appartiennent pas au réseau synchronisé: 25 dB.
- (5) Rapport de protection dans le même canal pour les émetteurs qui n'appartiennent pas au réseau synchronisé: 40 dB.