Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 54 (1976)

Heft: 12

Artikel: Propagation dans la bande des 12 GHz : statistique en fonction du lieu pour une zone de service

Autor: Bärfuss, Christian

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-875858

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Siehe Rechtliche Hinweise.

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. Voir Informations légales.

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. See Legal notice.

Download PDF: 11.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Propagation dans la bande des 12 GHz

Statistique en fonction du lieu pour une zone de service

Christian BÄRFUSS, Berne

621.317.023:621.371.33.029.64:621.391.812.6.029.64:621.397.13.029.64

Ausbreitungsmessungen im 12-GHz-Band
Ortsstatistik für eine Betriebszone

Zusammenfassung. *Zahlreiche Feldversuche haben es gestattet, die HF-Feldstärke an verschiedenen Orten einer potentiellen Bedienungszone zu messen. Der Sender war an der Spitze eines 70 km langen Sektors mit einer Öffnung von 20° installiert. Die Empfangseinrichtung bestand grundsätzlich aus einem Messwagen, ausgerüstet mit einem teleskopischen Mast, einem SHF-UHF-Konverter und einem Messempfänger. Die Ausbreitungskurven und die lokalen Feldverteilungen wurden an 388 Orten gemessen und sind aufgrund der Empfangsantennenhöhe sowie der zu bedienenden Region dargestellt. Die Daten werden, um den Deckungsgrad verschiedener begrenzter Bedienungszonen eines terrestrischen Fernsehsystems zu bestimmen, benützt. Zusätzliche Ergebnisse, wie der Einfluss des Bodenungleichheitsgrades, die Zerstreuung durch Hindernisse oder die SHF-Signal-Stabilität, sind noch angegeben.*

Résumé. *De multiples essais en campagne ont permis de mesurer l'intensité de champ SHF en divers endroits d'une zone de service potentielle. L'émetteur était installé au sommet d'un secteur de 70 km de longueur et 20° d'ouverture. L'ensemble de réception se composait essentiellement d'une voiture de mesure équipée d'un mât télescopique, d'un convertisseur SHF-UHF et d'un récepteur de mesure. Les courbes de propagation et les distributions locales du champ, mesuré à 388 emplacements, sont présentées en fonction de la hauteur de l'antenne de réception et de la région à desservir. Ces données sont alors utilisées pour déterminer le degré de couverture des différentes zones de service d'un système de télévision de Terre. Divers résultats annexes, tels que l'influence du degré d'irrégularité du terrain, la diffraction par les obstacles et la stabilité du signal SHF à la réception, sont encore donnés.*

Propagazione nella banda dei 12 GHz
Statistica locale per una zona di copertura

Riassunto. *Parecchi esperimenti in campagna hanno permesso di misurare l'intensità di campo SHF in diversi luoghi di una zona di servizio potenziale. L'emittente era installata in cima a un settore di 70 km di lunghezza e di 20° d'apertura. L'insieme di ricezione era composto essenzialmente di un veicolo di misurazione provvisto di un'antenna telescopica, di un convertitore SHF-UHF e di un ricevitore di misurazione. Le curve di propagazione e le distribuzioni locali del campo, misurato in 388 luoghi, sono rappresentate in base all'altezza dell'antenna di ricezione e alla zona di copertura. Questi dati sono quindi utilizzati per determinare il grado di copertura delle diverse zone con servizio di un sistema di televisione terrestre. Sono inoltre indicati i diversi risultati annessi, come l'influsso del grado d'irregolarità del terreno, la dispersione provocata da ostacoli e dalla stabilità del segnale SHF alla ricezione.*

1 Introduction

La Conférence sur le partage des fréquences (UIT, Genève 1971) a décidé de réserver la bande des fréquences de 11,7 à 12,5 GHz (bande VI) aux services de radiodiffusion par satellites. Les services de Terre peuvent néanmoins utiliser cette bande, par exemple pour transmettre des programmes de télévision, pour autant toutefois que les services par satellites ne soient pas perturbés. L'assignation définitive des fréquences dans la bande des 12 GHz est du ressort de la Conférence administrative mondiale qui siégera au début de l'année 1977. A noter cependant, en tenant compte, par exemple, des études de l'UER sur la radiodiffusion par satellites, que le nombre des canaux disponibles dans la bande des 12 GHz serait suffisant pour autoriser la réalisation de services de Terre.

Dans ce contexte, la Division des recherches et du développement des PTT suisses a procédé à diverses expériences de propagation afin d'explorer les possibilités d'une utilisation future de la bande VI pour une radiodiffusion (télévision) par des services de Terre. L'acquisition des données, étalée sur une période d'essais en campagne de plus de 6 mois, devait permettre de déterminer la distribution du champ et de préciser le comportement spatial et temporel d'une onde hyperfréquence dans des zones en visibilité non directe émetteur-récepteur (zones d'ombre). Toutes les mesures se sont déroulées durant des périodes sans précipitations ou neige (hiver 1974...1975), afin d'éviter l'introduction de paramètres supplémentaires et aléatoires, comme par exemple l'affaiblissement dû à la pluie.

2 Zone de service

21 Choix de la zone de service

Le montage de l'émetteur au Chasseral, montagne d'une altitude de 1609 m au-dessus du niveau de la mer située à environ 35 km au Nord-Ouest de Berne, a limité le choix de la région à desservir. Finalement, c'est la portion de territoire comprise entre les génératrices partant de l'émetteur et ayant entre elles un angle égal à l'ouverture horizontale à –3 dB de l'antenne d'émission qui a été choisie. Cette zone de service, un secteur ayant un angle au sommet de $\varphi = 20°$ et une longueur de 70 km, a une surface de 900 km² et compte environ 400 000 habitants. La *figure 1*

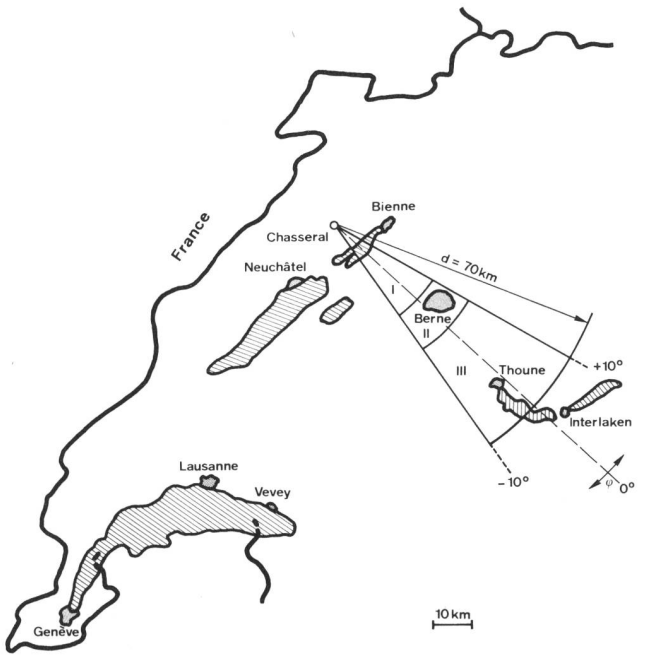

Fig. 1
Zone de service potentielle partagée en trois régions distinctes
I Partie du Seeland
II Berne et ses environs
III Partie du Plateau et des Préalpes

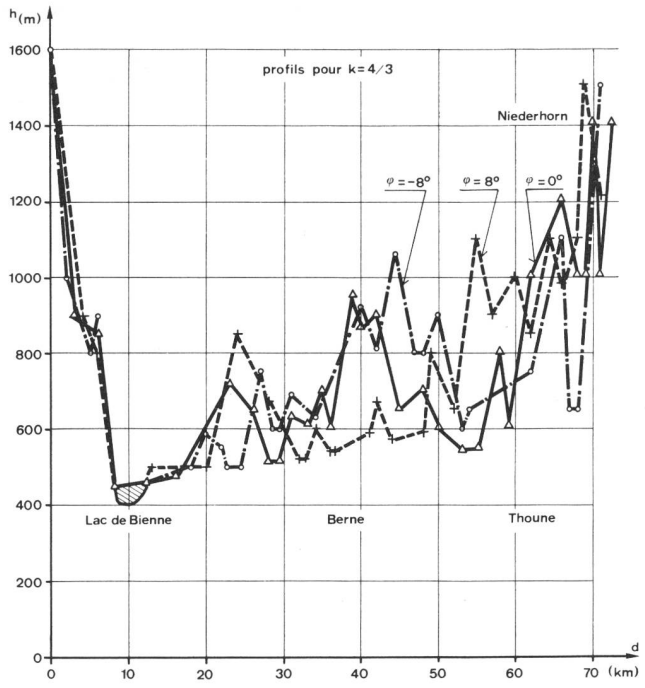

Fig. 2
Profils de terrain dans la zone de service
Paramètre φ (voir fig. 1)

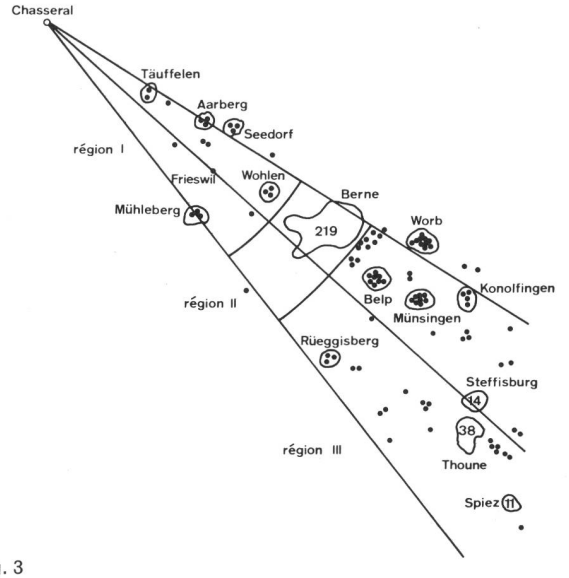

Fig. 3
Distribution des points de mesure dans la zone de service

Région I	n = 21
Région II	n = 219
Région III	n = 148
(219)	Le chiffre indique le nombre de points de mesure
n	Nombre de points de mesure

montre la zone qui comprend une partie du Seeland (I), la ville de Berne et ses environs (II) et une partie du Plateau et des Préalpes (III). Sur la *figure 2*, quelques profils du terrain dans la zone de service en fonction de l'angle φ.

22 Emplacements de mesure

Le nombre des emplacements de mesure a été choisi d'après le critère suivant: 1 point de mesure par millier d'habitants dans les villes ou villages ayant une population égale ou supérieure à 1000 habitants.

De ce fait, 388 points de mesure ont été répartis dans la zone de service en fonction de la densité de population et de la configuration topographique (*fig. 3*). La répartition géographique détaillée des emplacements de mesure pour la ville de Berne et ses environs est donnée à la *figure 4*.

23 «Carte digitale» de la zone de service

Un programme appelé «Digitalisation du terrain» [1], utilisé lors de travaux préliminaires pour déterminer la zone de service, a facilité le choix des emplacements de mesure et leur répartition géographique. Le programme livrait des «cartes digitales» au 1:50 000 comprenant des zones blanches et des zones recouvertes de chiffres (*fig. 5*). Les chiffres, de 1...6, donnent la hauteur au-dessus du sol h à laquelle le Chasseral est en visibilité directe:

Zone blanche	Visibilité directe (h = 0 m)
Chiffre 1	$0 < h \leq 10$ m
Chiffre 2	$10 < h \leq 30$ m
Chiffre 3	$30 < h \leq 60$ m
Chiffre 4	$60 < h \leq 90$ m
Chiffre 5	$90 < h \leq 120$ m
Chiffre 6	$120 < h \leq 900$ m

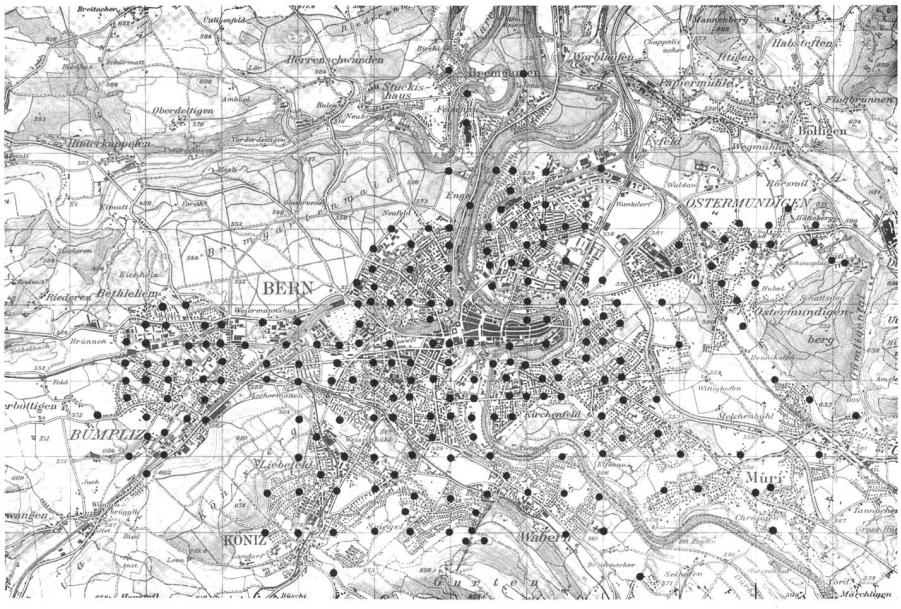

Fig. 4
Distribution des points de mesure à Berne et ses environs
(Reproduit avec l'autorisation du Service topographique fédéral du 19 octobre 1976)

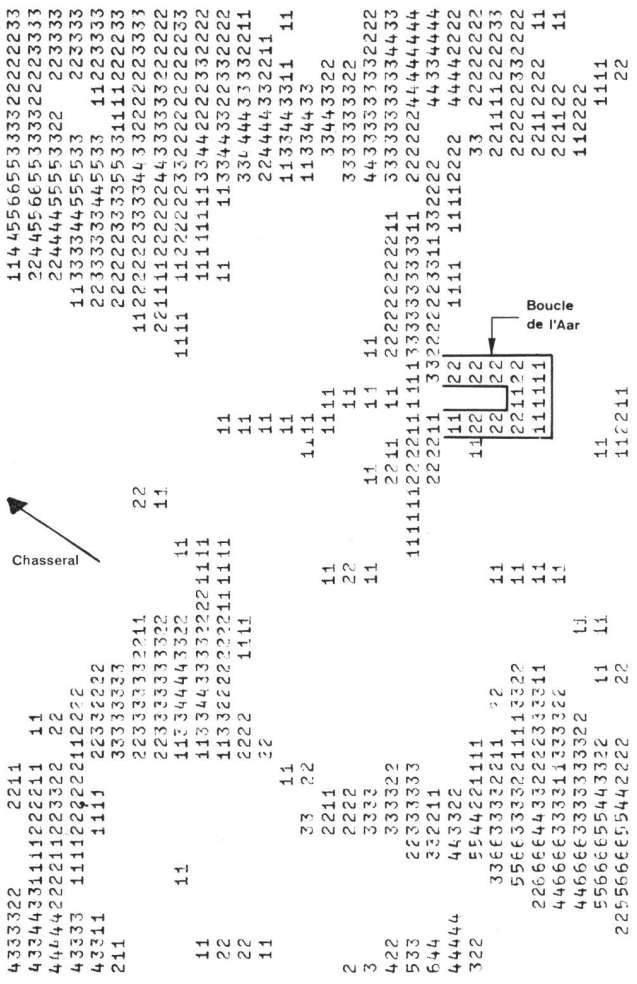

Fig. 5
Carte digitale de Berne et ses environs

Il y a lieu de préciser dès maintenant que la corrélation entre les mesures en campagne et les prédictions trouvées à partir de la «carte digitale» est excellente (voir la boucle de l'Aar à Berne, par exemple), compte tenu de la multitude de paramètres et de procédés de calcul qui interviennent dans sa réalisation. De tels programmes pourraient être utilisés pour trouver rapidement des zones de service potentielles à partir d'un site d'émission réel ou fictif, et déterminer ainsi les zones en visibilité directe, critère important pour une liaison hyperfréquence de qualité.

3 Ensemble émission

31 Emetteur

L'émetteur, situé à plus de 1000 m (h_1) au-dessus du niveau moyen du sol, se compose d'un convertisseur UHF-SHF d'une puissance de 10 mW, d'un étage de puissance équipé d'un klystron de 1 kW et d'une antenne en D. Le schéma-bloc de la *figure 6* montre la configuration de l'émetteur et de ses principaux circuits de contrôle. A noter que le signal non modulé, d'une fréquence de 12,05 GHz, est émis en polarisation horizontale.

32 Puissance rayonnée par l'émetteur en espace libre

La *puissance isotrope rayonnée équivalente* (p.i.r.e.) est définie de la manière suivante:

$$P_{ei} = \frac{P_k \cdot g_T}{a} \text{ (W)} \qquad (1)$$

avec

P_k Puissance délivrée par le klystron en W (P_k = 1000 W)

a Facteur de pertes dans les éléments SHF (a = 1,58)

g_T Gain isotrope de l'antenne en D. Les caractéristiques principales de cette antenne sont les suivantes:

- Gain isotrope $g_T \cong 282$ ($G_T \cong 24{,}5$ dB)
- Ouverture horizontale à –3 dB $\varphi_H = 20°$
- Ouverture verticale à –3 dB $\varphi_V = 3°$

d'où

$$P_{ei} \cong 178 \text{ kW pour } f = 12{,}05 \text{ GHz} \qquad (2)$$

4 Ensemble réception

41 Introduction

L'ensemble de réception est constitué d'un convertisseur SHF-UHF relié par câble coaxial à un récepteur de mesure. Le convertisseur était monté sur un mât télescopique pouvant atteindre une hauteur h_2 maximale de 10 m. Le pointage de l'antenne en azimuth s'effectuait manuellement en tournant le mât fixé à l'arrière du véhicule de mesure, tandis que l'élévation était réalisée à l'aide d'un moteur. Le signal maximum était obtenu en passant alternativement du pointage horizontal au pointage vertical. La *figure 7* montre la voiture de mesure équipée du convertisseur SHF-UHF, et la *figure 8*, le schéma-bloc de l'ensemble de réception.

42 Caractéristiques techniques du convertisseur SHF-UHF

Les principales caractéristiques du convertisseur sont les suivantes:

- Gain isotrope de l'antenne $G_R \cong 35$ dB (antenne parabolique d'un diamètre de 60 cm)
- Facteur de bruit du convertisseur seul $F_C = 8$ dB
- Amplification $G_C = 18$ dB
- Fréquence d'entrée $f_{SHF} = 12{,}05$ GHz
- Fréquence de sortie $f_{UHF} = 773$ MHz

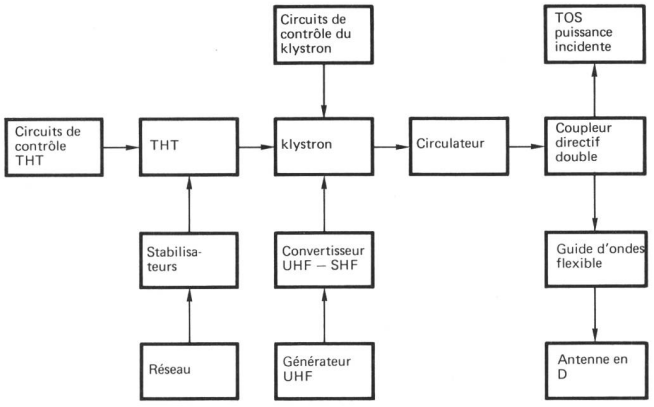

Fig. 6
Schéma-bloc de l'émetteur

Fig. 7
Voiture de mesure équipée du convertisseur SHF-UHF

Le facteur de bruit global F [2] antenne-convertisseur vaut:

$$F = 10 \log \left(1 + \frac{T_{tot}}{T_a}\right) \quad (3)$$

mais

$$T_{tot} = T_A + T_a \cdot (a \cdot F_c - 1) \quad (4)$$

avec

T_{tot} Température antenne-convertisseur en K
T_A Température de l'antenne en K (T_A = 300 K pour un angle d'élévation de 0° au-dessus de l'horizon [3])
T_a Température ambiante en K
a Facteur de pertes antenne-convertisseur (a = 1,02)

d'où

$$F \cong 9 \text{ dB}$$

43 Puissance surfacique S et intensité de champ E

La puissance surfacique et le champ en un point quelconque de l'espace [4] sont donnés par:

$$S = \frac{P_{ei}}{4 \cdot \pi \cdot d^2} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (5)$$

avec

P_{ei} p.i.r.e. en W
d Distance émetteur-point de mesure en m

$$E = \sqrt{S \cdot Z_{wo}} \text{ (V/m)} \quad (6)$$

avec

S Puissance surfacique en W/m²
Z_{wo} Impédance caractéristique du vide en V/A ($\triangleq 120\,\pi\,\Omega$)

De (2) et en utilisant les unités logarithmiques, la puissance surfacique S_o et la grandeur de champ F_o en espace libre valent:

$$S_o[\text{dB(W/m}^2\text{)}] \cong -18{,}5 - 20 \cdot \log d(\text{km}) \quad (7)$$

$$F_o[\text{dB}(\mu\text{V/m})] \cong 127{,}3 - 20 \cdot \log d(\text{km}); \; F_o = 20 \cdot \log E(\mu\text{V/m}) \quad (8)$$

La caractéristique de transfert de l'ensemble de réception, déterminée à l'aide des relations (5), (6) et d'un étalonnage de laboratoire, permet, à partir d'une lecture au récepteur de mesure, de trouver S ou F au point de mesure considéré. Cette caractéristique de transfert est la suivante:

$$S\,[\text{dB(W/m}^2\text{)}] \cong U\,[\text{dB}(\mu\text{V})] - 139 \quad (9)$$
$$F\,[\text{dB}(\mu\text{V/m})] \cong U\,[\text{dB}(\mu\text{V})] + 7 \quad (10)$$

pour la fréquence f = 12,05 GHz

avec U = valeur lue sur le récepteur de mesure, précision ± 2 dB.

5 Mesures en campagne

51 Déroulement des essais

Les mesures en campagne se sont déroulées d'octobre 1974 à mars 1975 durant des périodes sans précipitations ou neige sur l'ensemble de la zone de service. Cette manière de procéder avait pour but d'éviter, dans la mesure du possible, l'introduction de paramètres supplémentaires et aléatoires qui auraient pu influencer le comportement du signal hyperfréquence sur le trajet émetteur-récepteur.

Un premier point de contrôle, Frieswil, un village en visibilité directe avec le Chasseral (d = 22 500 m) et sur la bissectrice de la zone de service, a permis de tester les diverses installations en comparant les valeurs de S mesurées et calculées. La valeur mesurée vaut:

$$S \cong -47 \text{ dB(W/m}^2\text{)} \pm 2 \text{ dB}$$

La valeur théorique de S est donnée par la relation (7):

$$S \cong -45{,}5 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$$

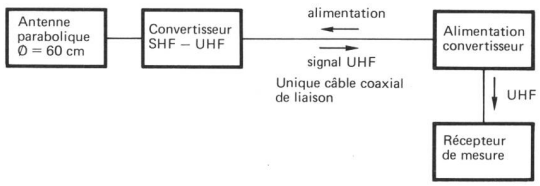

Fig. 8
Schéma-bloc de l'ensemble de réception

La précision de ce dernier résultat peut être évaluée à l'aide des erreurs probables d'une fonction [5]. De (1) et (5) on tire:

$$S = \frac{P_k \cdot g_T}{a \cdot 4\pi \cdot d^2} \quad (W/m^2) \qquad (11)$$

Les valeurs nominales des différentes grandeurs, ainsi que les erreurs de mesure possibles, sont énumérées ci-dessous:

P_k 1000 W $\pm$ 115 W
g_T 282 $\pm$ 65
a 1,58 $\pm$ 0,18
d Paramètre correspondant à la distance en m $\pm$ 50 m (valeurs lues sur une carte au 1:50 000).

Après dérivation de la relation (11) et introduction des valeurs ci-dessus, l'erreur probable dans le cas précis de Frieswil devient:

$$\triangle S = \pm 2\,dB$$

Les valeurs de S calculées et mesurées se recoupent bien: cette méthode de contrôle par beau temps et visibilité directe pour un pointage optimum des antennes d'émission et de réception, a ensuite été utilisée couramment pour vérifier l'ensemble émission-réception en divers points de mesure.

52 Procès-verbal de mesure

A chaque emplacement, un procès-verbal de mesure était établi, comprenant les indications suivantes:

- Lieu: dénomination de la ville, du village ou d'un point en dehors des zones urbaines
- Coordonnées: lues sur une carte au 1:50 000
- Conditions atmosphériques au Chasseral, sur le trajet et à l'emplacement de mesure
- Valeurs moyennes de S pour les hauteurs h_2 de 4 m (S_4) et de 10 m (S_{10})
- Instabilité du signal mesuré (amplitude, variation dans le temps): causes possibles
- Description exacte et croquis de l'emplacement de mesure, nature d'obstacles éventuels (arbre, toit, crête boisée, etc.), distance de réception – obstacle, hauteur de cet obstacle.

6 Résultats des essais de propagation

61 Introduction

Les données collectées dans les 388 emplacements de mesure permettent maintenant de caractériser le comportement d'un signal hyperfréquence dans une zone de service spécifique, comprenant des configurations topographiques très variées. Cette masse d'information peut être manipulée à souhait, les valeurs de S_4 et S_{10} ayant été perforées sur cartes.

Pour déterminer les histogrammes, puis les distributions, le nombre et la largeur des classes doivent être connus. Ce problème peut être résolu en calculant le niveau minimal de la puissance surfacique nécessaire pour une qualité d'image de télévision désirée.

62 Valeur minimale de la puissance surfacique

La qualité d'une image de télévision dépend du niveau du signal et du rapport signal/bruit à l'entrée d'un récepteur de télévision [6]. Diverses mesures subjectives ont montré qu'il existe une relation plus ou moins linéaire entre le rapport signal/bruit haute fréquence $(S/B)_{HF}$ et la qualité de l'image pour un *système de télévision en modulation d'amplitude à bande latérale atténuée* (MA/BLA; systèmes B/G du CCIR[1]) [7], [8]. De plus, certaines expériences en bande VI ont démontré que le bruit est prépondérant dans la dégradation de l'image [9], [10]. En utilisant l'échelle de qualité du CCIR [11], on obtient le *tableau I*.

Tableau I. Relation entre la qualité des images TV et le rapport signal/bruit HF en modulation MA/BLA

Echelle de qualité		$(S/B)_{HF}$ à l'entrée du téléviseur
Note	Commentaire	(dB)
5	Excellent	43
4,5	Excellent-bon	39–40
4	Bon	36
3	Assez bon	29
2	Médiocre	22
1	Mauvais	15

Citons pour mémoire que le rapport signal/bruit $(S/B)_{HF}$ est défini de la manière suivante:

$$(S/B)_{HF} = 20 \log \frac{\text{valeur efficace de la porteuse en crête de modulation}}{\text{valeur efficace du bruit}} \qquad (12)$$

Les relations entre la puissance surfacique S et la puissance P_R sur l'antenne du convertisseur peuvent être tirées de la référence [4]:

$$P_R = \frac{P_r \cdot a}{g_R} \quad (W) \quad \text{avec} \qquad (13)$$

P_R Puissance reçue sur l'antenne en W
P_r Puissance à l'entrée du convertisseur en W
a Facteur de pertes antenne-convertisseur
g_R Gain isotrope de l'antenne

$$P_R = P_{ei} \cdot \left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot d}\right)^2 \quad (W) \quad \text{avec} \qquad (14)$$

P_{ei} p.i.r.e. en W
λ Longueur d'onde en m
d Distance émetteur-récepteur en m

(5) et (14) donnent alors:

$$S = P_R \cdot \left(\frac{4\pi}{\lambda^2}\right) \quad (W/m^2) \qquad (15)$$

Et pour f = 12,05 GHz

$$S = P_R \cdot 20106 \; (W/m^2) \qquad (16)$$

En unités logarithmiques pour P_R en W ou en mW:

$$S\,[dB(W/m^2)] = P_R(dBW) + 43 \qquad (17)$$

ou

$$S\,[dB(W/m^2)] = P_R(dBm) + 13 \qquad (18)$$

[1] Comité Consultatif International des Radiocommunications

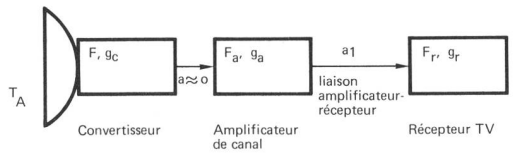

Fig. 9
Configuration d'un ensemble de réception SHF

La *figure 9* montre un exemple pratique de réception d'un signal SHF. Le facteur de bruit [2] d'un tel montage est donné par:

$$F_{tot} = F + \frac{F_a - 1}{g_c} + \frac{F_r - 1}{g_c \cdot g_a \cdot 1/a_1} \qquad (19)$$

avec

F_r, F_a, F	Facteurs de bruit
g_c, g_a, g_r	Amplification
a, a_1	Facteurs de pertes

Par hypothèse (cas réalisable en pratique):

$F > F_a$, $g_a \cdot g_c >> a_1$, $F_a < F_r$

D'où pour F_{tot}:

$$\underline{\underline{F_{tot} \cong F}} \quad \text{(voir 42)} \qquad (20)$$

La relation (20) signifie que le facteur de bruit global se limite au facteur de bruit du convertisseur, ou en d'autres termes, que le rapport $(S/B)_{HF}$ sur le récepteur de télévision peut être ramené à l'entrée du convertisseur SHF-UHF; la qualité de l'image sur le téléviseur est maintenant définie à l'entrée du convertisseur. Cet exemple met en évidence que la manière de monter une installation utilisant un convertisseur SHF-UHF est très importante.

La composition des signaux au convertisseur est représentée à la *figure 10*. Le diagramme de cette figure, la relation (18) et le tableau I permettent alors de trouver la puissance surfacique S pour une qualité d'image souhaitée (*tab. II*).

Tableau II. Relation entre la qualité des images TV et la puissance surfacique S en modulation MA/BLA

Echelle de qualité Note	S[dB(W/m²)]
5	⩾−76
4,5	−80
4	−83
3	−90
2	−97
1	⩽−104

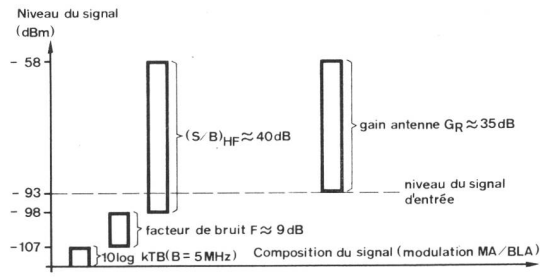

Fig. 10
Composition des signaux au convertisseur SHF

La largeur et la borne d'une classe étant ainsi connues, il est possible de déterminer les histogrammes et les distributions locales de S.

Remarques: Les valeurs du tableau II ne sont valables que pour le convertisseur utilisé, un rapport signal/bruit, une échelle de qualité et un système de modulation donnés. Pour d'autres valeurs des paramètres mentionnés ci-dessus, il suffirait de les introduire en lieu et place de celles utilisées dans le diagramme de la figure 10, pour retrouver ainsi la puissance surfacique minimale. A noter que le rapport $(S/B)_{HF} = 40$ dB est appliqué au cas de la réception individuelle. Pour une réception collective ou un réseau de télédistribution, le rapport $(S/B)_{HF}$ exigé serait de 43 dB [12].

63 Distribution de la puissance surfacique S

La *figure 11* montre les distributions de la puissance surfacique dans les différentes régions et la zone de service. A noter l'influence de la hauteur de l'antenne de réception (h_2). Il a paru intéressant de déterminer les valeurs de S à une hauteur de 20 m pour la ville de Berne et ses environs (région II), en utilisant la théorie de la diffraction sur une lame de couteau [13] du fait de la propagation quasi-optique d'une onde hyperfréquence.

64 Affaiblissement de diffraction A(v)

La formule générale pour calculer le champ derrière un obstacle peut être trouvée par exemple dans [3] et [4]. Après quelques transformations et utilisation de déve-

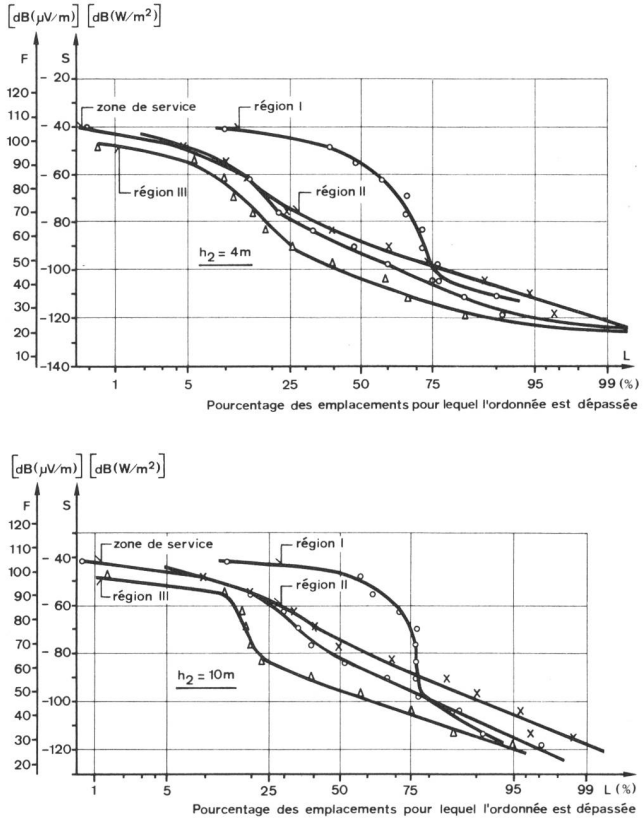

Fig. 11
Distribution de la puissance surfacique pour les différentes régions

loppements asymptotiques [5], la relation simple suivante est trouvée:

$$A(v) = 13 + \log v \text{ (dB)}, \quad v > 1 \qquad (21)$$

$$\text{avec } v = h \cdot \left[\frac{2}{\lambda}\left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}\right)\right]^{1/2}$$

h, d_1, d_2 en m (voir *fig. 12*)
λ Longueur d'onde en m

mais dans la majorité des cas $d_1 \gg d_2$, d'où:

$$v \cong h \cdot \sqrt{\frac{2}{\lambda \cdot d_2}} \qquad (22)$$

La détermination de la puissance surfacique à 20 m pour un emplacement donné est effectuée de la manière suivante:

- Valeur moyenne mesurée S_{10} (procès-verbal de mesure)
- Valeur théorique de S en espace libre
- Valeur théorique de A(v) grâce aux indications du procès-verbal de mesure et des relations (21) et (22)
- Calcul de S_{10}: valeur théorique de S en espace libre moins l'affaiblissement A(v) pour $h_2 = 10$ m. Cette opération permet de vérifier l'exactitude des renseignements notés en chaque point de mesure
- Calcul de S_{20}: valeur théorique de S en espace libre moins l'affaiblissement A(v) pour $h_2 = 20$ m. A remarquer que seuls les cas comportant *un obstacle* ont été traités.

La théorie de la diffraction nécessite un obstacle infiniment long et mince, et parfaitement absorbant [13]: dans les cas pratiques, ces conditions ne sont pas remplies, les obstacles étant très souvent des toits, des crêtes boisées, des collines, etc. Les résultats obtenus n'en sont pas moins satisfaisants. La *figure 13* montre les histogrammes et la distribution avec $h_2 = 10$ m (valeurs mesurées) et $h_2 = 20$ m (valeurs calculées) pour la région II. L'influence de la hauteur de l'antenne de réception est cette fois-ci très marquée.

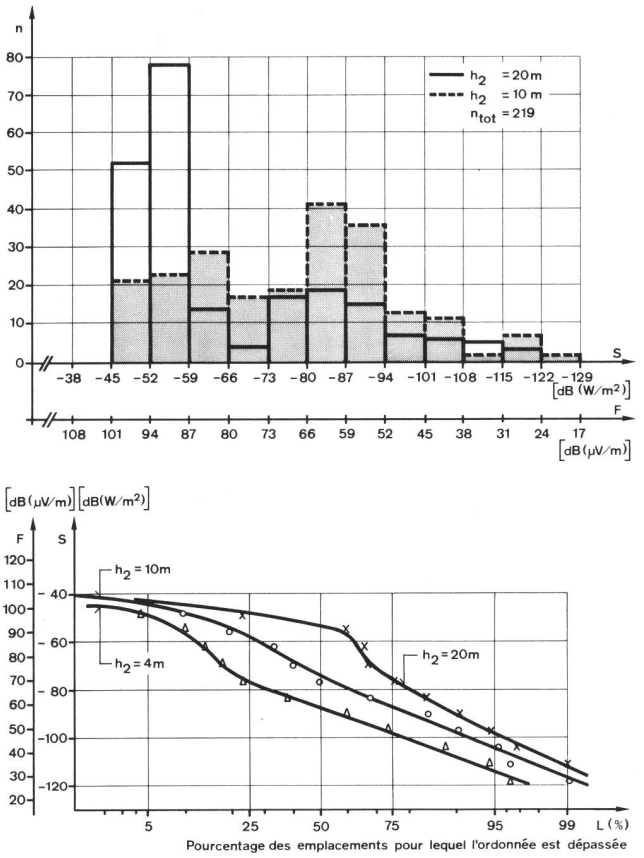

Fig. 13
Histogramme et distribution de la puissance surfacique pour la région II
n = nombre des points de mesure

178 kW doivent donc être diminuées de 22,5 dB pour satisfaire cette exigence.

La *figure 14* présente les différentes courbes de propagation pour une puissance apparente rayonnée de 1 kW. La *figure 15* donne les écarts E entre la valeur médiane du champ et les valeurs dépassées en 10% (E_{10}) et 90% (E_{90}) des emplacements [14]. L'écart E_{90} est un paramètre très important si la couverture globale d'une zone de service est envisagée.

65 *Courbes de propagation*

Le champ médian F_m (puissance surfacique S_m), le champ moyen F (puissance surfacique moyenne S) et le champ en espace libre F_o (puissance surfacique S_o) ont été déterminés pour une p.i.r.e. de 178 kW (voir 32). Le CCIR demande toutefois que les valeurs de champ mesurées soient normalisées pour correspondre à celles qui seraient obtenues avec un dipôle demi-onde horizontal perpendiculaire à la direction de réception et rayonnant une puissance de 1 kW. Les valeurs pour une p.i.r.e. de

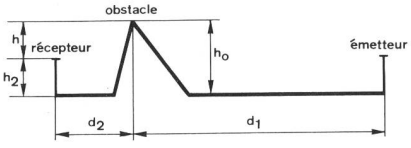

Fig. 12
Définition des termes pour le calcul de l'affaiblissement A (v)

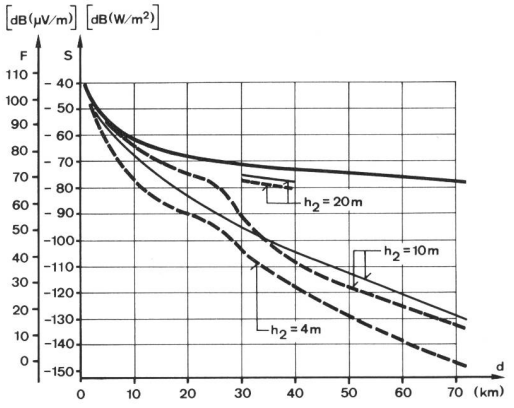

Fig. 14
Courbes de propagation
Puissance apparente rayonnée P_{ed} 1 kW
f 12,05 GHz
h_1 1000 m
——— $\overline{F}$, $\overline{S}$ (valeurs moyennes)
– – – – F_m, S_m (valeurs médianes)
▬▬▬ F_o, S_o (valeurs en espace libre)

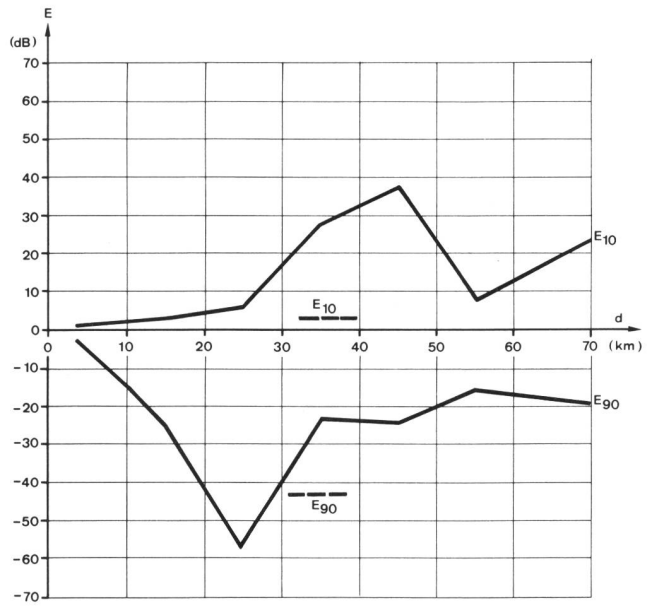

Fig. 15
Ecarts E entre la valeur médiane du champ et les valeurs dépassées en 10% et 90% des emplacements

——— h_2 = 10 m (zone de service)
- - - - h_2 = 20 m (région de Berne; calculé)

66 *Définition du degré d'irrégularité du terrain*

Un paramètre $\triangle h$ est utilisé pour définir le degré d'irrégularité du terrain. Il représente la différence entre les altitudes dépassées sur 10% et 90% du trajet de propagation pris entre 10 et 50 km [15] à partir de l'émetteur. Cette grandeur a été déterminée pour $\varphi = 5°$ (profil du terrain avec k = 4/3), car la majorité des emplacements de mesure sont compris entre $\varphi = 0°$ et $\varphi = 10°$. La valeur obtenue est la suivante:

$$\triangle h \cong 200 \text{ m}$$

La *figure 16* donne le rapport en dB entre le champ pour un pourcentage quelconque des emplacements de réception et le champ pour 50% des emplacements de réception.

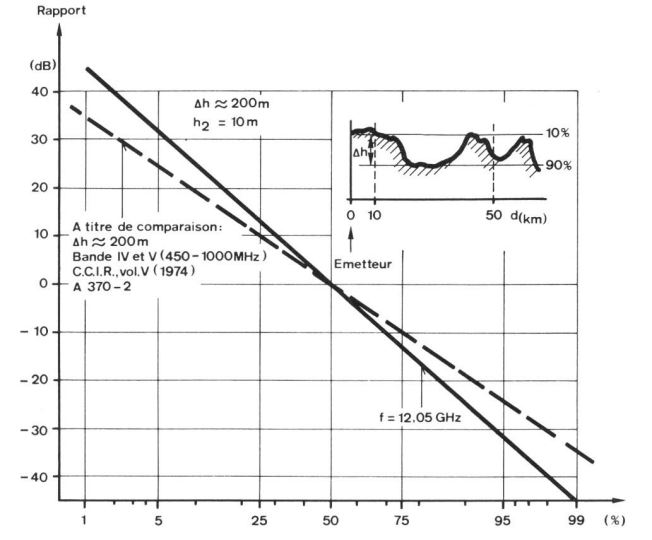

Fig. 16
Rapport entre le champ pour un pourcentage quelconque des emplacements de réception et le champ pour 50% des emplacements de réception

7 Précipitations et trajets multiples atmosphériques

71 *Introduction*

Les hyperfréquences sont principalement affaiblies en liaison directe par les précipitations et les trajets multiples atmosphériques. Le niveau du signal en un point de mesure donné sera ainsi sujet à une variation temporelle qui est fonction des conditions atmosphériques sur le trajet, de la distance émetteur-récepteur et de la fréquence.

72 *Affaiblissement A_p dû aux précipitations*

L'affaiblissement de transmission supplémentaire dû aux précipitations est déterminé par la formule suivante [16]:

$$\gamma = K \cdot R^{\alpha} \text{ (dB/km)} \quad \text{avec} \qquad (23)$$

K, α Paramètres dépendant de la fréquence et de la température [17]
R Taux des précipitations en mm/h

Les valeurs de R sont tirées de courbes, établies par la Division des recherches et du développement, qui donnent la distribution annuelle moyenne du taux des précipitations dans la région de Berne pour les années 1971...1974. La relation (23) ne donne toutefois des résultats valables que pour de très courtes distances. Pour des trajets radioélectriques de plusieurs kilomètres, un coefficient de réduction des intensités de précipitations c_r doit être utilisé. D'où finalement l'affaiblissement A_p:

$$A_p = K \cdot (c_r \cdot R)^{\alpha} \cdot d \text{ (dB)} \quad \text{avec} \qquad (24)$$

c_r Coefficient de réduction [16]
d Distance émetteur-récepteur en km

La *figure 17* représente l'affaiblissement A_p pour le mois le plus défavorable, la distance d étant prise comme paramètre [18], [19]. A remarquer que la corrélation entre les courbes calculées à partir de la distribution du taux des précipitations et les mesures effectuées est bonne [20].

73 *Affaiblissement A_{tm} dû aux trajets multiples atmosphériques* [21]

Divers essais de propagation ont permis de déterminer l'affaiblissement A_{tm} pour le mois le plus défavorable et un trajet d'une longueur de 70 km [20]. En utilisant la formule

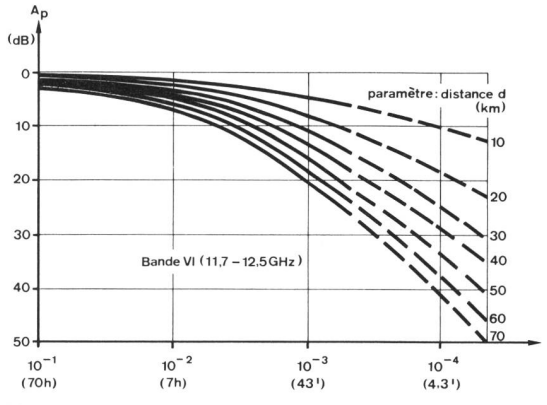

Fig. 17
Affaiblissement A_p dû à la pluie
Probabilité que l'affaiblissement A_p dépasse la valeur indiquée en ordonnée (mois le plus défavorable)

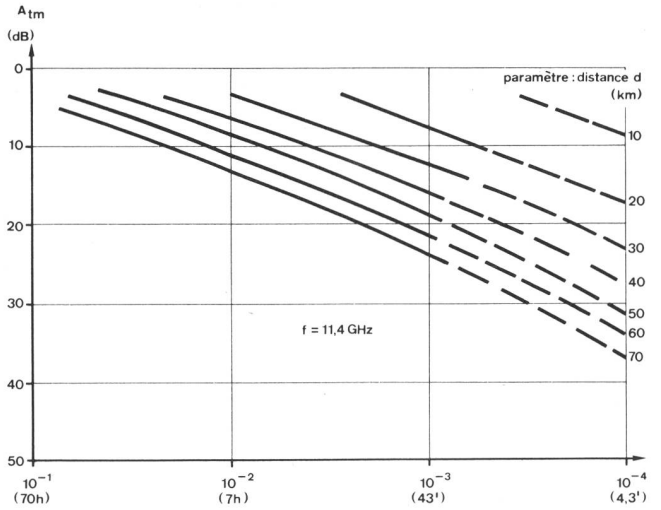

Fig. 18
Affaiblissement A_{tm} dû aux trajets multiples atmosphériques
Probabilité que l'affaiblissement A_{tm} dépasse la valeur indiquée en ordonnée (mois le plus défavorable)

ci-dessous, il est possible de trouver A_{tm} pour d'autres distances d:

$$P_{tm}(d) = P_{tm}(70) \cdot \left(\frac{d}{70}\right)^3 \quad \text{avec} \qquad (25)$$

$P_{tm}(d)$ Probabilité que A_{tm} dépasse la valeur indiquée en ordonnée pour une distance d donnée (voir *fig. 18*)

$P_{tm}(70)$ Probabilité que A_{tm} dépasse la valeur indiquée en ordonnée pour une distance de 70 km

d Distance émetteur-récepteur en km

74 Remarques

L'affaiblissement A_{tm} n'intervient que lorsque les liaisons hyperfréquences sont plus ou moins horizontales (fluctuations de $\pm$ 1...2°). En outre, les deux événements (précipitations et trajets multiples atmosphériques) n'apparaissent pas simultanément et, de ce fait, la probabilité que l'affaiblissement dépasse la valeur indiquée en ordonnée est calculée au moyen du principe des probabilités totales [5].

Le but principal de ce chapitre n'est pas de donner uniquement des valeurs de A_p ou A_{tm} pour la zone de service, mais de rendre l'exploitant d'un futur réseau SHF attentif aux problèmes de propagation.

Pour d'autres causes ou mécanismes qui interviennent encore dans l'affaiblissement du signal SHF en visibilité directe, mais dont les effets sont moindres, le lecteur est renvoyé aux ouvrages et revues spécialisés [4], [17], [22], [23], [24], [25].

8 Observations particulières

81 Affaiblissement par les arbres

L'affaiblissement moyen pour différentes sortes d'arbres est présenté dans le *tableau III* [26]:

Tableau III. Affaiblissement moyen dû aux arbres

Description de l'arbre	Affaiblissement moyen (dB) (par temps beau et sans vent)
Peu feuillu	4
Très feuillu	6
Rameux, sans feuilles	11
Sapin	7

82 Stabilité du signal

Les mesures en campagne ont montré que la stabilité des signaux SHF était influencée par:

- La nature de l'obstacle
- Les conditions atmosphériques
- Le niveau du signal

Des essais en visibilité directe ont donné une variation crête-à-crête maximale $\triangle_{cc}$ du signal SHF de (pour h_2 = 10 m):

$\triangle_{cc} < 1$ dB par vent faible à moyen
$\triangle_{cc} < 3$ dB par vent violent et en rafales

La voiture de mesure étant stabilisée à l'aide de quatre crics, les variations ne provenaient que du manque de rigidité mécanique et de la construction du mât télescopique supportant le convertisseur SHF. Le *tableau IV* résume toutes les observations notées au cours des mesures en campagne sur la stabilité du signal SHF et portant sur 350 points de mesure. La grandeur $\triangle t$ donne la durée moyenne d'une variation $\triangle_{cc}$. Les valeurs pour $\triangle t$ et $\triangle_{cc}$ ont été estimées de manière subjective sur une période de mesure d'environ 10...15 minutes. A remarquer qu'il n'existe pas de corrélation entre les valeurs de $\triangle_{cc}$ et $\triangle t$ (indépendance totale).

Les faits suivants peuvent être tirés du tableau IV:

- La réception d'un signal SHF n'est optimale que si la liaison émetteur-récepteur est en visibilité directe
- La réception dans la zone d'ombre est possible, à condition que la réserve de signal soit suffisante (liaison rasante) et que le contrôle automatique du gain (CAG) soit performant. Quelques essais en laboratoire ont montré que, si le convertisseur SHF-UHF ne possède pas de CAG (ou un CAG de qualité moyenne), le récepteur de télévision ne peut à lui seul maîtriser les fluctuations du signal, d'où une dégradation variable de la qualité de l'image. A noter que, dans le cas d'une modulation de fréquence, de telles variations de signal peuvent être partiellement supprimées par l'étage limiteur.

83 Réflexions

- Mesures du signal direct: très peu de réflexions dues au sol (critère de Rayleigh, caractéristiques de l'antenne parabolique [27])
- Réflexions multiples par les immeubles: plusieurs maxima dans un angle de 360° (azimuth), mais dont seul le signal principal (axe émetteur-récepteur) est le plus stable pour des niveaux à peu près identiques
- Réflexions par des montagnes enneigées et des collines boisées: dans une zone d'ombre, le signal réfléchi peut être de 3...30 dB supérieur au niveau du signal direct (axe émetteur-récepteur) pour des puissances surfaciques $S < -95$ dB(W/m²)

84 Diffraction

Les puissances surfaciques mesurées et calculées ont été comparées pour trois cas typiques en utilisant les for-

Puissance surfacique S [dB(W/m²)]		Variation crête-à-crête Δ_{cc} (dB)											Durée moyenne Δt (s)						Nature de l'obstacle: forêt, crête, arbre,...		maison (toit),...	
		0 | 2	2 | 4	4 | 6	6 | 8	8 | 10	10 | 12	12 | 14	14 | 16	16 | 18	18 | 20	20 | 22	0 | 2	2 | 4	4 | 6	6 | 8	8 | 10	>10	mouillé	sec	mouillé	sec
Visibilité directe	-38 à -45	③																③				
	-45 à -52	㉒												①				㉑				
	-52 à -53	㉟	⑥										⑥					㉟				
	-59 à -66	㉕ 3	⑦ 2										⑧ 2	⑧ 1	②			⑭ 2		⑫ 5		⑳
Zone d'ombre	-66 à -73	⑱ 1	① 1										⑥	①	①			⑪ 2		⑨		⑩ 2
	-73 à -80	⑯	③ 1	①									⑤ 1	⑤	③			⑦		⑦ 1		⑬
	-80 à -87	㉘ 1 △	⑩ 1 △	③ 1	① 1	△							⑱ 2 △	⑥ 1 2	⑦	①		⑩	△	⑯		㉖ 2
	-87 à -94	㉒ 1 △	⑩	① 2	④		1						⑱	④ 3	④ 1 △	②		⑧ 1	△	㉔ 2		⑫ 1
	-94 à -101	⑯	⑨	⑨	③	①	①			1		①	⑯	⑦	⑫			⑥		㉘ 1		⑫
	-101 à -108	⑥	⑪	⑥	③ 1	④	1			①			⑮	⑧	⑥ 2	②			△	㉒	△	⑨
	-108 à -115	①	⑥	④ 1	②				①	①			⑤ 1	⑤	③	①		①		⑭ 1		①
	-115 à -122			④	③	①	④ 1	①		①		①	⑤	⑤ 1	④	①			△	⑭		①
	-122 à -129				③	③	④	②	①				④	⑥	①	①	①			⑬		
	-129 à -136																					

Tableau IV. Stabilité du signal SHF aux emplacements de mesure; les chiffres inscrits dans l'une des trois figures géométriques indiquent les nombres de cas observés

○ Conditions atmosphériques normales: pas de précipitations ou neige; vent faible à moyen
△ Mesures après des chutes de pluie ou neige; vent faible à moyen
□ Mesures lors de vents assez violents ou en rafales

mules des paragraphes 43 et 64. Les configurations topographiques sont visibles à la *figure 19*, alors que le *tableau V* présente les valeurs de S mesurées et calculées.

Tableau V. Puissance surfacique mesurée et calculée pour trois emplacements de mesure

Lieu	S_o [dB(W/m²)]	A (dB)	S_{10} mesuré [dB(W/m²)]	S_{10} calculé [dB(W/m²)]
Konolfingen	–56	47	–102	–103
Rüeggisberg	–55	42	–96	–97
Thoune	–53	42	–93	–95

Lorsque le signal est diffracté par plusieurs obstacles, les valeurs mesurées et calculées divergent trop (> 12 dB).

9 Applications typiques

91 Introduction

L'exploitation des résultats est liée aux objectifs visés: Alimentation de réseaux de télédistribution, réception individuelle, couverture globale ou partielle d'une zone de service, etc. En d'autres termes, les distributions des puissances surfaciques (voir fig. 11 et 13) elles-mêmes dépendantes de la p.i.r.e., de la zone desservie et de h_2, permettent de déterminer les pourcentages de couverture pour une modulation, un convertisseur SHF et une qualité d'image donnés.

92 Convertisseur

Les caractéristiques techniques ont été énumérées sous 42. Les valeurs du facteur de bruit ou du gain de l'antenne peuvent varier selon le fabricant et l'utilisation prévue.

93 Qualité de l'image

La qualité de l'image sur le récepteur de télévision est sanctionnée par la note 4,5 (voir 62). Cette qualité d'image correspond à un rapport signal/bruit vidéo non pondéré [6], [7] de:

$$(S/B)_{v,np} \simeq 33\,dB \qquad (26)$$

Ce rapport est valable pour une réception TV couleur ou monochrome, et il sera utilisé pour définir la qualité de

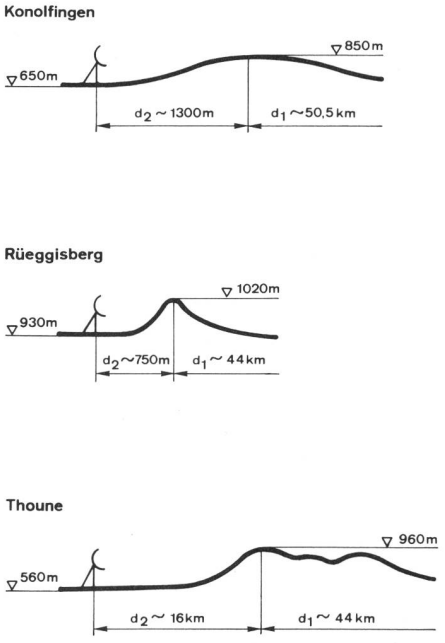

Fig. 19
Configurations topographiques de trois emplacements de mesure
d_1 Distance émetteur-obstacle
d_2 Distance obstacle-récepteur

l'image indépendamment de l'installation de réception à disposition.

94 Modulation

Pour la radiodiffusion (télévision), c'est généralement la modulation d'amplitude en bande latérale atténuée (MA/BLA) qui est utilisée dans les bandes VHF et UHF, alors que la modulation de fréquence (MF) trouve des applications dans les faisceaux hertziens. Fondamentalement, les deux procédés peuvent être employés: les pourcentages de couverture seront donc déterminés pour les deux modulations.

941 Modulation MA/BLA

Pour le rapport signal/bruit HF, voir 62.

942 Modulation MF

Le rapport signal/bruit vidéo non pondéré $(S/B)_{v,np}$ est indépendant du procédé de modulation, d'où:

$$(S/B)_{MF,v,np} \triangleq (S/B)_{MA/BLA,v,np} \triangleq (S/B)_{v,np} \qquad (27)$$

Mais pour la modulation d'amplitude en bande latérale atténuée [6], [7] le rapport signal/bruit non pondéré est de:

$$(S/B)_{v,np} \cong (S/B)_{HF} - 7{,}4 \text{ (dB)} \qquad (28)$$

et de [28], [29] pour la modulation de fréquence:

$$(S/B)_{v,np} = (P/B) \cdot \left(\frac{D_{c\text{-}c}}{f_v}\right)^2 \cdot \left(\frac{b}{2f_v}\right) \qquad (29)$$

avec

(P/B) Rapport porteuse/bruit avant détection, dans la largeur de bande radioélectrique
$D_{c\text{-}c}$ Excursion crête-à-crête due au signal vidéo U_{BAS}
f_v Fréquence vidéo la plus élevée
b Largeur de bande du canal radioélectrique:
$b = D_{c\text{-}c} + 2f_v$ (formule de Carson)

En introduisant l'indice de modulation:

$$m = D_{c\text{-}c}/2f_v \qquad (30)$$

l'expression (29) devient:

$$(S/B)_{v,np} = (P/B) \cdot 12 \cdot m^2 \cdot (m+1) \qquad (31)$$

Le rapport cherché (P/B) est obtenu à l'aide des relations (28), (30) et (31):

$$(P/B) \cong \frac{(S/B)_{HF}}{66 \cdot m^2 (m+1)} \qquad (32)$$

En unités logarithmiques pour les paramètres suivants:

$m = \frac{1}{2}, 1, 2$

$f_v = 5$ MHz

$$(P/B)_{m=\frac{1}{2}} \cong (S/B)_{HF} - 14 \quad \text{(dB)} \qquad (33)$$

$$(P/B)_{m=1} \cong (S/B)_{HF} - 21 \quad \text{(dB)} \qquad (34)$$

$$(P/B)_{m=2} \cong (S/B)_{HF} - 29 \quad \text{(dB)} \qquad (35)$$

Comme le montrent les relations (33) à (35), le gain entre la MA/BLA et la MF dépend fortement de l'indice de modulation m. Le rapport (P/B) pour un indice de modulation $m = 1$ et un rapport $(S/B)_{HF}$ de 40 dB devient ainsi:

$$(P/B)_{m=1} \cong 19 \text{ dB}$$

Les deux procédés de modulation peuvent maintenant être comparés pour les différentes stratégies possibles de réception dans les zones de service. A noter que la puissance surfacique S nécessaire en MF pour une image de qualité égale à la note 4,5 peut être facilement obtenue à partir du diagramme de la figure 10: remplacer $(S/B)_{HF}$ par (P/B), puis utiliser la formule (18); les caractéristiques du convertisseur sont maintenues:

$$\text{MA/BLA} \quad S = -80 \text{ dB}(W/m^2) \qquad (36)$$

$$\text{MF} \quad S = -101 \text{ dB}(W/m^2) \qquad (37)$$

95 Couverture des zones de service en réception individuelle

951 Introduction

Le degré de couverture est déterminé pour les deux procédés de modulation et les différentes zones à partir des courbes des figures 11 et 13. Une réserve de signal unique de 5 dB pour toute la zone de service est ajoutée aux niveaux minima nécessaires à l'obtention d'une image de qualité 4,5:

$$\text{MA/BLA} \quad S = -75 \text{ dB}(W/m^2) \qquad (38)$$

$$\text{MF} \quad S = -96 \text{ dB}(W/m^2) \; (m = 1) \qquad (39)$$

952 Visibilité directe

Le pourcentage de couverture pour les hauteurs de $h_2 =$ 10 m et 20 m est résumé dans le *tableau VI*. Une réduction possible de la puissance émise est donnée dans la dernière colonne (valeurs indicatives).

Tableau VI. Couverture en visibilité directe

Zone	h_2 (m)	% d'emplacements en visibilité directe	Réduction p.i.r.e. (dB) MA/BLA	MF
Zone de service	10	18	25	46
Région I	10	40	32	53
Région II	10	19	25	46
Région III	10	11	22	43
Région II	20	43	25	46

953 Couverture des diverses zones

La couverture totale de la zone de service ou de l'une des trois régions n'est réalisée que si la puissance surfacique minimale est présente pour 90% des emplacements durant 99% du temps (mois le plus défavorable). Pour les bandes VHF et UHF, le pourcentage L des emplacements desservis doit être de $L \geq 50\%$ durant 99% du temps [30]. Le tableau ci-dessous donne le pourcentage des emplacements L pour les valeurs du paragraphe 951. La dernière colonne présente L lorsque la réserve de signal est prise égale à 10 dB.

Tableau VII. Couverture des différentes zones de service

Zone	h_2 (m)	L (%) pour une réserve de signal de 5 dB MA/BLA	MF	L (%) pour une réserve de signal de 10 dB MA/BLA	MF
Zone de service	10	40,5	75	35	67
Région I	10	76	78	75	77
Région II	10	50	87	40	80
Région III	10	20	51,5	18	40
Région II	20	74	93	68	90

Les indications du *tableau VII* montrent que seule la ville de Berne et ses environs pourraient être desservis en MF pour $h_2 = 20$ m. Le pourcentage L diminue légèrement pour une réserve de signal passant de 5 à 10 dB. Il est évident que si L est pris égal ou supérieur à 50%, toutes les zones sont desservies en MF, alors qu'en MA/BLA, seules les régions I et II le sont (réserve de 5 dB).

La *figure 20* donne les pourcentages des emplacements pour une réception individuelle dans les diverses régions en fonction de la qualité de l'image, la hauteur h_2 et la modulation étant prises comme paramètres (réserve de signal de 5 dB; saut de 7 dB entre chaque note, voir 62). A remarquer que les valeurs de L peuvent légèrement varier, car elles sont très dépendantes de la pente des courbes de distribution.

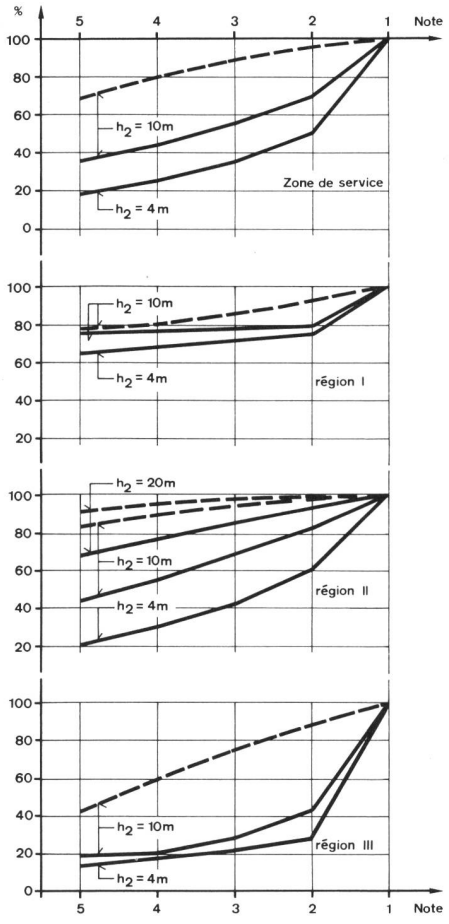

Fig. 20
Pourcentage des emplacements pour une qualité d'image et une région données (réception individuelle)
p.i.r.e. 178 kW
h_1 1000 m
——— Modulation MA/BLA
– – – – Modulation MF (m = 1)
Note = qualité de l'image:
5 = Excellent
4 = Bon
3 = Assez bon
2 = Médiocre
1 = Mauvais

96 *Nombre approximatif des abonnés TV desservis par le présent réseau SHF*

961 *Introduction*

Les tableaux VI et VII donnent les pourcentages des emplacements pour lesquels une certaine qualité d'image est garantie. Le nombre des téléspectateurs desservis par l'émetteur du Chasseral peut être trouvé en connaissant le nombre des abonnés (concessions) à la télévision dans les différentes régions, et en admettant par *hypothèse,* que le nombre de récepteurs est également uniformément réparti en fonction de la densité de population. Le nombre total d'abonnés N_{at} en réception individuelle est alors déterminé de la manière suivante:

N Nombre d'habitants
n Nombre des points de mesure
n* Nombre total d'abonnés TV [31]

Choix à priori:

n N/1000
n_a Nombre d'abonnés par point de mesure
L Pourcentage pour lequel la qualité d'image est supérieure ou égale à la note 4,5

d'où:

$$N_{at} = n^* \cdot L \qquad (40)$$

962 *Visibilité directe*

Les valeurs obtenues sont résumées dans le *tableau VIII* (L en % du tableau VI):

Tableau VIII. Nombre d'abonnés TV en visibilité directe et réception individuelle

Zone	h_2 (m)	n*	L (%)	N_{at}
Zone de service	10	94 001	18	16 920
Région I	10	3 153	40	1 261
Région II	10	60 676	19	11 529
Région III	10	30 172	11	3 319
Région II	20	60 676	43	26 091

963 *Nombre d'abonnés dans les différentes zones*

Les valeurs de L sont prises dans le tableau VII (réserve de 5 dB).

Tableau IX. Nombre d'abonnés TV dans les différentes zones de service avec réception individuelle

Zone	h_2 (m)	n*	L (%) MA/BLA	MF	N_{at} MA/BLA	MF
Zone de service	10	94 001	40,5	75	38 071	70 501
Région I	10	3 153	76	78	2 397	2 460
Région II	10	60 676	50	87	29 731	52 789
Région III	10	30 172	20	51,5	6 035	15 539
Région II	20	60 676	74	93	44 901	56 429

964 *Réception communautaire*

Les stations de tête de diverses installations communautaires sont en visibilité directe avec le Chasseral [32]. Le

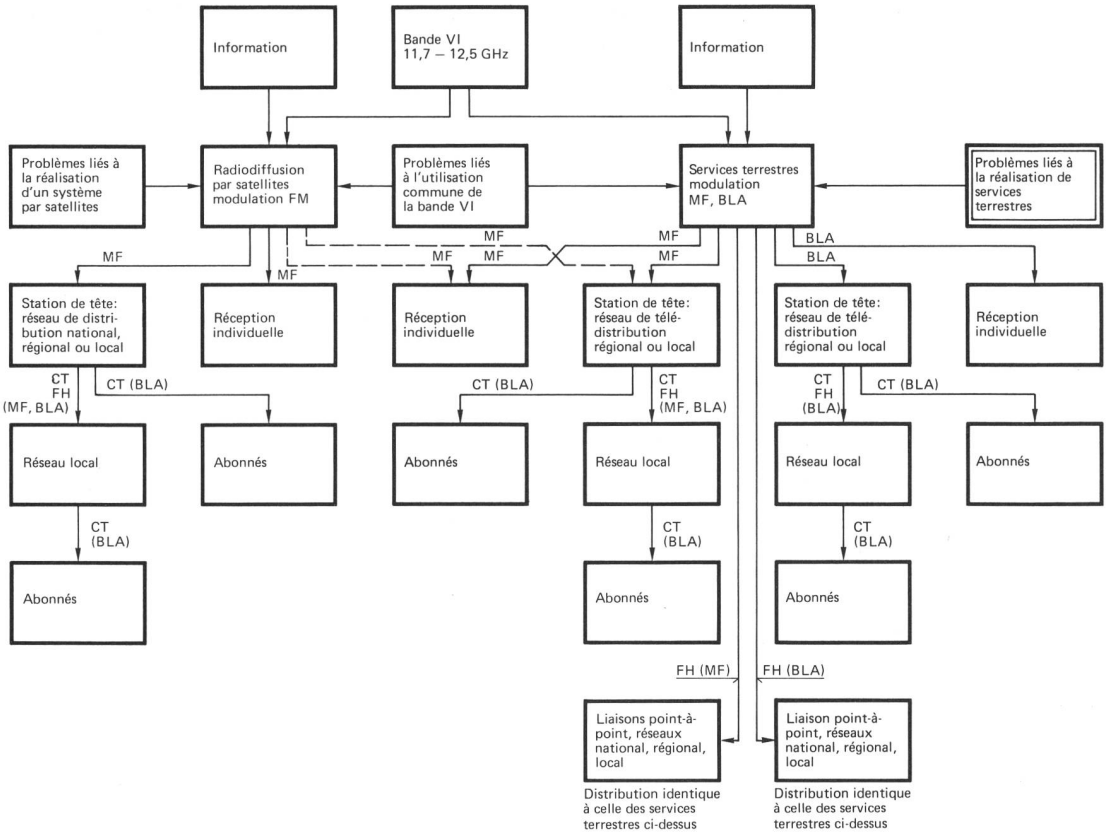

Fig. 21
Exemples d'utilisation de la bande des 12 GHz

MF Modulation de fréquence
BLA Bande latérale atténuée
CT Réseaux câblés de télédistribution
FH Faisceaux hertziens
---- Utilisation commune de l'ensemble réception (satellites ou services terrestres)

nombre des abonnés à de telles installations a été donné par les exploitants au 15.9.1975. Ils correspondent aux indications suivantes:

Zone de service	45 850 abonnés
Région I	250 abonnés
Région II	43 800 abonnés
Région III	1 800 abonnés

97 Utilisation des résultats pour d'autres zones de service

Les distributions de la puissance surfacique ne sont valables que pour la zone considérée. Pour des régions, une p.i.r.e. et un emplacement d'émission différents, des courbes similaires sont obtenues [22]: visibilité directe, transition plus ou moins abrupte, zone d'ombre. A noter que les caractéristiques de l'ensemble de réception n'interviennent que lors de la détermination du pourcentage de couverture.

98 Partage de la bande VI avec d'autres services

Le problème du partage des fréquences entre les services par satellites et les services de Terre a déjà été mentionné au chapitre 1. Il est donc très important dans la conception d'un réseau de connaître les diverses combinaisons possibles entre les services par satellites et les services de Terre, et entre les services de Terre eux-mêmes, au regard des procédés de modulation, des rapports de protection, du degré de couverture et des fréquences assignées [33]. La *figure 21* présente un organigramme de principe d'une utilisation possible de la bande des 12 GHz entre des systèmes par satellites et des systèmes terrestres. Les essais réalisés en campagne s'insèrent ici dans l'encadré «Problèmes liés à la réalisation de services terrestres.»

10 Conclusions

Les essais en campagne ont permis de déterminer la distribution de la puissance surfacique ou du champ à l'intérieur de diverses zones de service.

Les résultats montrent que le signal SHF est uniquement influencé par les conditions météorologiques en visibilité directe (principalement par les précipitations et les trajets multiples atmosphériques), alors que, dans les zones d'ombre, le signal SHF est encore affecté par la nature de l'obstacle [34] (forêt, colline, toit; obstacles mouillés ou secs). Un tableau récapitulatif présente les variations en amplitude et dans le temps, non corrélées, des niveaux de réception à environ 350 emplacements.

Le degré de couverture a été déterminé pour deux procédés de modulation: MA/BLA et MF. Bien que seule la région II (Berne et ses environs) puisse être desservie totalement en MF, ce système de modulation, à part le fait qu'il utilise une grande largeur de bande, présente les avantages suivants:

- Degré de couverture nettement plus élevé pour une même p.i.r.e.
- Diminution appréciable de la p.i.r.e. en visibilité directe
- Rapport de protection moindre que dans le cas de la MA/BLA (brouillage dans le même canal)

A remarquer que les caractéristiques du convertisseur SHF ont été admises identiques dans les deux cas de modulation.

En tenant compte des possibilités de transmission de plusieurs canaux en bande VI, de la faisabilité de réseaux SHF, du choix optimal aussi bien de l'appareillage SHF que du procédé de modulation, du but à atteindre ainsi que de considérations autres que techniques, telles que financières, intérêt des téléspectateurs à un choix substantiel de programmes supplémentaires, l'utilisation de la bande des 12 GHz peut être envisagée dans les cas suivants (MA/BLA, MF):

- Alimentation de réseaux de câbles privés locaux ou individuels dans les grands centres urbains (p.i.r.e. réduite, faisceaux hertziens)
- Réseau primaire pour le transport de programmes supplémentaires (par exemple la télévision), puis redistribution aux nombreux réseaux de télédistribution locaux ou régionaux [35], [36], [37], [38] (p.i.r.e. relativement élevée dans le cadre d'une radiodiffusion)
- Réception individuelle en des lieux ou zones géographiques privilégiés.

Ces diverses considérations donnent à penser que la bande VI doit être étudiée d'un point de vue très général au regard des divers concepts possibles dans les services par satellites et les services de Terre. En toute probabilité, le nombre des canaux disponibles dans la bande des 12 GHz est suffisant, en tenant compte des études de l'UER sur la radiodiffusion par satellites à 12 GHz [39], pour autoriser la réalisation de services de Terre (faisceaux hertziens, radiodiffusion).

Bibliographie

[1] Sichtberechnung im Rasterrelief. GRD, Gruppe für Rüstungsdienste. Bern, Januar 1971.
Geländedigitalisierung. GRD, Gruppe für Rüstungsdienste. Bern, Mai 1974.

[2] *Beneking H.* Praxis des elektronischen Rauschens. B. I. Hochschulskripten, Bd. 734/734 a-d. Zürich, 1971.

[3] *Jordan E.* and *Balmain K.* Electromagnetic waves and radiating systems. Englewood Cliffs, N. J., 1968.

[4] *Grosskopf J.* Wellenausbreitung I, II. B. I. Hochschulskripten, Bd. 141/141 a; 539/539 a. Zürich, 1970.

[5] *Angot A.* Compléments de mathématiques. Paris, Masson & Cie, 1972.

[6] *Brand H.* und *Hügli H.* Fernsehempfangstechnik I, II. Blaue TR-Reihe,Heft 106. Bern, 1972.

[7] *Goussot L.* La télévision monochrome et en couleur. Paris, 1972.

[8] *Eden J. W.* Comparaison entre la modulation d'amplitude et la modulation de fréquence pour la réception directe d'émissions de télévision par satellites. Genève, Journal des Télécommunications, 41 (1974) 6, p. 364...373.

[9] *CCIR.* Comité consultatif international des radiocommunications. Genève, XIIIe Assemblée plénière, 1974. Vol. V, p. 198...199, Rapport 562.

[10] *Zwilling H.* Empfangsanlage für Rundfunkübertragungen im 12-GHz-Bereich. Berlin, Siemens-Zeitschrift 46 (1972) 12, S. 949...954.

[11] *CCIR.* Comité consultatif international des radiocommunications. Genève, XIIIe Assemblée plénière, 1974. Vol. XI, p. 65...68, Avis 500.

[12] Technische Grundforderungen für die Übertragungsqualität von Gemeinschaftsantennenanlagen. Bern, Generaldirektion PTT, Radio- und Fernsehabteilung, 1974.

[13] *Born M.* Optik. Berlin, Springer Verlag, 1972.

[14] *CCIR.* Comité consultatif international des radiocommunications. Genève, XIIIe Assemblée plénière, 1974. Vol. V, p. 113...115, Avis 311–2.

[15] *CCIR.* Comité consultatif international des radiocommunications. Genève, XIIIe Assemblée plénière, 1974. Vol. V, p. 116...142, Avis 370–2.

[16] *CCIR.* Comité consultatif international des radiocommunications. Genève, XIIIe Assemblée plénière, 1974. Vol. V, p. 66...78, Rapport 233-3.

[17] *Waldteufel P.* Atténuation des ondes hyperfréquences par la pluie: une mise au point. Paris, Annales des Télécommunications, 28 (1973) 5–6, p. 255...272.

[18] Propagation of Radio Waves of Frequencies above 10 GHz. London, IEE Conference Publication (1973) 98.

[19] La télédistribution en SHF. Le faisceau CTV 12. TRT, Société Télécommunications Radioélectriques et Téléphoniques, 88, rue Brillat-Savarin, 75 Paris 13e.

[20] *Wey E.* Feldstärkeschwund-Statistiken für die Planung von Richtfunkverbindungen. Berne, Direction générale des PTT, Division des recherches et du développement, Rapport VD 32.040 A du 25. 7. 1974.

[21] *Fehlhaber L.* Amplitudenschwund auf Richtfunkfeldern mit Sichtverbindungen als Folge von Mehrwegausbreitung. Bad Windsheim, Fernmelde-Ingenieur, 29 (1975) 4, S. 1...31.

[22] *Sakowski K.* Die Versorgungswahrscheinlichkeit im Berliner 12-GHz-Versuchsnetz. Darmstadt, Fernmeldetechn. Zentralamt, Techn. Bericht A 417 TBr 13, Februar 1972.

[23] *Bean B. R.* and *Dutton E. J.* Radio Meteorology. New York, Dover Publications, 1968.

[24] *Kerr E.* Propagation of Short Radio Waves. New York, Dover Publications, 1965.

[25] *Fiechter M.* Richtstrahlverbindungen und Niederschläge. Berne, Direction générale des PTT, Division des recherches et du développement, Rapport VD 32.029 A du 27 mars 1974.

[26] *Reudink D. O.* and *Wazowicz M. F.* Some Propagation Experiments Relating Foliage Loss and Diffraction Loss at X-Band and UHF Frequencies. New York, IEEE Transactions on Communications, Com 21 (1973) 11, p. 1198...1206.

[27] *Sakowski K.* Ausbreitungsuntersuchungen bei einer 12-GHz-Rundstrahlung. Berlin, Nachrichtentechn. Zeitschrift (NTZ), 22 (1969) 3, S. 180...184.

[28] *CCIR.* Comité consultatif international des radiocommunications. Genève, XIIIe Assemblée plénière, 1974. Vol. XI, p. 174–205, Rapport 215-3.

[29] *Reinhardt E. E.* Orbit-Spectrum Sharing the between Fixed-Satellite and Broadcasting-Satellite Services with Applications to 12 GHz Domestic Systems. Prepared for the NASA, R-1463-NASA, May 1974, p. 29...51.

[30] *Goes O. W., Heinzelmann G.* and *Vogt K.* Sendernetzplanung für einen terrestrischen Fernsehrundfunk im Frequenzbereich 11,7–12,7 GHz. Hamburg, Rundfunktechn. Mitt., 12 (1968) 5, S. 202...211.

[31] Nombre des abonnés à la télévision par NPA et canton. Berne, Direction générale des PTT, CCE, Centre de calcul électronique, 1974.

[32] Dokumentation über Gemeinschaftsantennenanlagen mit Verteilleitungsnetzen. Beilage 9, Verzeichnis der Ortsantennenanlagen vom 31.12.1974. Wabern, Pro Radio-Television, 1975.

[33] *CCIR.* Comité consultatif international des radiocommunications. Genève, XIIIe Assemblée plénière, 1974. Vol. IX.

[34] *Heide W.* und *Kühn U.* Die Berücksichtigung örtlicher und zeitlicher Feldstärkeschwankungen im cm-Wellenbereich (12-GHz-Rundfunk). Berlin (DDR), Techn. Mitt. des RFZ, 18 (1974) 4, S. 89...95.

[35] *Feldmann J.* Combinations of centimetric wave radio communication systems and cable system for a new-type television coverage of large areas. Montreux, 9th international television symposium, 23–29 May, 1975.

[36] *Strauss T. M.* Application of Microwaves to local Distribution by CATV. Montreux, 9th international television symposium, 23–29 May, 1975.

[37] *Jäggi W.* Bald «Kabelfernsehen ohne Kabel». Tages-Anzeiger, 4.7.1975.

[38] *van der Scheer J.W.A.* A 12 GHz TV distribution system, using multiple program transmitters. Montreux, 9th international television symposium, 23–29 May, 1975.

[39] *Mertens H.* E.B.U. Studies on Broadcasting on 12 GHz from Satellites. Montreux, 9th television symposium, 23–29 May, 1975.