

<b>Zeitschrift:</b>	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
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe
<b>Band:</b>	32 (1954)
<b>Heft:</b>	6
<b>Artikel:</b>	Intensités de champ et angles d'incidence théoriques des fréquences de l'émetteur WWV à la station réceptrice de Châtonnaye
<b>Autor:</b>	Glinz, C.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-874477">https://doi.org/10.5169/seals-874477</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### 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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### 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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 24.01.2026

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

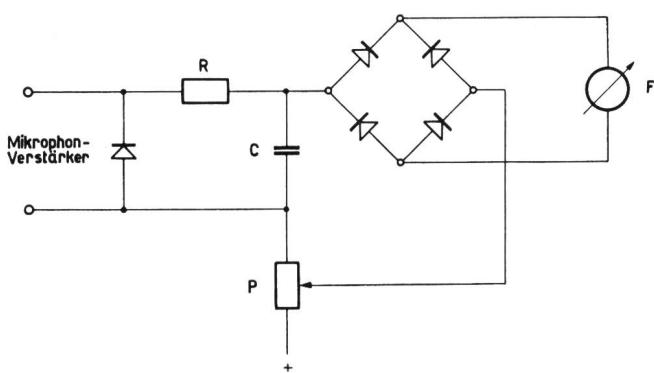


Fig. 3. Prinzipschaltbild der Anordnung zur momentanen elektrischen Auswertung der Richtungsdiffusitätsmessungen

kugel integriert dann das Fluxmeter F über den der Spannungsdifferenz zwischen R und P entsprechenden Strom, und sein Endausschlag nach beendeter Messung ist bei bekannter Integrationszeit unmittelbar ein Mass für die mittlere Abweichung M.

Damit ist auch bei diesem Verfahren die Messung mit einem minimalen Zeitaufwand möglich, und die Arbeit der Auswertung entfällt fast vollkommen. Selbstverständlich wird man in beiden Fällen die Richt- bzw. Frequenzdiagramme nebenher aufzeichnen, um, wenn später Einzelheiten interessieren, die Messungen nicht wiederholen zu müssen.

### Messungen

Mit den beschriebenen Verfahren wurde zunächst versuchsweise eine Reihe von Messungen sowohl der Frequenzgangschwankungen als auch der Richtungsdiffusität gemacht. Diese lediglich als Funktionsprüfungen gedachten Messungen zeigten das reibungslose Arbeiten der Apparaturen und ergaben eine gute Reproduzierbarkeit der Resultate. Zur Auswertung wurde in beiden Fällen das in Figur 1 beschriebene Verfahren angewandt. Die Frage, inwieweit dieses Verfahren, das ja auf die Frequenzgangschwankungen zugeschnitten ist, auch für die Beurteilung der Richtungsdiffusität brauchbare Ergebnisse liefert, kann erst beantwortet werden, wenn eine hinreichend grosse Zahl von Räumen verschiedenster Art auf diese Weise durchgemessen worden ist.

### Literatur

- [1] Bolt, R. H., und Roop, R. W., J. Acoust. Soc. Amer. **22** (1950), 280.
- [2] Furrer, W. und Lauber, A., Acustica **2** (1952), 251.
- [3] Wente, E. C., J. Acoust. Soc. Amer. **7** (1935), 123.
- [4] Kurtze, G., Techn. Mitt." PTT **32** (1954), 27.
- [5] Mason, W. P., Marshall, R. N., J. Acoust. Soc. Amer. **10** (1949), 206.
- [6] Thiele, R., Acustica **3** (1953), 291.

**Adresse des Verfassers:** Dr. Günther Kurtze, III. Physikal. Institut der Universität, Göttingen, Bürgerstr. 42.

## Intensités de champ et angles d'incidence théoriques des fréquences de l'émetteur WWV à la station réceptrice de Châtonnaye

Par C. Glinz, Genève

621.396.722.029.58(494)

**Résumé.** Les angles d'incidence des émissions sur 2,5 à 35 Mc./s de la station américaine WWV, à Beltsville, à la station réceptrice de Châtonnaye sont calculés selon les formules théoriques de la propagation des ondes. Contrairement à la méthode CRPL, on décompose l'onde d'espace en 2 bonds, 3 bonds etc., entre la terre et la couche ionosphérique  $F_2$ . On prend comme exemple les mois de décembre 1948 et de juin 1949, et les temps de Greenwich de 0300 et de 1500. On introduit différentes hauteurs de la couche  $F_2$  et on traite en détail la question des fréquences maxima utilisables. Les calculs tiennent compte des corrections dues aux diagrammes de rayonnement côté émetteur et côté récepteur (résultats expérimentaux de J. Dufour), ainsi que des niveaux de puissances différents. En combinant tous ces facteurs, on arrive à fournir les intensités de champ prévues pour des probabilités de 90%, de 50% et de 10%. La concordance des prévisions avec les observations décrites par W. Ebert est satisfaisante, lors de l'introduction nécessaire de diverses suppositions simplificatrices pour le calcul théorique.

### 1. Introduction

Les observations sur la réception des fréquences étalon de la station WWV à la station de Châtonnaye, faites entre février 1946 et juillet 1949, ont été exposées dans une étude très poussée de W. Ebert [1]. Le laboratoire de recherches et d'essais de la direction générale des PTT a procédé, sur la même question, à des mesures détaillées des diagrammes directifs d'antennes losanges et d'antennes rideau de cette station

réceptrice, en faisant appel à la collaboration de l'équipage d'un avion de l'Office fédéral suisse de l'air. Les résultats de ces mesures sont exposés et étudiés dans un rapport de J. Dufour [2], dont des extraits ont été publiés dans le Bulletin technique [3].

Ces observations, dont les résultats concordaient de manière satisfaisante avec les diagrammes directifs calculés, montrent quels sont, pour les différentes antennes, les angles d'incidence les plus favorables à donner une tension HF élevée aux bornes du récepteur. On sait que pour certains angles d'incidence les antennes losanges possèdent des lobes très prononcés, alors qu'elles sont presque indifférentes pour d'autres angles. En complément des deux rapports mentionnés ci-dessus, il nous a paru intéressant de rechercher, par procédé théorique sur la propagation des ondes, les angles d'incidence calculés des fréquences-étalon de WWV à Châtonnaye.

Relevons pour commencer qu'on a été obligé de faire intervenir dans les calculs un grand nombre de simplifications et d'hypothèses. Dans l'état actuel de la science, il n'est pas possible de déterminer exactement tous les facteurs actifs dans le rayonnement, la transmission par l'ionosphère et la réception, et d'en tenir compte dans le calcul. Il n'y aurait donc pas

lieu de s'étonner si la mesure pratique des angles d'incidence donnait des résultats différents. Les conditions rencontrées sur le trajet Beltsville-Châtonnaye pourraient conserver cependant leur valeur en tant que *modèle du mécanisme de transmission*.

## 2. Trajet

Les deux points terminaux du trajet ont les coordonnées géographiques suivantes :

Beltsville    38° 59' 33'' N    76° 50' 52'' W  
Châtonnaye    46° 45' 40'' N    6° 57' 20'' E

Les formules de la trigonométrie sphérique donnent la longueur de l'arc de grand cercle  $D$  entre les deux stations

$$D = 6550 \text{ km}$$

Depuis Beltsville, l'azimut est de 52° 40' 18'', depuis Châtonnaye de 293° 35' 10''.

D'après la méthode de calcul du Central Radio Propagation Laboratory américain (CRPL), il faut en outre choisir deux points de contrôle situés chacun à 2000 km de l'extrémité du trajet. Les coordonnées de ces deux points sont :

$P_1$ : 47° 58' N     $P_2$ : 51° 39' N  
55° 19' W              19° 44' W

De Beltsville, l'arc du grand cercle passe exactement au-dessus de Boston (700 km), de Terre-Neuve (2000 km, point de contrôle  $P_1$ ), de la pointe sud-ouest de l'Angleterre, au sud de Cherbourg et de Paris, au-dessus de Dijon, pour aboutir à Châtonnaye. Le point de contrôle  $P_2$  se trouve au-dessus de l'océan, 1000 km à l'ouest de la pointe sud-ouest de l'Angleterre.

Il serait certes intéressant de comparer les chiffres calculés et ceux qui résultent des observations avec les indications que fournissent les stations ionosphériques situées dans la même région et effectuant des sondages verticaux de l'ionosphère. Malheureusement le réseau de ces stations est encore assez tenu. En outre, il nous paraît risqué de reporter sans autre examen tous les chiffres concernant une station sur des points se trouvant en dehors d'un rayon de 500 km. Le plus utile serait des mesures verticales de l'état de l'ionosphère au-dessus des deux points de contrôle.  $P_1$  est situé au voisinage de la station de St-John's (Terre-Neuve); mais il n'a pas été possible d'en rassembler les observations pour les mois de décembre 1948 et juin 1949. On a utilisé en lieu et place les résultats fournis par la station de Boston. D'autre part, il nous est inutile de connaître l'état de l'ionosphère à 300 km au-dessus de Washington, car les fréquences-étalon de WWV sont émises à la hauteur du sol (0 km) par la station de Beltsville voisine de la capitale et n'atteignent l'ionosphère qu'à une distance de plusieurs centaines de kilomètres. Les stations de Slough (Angleterre), Bagneux (France) et Fribourg-en-Brisgau (Allemagne) sont également trop éloignées du trajet. Pour la station suisse de Schwarzenbourg, nous pouvons faire la même remarque

que pour Washington; de plus, elle n'était pas encore en service régulier à l'époque des observations. Pour la partie européenne du trajet, nous avons utilisé les mesures faites par la station française de Poitiers, distante de 600 km de Châtonnaye, dont les chiffres, comme ceux de Boston, peuvent être pris dans une publication mensuelle éditée par le CRPL [4].

## 3. Optique géométrique

Pour la présente étude, nous avons adopté, avec quelques exceptions importantes, la méthode de calcul du CRPL. Pour le rayon de la terre, nous avons pris  $R = 6367$  km. Le CRPL suppose, à une hauteur constante de 320 km, la couche  $F_2$  qui, en fonction de son ionisation, réfléchit comme le ferait un miroir métallique. L'onde ne pénétrerait pas dans la couche et ne subirait pas une réfraction continue. Comme l'ont montré diverses mesures, il est exact, grossièrement, que les ondes courtes, du fait des réflexions répétées qu'elles subissent, se propagent en rebondissant entre l'ionosphère et la terre. Les pertes par réflexion dans la couche  $F_2$  sont généralement négligées, alors que le CRPL admet une perte d'intensité de champ de 4 dB pour chaque réflexion à la surface mauvaise conductrice de la terre. Cette valeur serait très largement estimée. Pour les ondes courtes, les phénomènes de diffraction le long du sol n'entrent pas en considération; les *ondes de sol* qu'ils engendrent sont très fortement absorbées. L'influence de la troposphère ne se faisant sentir que pour des fréquences encore plus élevées, les *ondes d'espace* qui nous intéressent se propagent pratiquement en ligne droite entre la terre et l'ionosphère. Le CRPL néglige en outre l'effet de miroir concave du système ainsi que, pour les distances supérieures à 4000 km, les influences de la couche  $E$  à 105 km d'altitude (effet d'occultation, absorption sélective).

Une construction géométrique simple permet de trouver le rapport existant entre la distance couverte par un seul bond sur la couche  $F_2$  et les angles d'émission et d'incidence (angles entre la surface terrestre et la direction du rayonnement). Avec de grands angles d'émission, la distance franchie est petite, tandis que l'angle le plus petit possible, soit 0°, permet de franchir d'un seul bond sur la couche  $F_2$  la distance maximum de 4000 km environ.

Dans le cas de notre trajet, la distance entre émetteur et récepteur, mesurée sur l'arc de grand cercle, est de 6550 km. Un seul bond sur la couche  $F_2$  à la hauteur de 320 km ne peut pas suffire, puisqu'un angle d'émission négatif est exclu. Le trajet considéré peut cependant très bien être couvert en deux bonds de 3275 km chacun. Pour des raisons de symétrie, les angles d'émission et d'incidence sont égaux dans les deux bonds et mesurent tous 3° 23'. On peut aussi admettre trois bonds de 2183 km chacun avec des angles de 11° 9', ou tout autre nombre de bonds plus élevé.

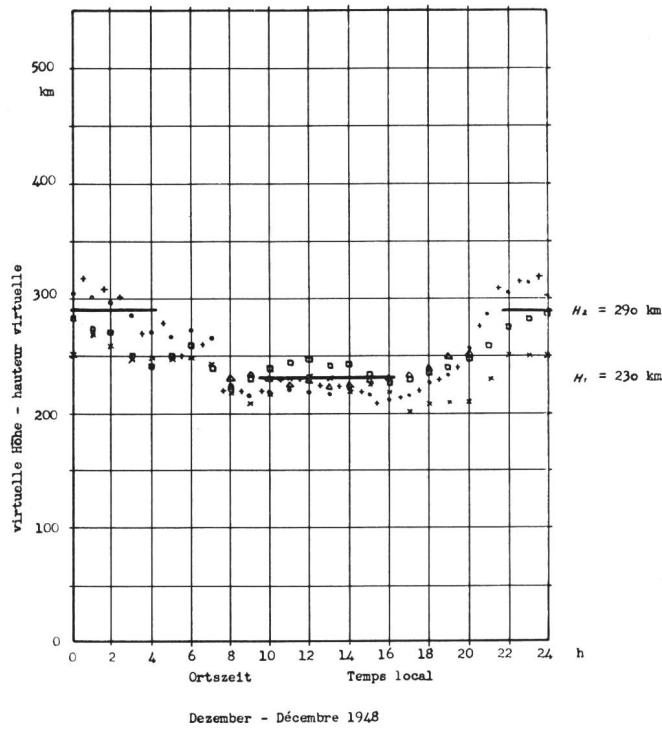
Si l'on dresse la construction géométrique en prenant en considération pour la couche  $F_2$  une hauteur

supérieure à 320 km, les angles ainsi que la distance maximum franchie avec l'angle d'émission  $0^\circ$  sont naturellement modifiés. Les figures 1 et 2 montrent les mesures des hauteurs virtuelles de la couche  $F_2$  pour les 6 stations de Bagneux, Boston, Fribourg, Poitiers, Slough et Washington, mesures qui diffèrent peu les unes des autres. La différence entre l'heure

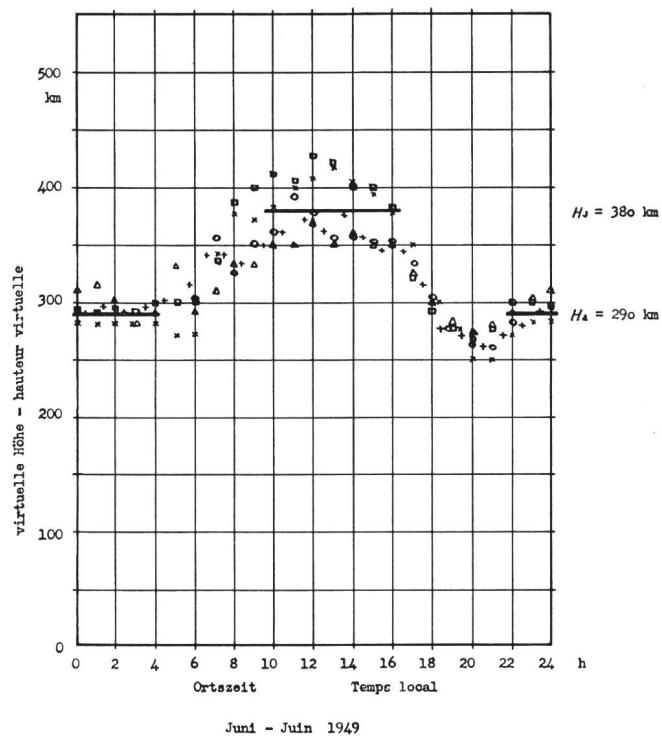
locale de l'émetteur et celle de la station réceptrice n'étant que de 5 h 35 min, on peut tirer les valeurs moyennes suivantes et les considérer dans le calcul comme valables pour tout le trajet:

**Tableau I:** Hauteurs de la couche  $F_2$

Décembre 1948	le jour	230 km = $H_1$
	la nuit	290 km = $H_2$
Juin 1949	le jour	380 km = $H_3$
	la nuit	290 km = $H_2$



Dezember - Décembre 1948



Juni - Juin 1949

Fig. 1 et 2. Mesures des hauteurs virtuelles de la couche  $F_2$  pour 6 stations d'observation de l'ionosphère

La transformation des hauteurs virtuelles en hauteurs réelles n'est pas nécessaire, car dans nos hypothèses les angles d'émission sont les mêmes pour les deux chemins de rayonnement. Les hauteurs indiquées nous permettent de calculer les angles pour quelques modes de transmission. Pour simplifier, nous avons, dans les tableaux suivants, remplacé par  $F$  la désignation  $F_2$ .

**Tableau II:** Angles d'émission et d'incidence pour différentes hauteurs de la couche  $F_2$

Mode de transmission	Longueur d'un bond sur l'arc de grand cercle	Angles d'émission et d'incidence pour une hauteur de la couche de			
		320 km CRPL	230 km déc. jour	290 km déc. + juin nuit	380 km juin jour
2 F	3275 km	3° 23'	0° 27'	2° 24'	5° 16'
3 F	2183	11° 9'	6° 46'	9° 38'	13° 44'
4 F	1638	17° 18'	11° 44'	15° 24'	20° 33'
5 F	1310	22° 41'	16° 4'	20° 27'	26° 26'
6 F	1092	27° 29'	20°	24° 58'	31° 35'
7 F	933	31° 40'	23° 44'	29° 11'	36° 13'
8 F	819	35° 27'	27° 2'	32° 51'	40° 10'

Les indications du *tableau II* ne nous permettent pas encore d'atteindre notre but, car nous devons premièrement vérifier si, pour chaque mode de transmission, l'intensité de champ est suffisante pour produire à la station réceptrice une déviation de l'aiguille de l'instrument de mesure. A cet effet, nous devons en premier lieu calculer l'itinéraire total couvert par chaque trajet d'onde (rebondissements) et déterminer la diminution de l'intensité de champ le long de ce chemin. Pour calculer la distance parcourue, nous utilisons la même construction géométrique que pour les angles. Le long de la distance parcourue  $r$ , l'intensité de champ libre, non absorbée, varie selon la formule des ondes sphériques, c'est-à-dire comme  $1/r$ . Il est plus pratique de se servir de l'échelle en décibels et de prendre comme intensité de champ de référence la valeur de 300 mV/m ou 109,5 dB par rapport à  $1\mu\text{V}/\text{m}$ . Cette intensité de champ est produite à une distance horizontale de 1 km par une courte antenne verticale sur sol idéal, lorsque la puissance rayonnée est de 1 kW. De ce niveau de référence,

il faut soustraire, outre le décrément pour la distance parcourue  $r$ , 4 dB pour chaque réflexion au sol ainsi que 4,6 dB pour les évanouissements dus à l'interférence et à la polarisation [5]. La distance parcourue augmente avec l'altitude de la couche, mais, l'échelle étant logarithmique, les différences en intensité sont beaucoup moins apparentes que pour les angles d'émission.

**Tableau III:** Intensité de champ libre, non absorbée, pour différentes hauteurs de la couche  $F_2$

Mode de transmission	Distance parcourue $r$ pour $H_2 = 290$ km	Intensité de champ $F_{1v}$ pour une hauteur de la couche de		
		230 km déc. jour	290 km déc. + juin nuit	380 km juin jour
		nuit		
2 F	6778 km	24,4 dB	24,3 dB	24,1 dB
3 F	6907	20,3	20,1	19,9
4 F	7082	16,1	15,9	15,5
5 F	7296	11,9	11,6	11,1
6 F	7548	7,7	7,3	6,7
7 F	7815	3,5	3,0	2,2
8 F	8149	-0,7	-1,3	-2,3

Le tableau III montre que les modes de transmission comprenant plusieurs bonds sont de plus en plus défavorisés, surtout en raison des pertes par réflexion au sol.

#### 4. Diagrammes directifs d'antennes et corrections de puissance

Les antennes émettrices ne rayonnant pas une énergie égale sous tous les angles et les antennes réceptrices ne captant pas non plus une énergie égale sous tous les angles, nous devons apporter aux valeurs du tableau III d'autres corrections, que nous extrayons des diagrammes directifs d'antennes.

La station émettrice de Beltsville, portant l'indicatif d'appel WWV et exploitée par le National Bureau of Standards des Etats-Unis, comprend huit émetteurs qui, outre des signaux horaires et des avis concernant les perturbations dans la propagation des ondes sur l'Atlantique nord, transmettent en permanence un programme de fréquences-étalon sur 2,5, 5, 10, 15, 20, 25, 30 et 35 MHz. D'après une obligeante information du CRPL, les antennes sont du type vertical; dans l'installation pour 2,5 MHz, l'antenne est en quart d'onde, tandis que pour toutes les autres fréquences elle est en demi-onde. La conductivité du sol dans la région de l'émetteur est estimée à une valeur moyenne entre «bon» et «mauvais», c'est-à-dire à  $4 \cdot 10^{-14}$  unités électromagnétiques.

En prenant la moyenne entre les deux diagrammes de rayonnement pour un sol bon et mauvais conducteur [6], on obtient les corrections à apporter côté émission pour les huit fréquences et tous les angles du tableau II. Au tableau IV, ces corrections sont données à titre d'exemple pour la hauteur de couche 290 km.

**Tabelle IV:** Richtdiagramm-Korrekturen für die Sendeseite

**Tableau IV:** Corrections relevées sur les diagrammes directifs pour le côté émission

Modus Mode de transmission	Winkel Angle (290 km)	Frequenz – Fréquence							
		2,5 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	35 MHz
2 F	2° 24'	-13,9 dB	-14,4 dB	-15,7 dB	-16,0 dB	-16,2 dB	-16,2 dB	-16,2 dB	-16,2 dB
3 F	9° 38'	-6,5	-6,4	-7,3	-7,3	-7,4	-7,4	-7,5	-7,5
4 F	15° 24'	-5,2	-5,2	-5,6	-5,6	-5,6	-5,6	-5,6	-5,6
5 F	20° 27'	-4,8	-5,1	-5,5	-5,5	-5,4	-5,4	-5,3	-5,3
6 F	24° 58'	-4,7	-5,7	-5,8	-5,7	-5,6	-5,5	-5,4	-5,3
7 F	29° 11'	-4,8	-6,5	-6,5	-6,3	-6,1	-6,0	-5,9	-5,8
8 F	32° 51'	-5,0	-7,3	-7,3	-7,1	-6,9	-6,8	-6,6	-6,4

Des corrections semblables peuvent être faites pour les deux autres hauteurs de couche et les angles correspondants suivant le tableau II. Si l'on réunit les indications des tableaux III et IV, on trouve l'intensité de champ *incidente* à Châtonnaye si l'on admet que les antennes de WWV sont alimentées chacune par 1 kW.

Pour les antennes réceptrices, nous prenons la moyenne des mesures obtenues par J. Dufour [2], [3] pour les antennes losanges I et III, les angles d'incidence réels pouvant être extraits de la figure 11 de [2]. On obtient une échelle commode en décibels par les transformations suivantes:

pour 5, 25 et 30 MHz:

$$100 \text{ mm} \hat{=} 2000 \mu\text{V} \hat{=} 600 \frac{\text{mV}}{\text{m}} \hat{=} + 6 \text{ dB}$$

pour 10, 15, et 20 MHz:

$$100 \text{ mm} \hat{=} 4000 \mu\text{V} \hat{=} 1200 \frac{\text{mV}}{\text{m}} \hat{=} + 12 \text{ dB}$$

Quant à la position et la valeur des maxima, les diagrammes directifs trouvés concordent bien avec les indications relatives à l'antenne standard américaine «Rhombic Antenna Type E» [6], compte tenu des dimensions géométriques:

	<i>Châtonnaye</i>	<i>Losange type E</i>
Longueur des côtés du losange . . . . .	84,2 m	82,5 m
Ouverture de l'angle du losange . . . . .	63° 30'	65°
Hauteur moyenne au-dessus du sol . . . . .	20 m	16 m

Le tableau V indique, aussi à titre d'exemple pour

la hauteur de 290 km de la couche F<sub>2</sub>, les corrections à faire pour Châtonnaye.

Pour la fréquence de 2,5 MHz, nous prenons les chiffres se rapportant à l'antenne standard type E; pour 35 MHz, nous utilisons tout simplement ceux qui correspondent à 30 MHz. Comme, selon les observations de W. Ebert [1], la fréquence de 35 MHz n'est reçue que très rarement, la faute commise ainsi n'a qu'une faible importance.

Tabelle V: Richtdiagramm-Korrekturen für die Empfangsseite

Tableau V: Corrections relevées sur les diagrammes directifs pour le côté réception

Modus Mode de transmission	Winkel Angle	Frequenz – Fréquence					
		5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz
2 F	20° 24'	—28 dB	—22 dB	+ 7,3 dB	+ 10,1 dB	—0,9 dB	—14 dB
3 F	90° 38'	— 7,1	+ 8,7	+ 11,3	+ 12,4	+ 0,8	— 5,7
4 F	150° 24'	— 2,4	+ 9,2	+ 11,2	+ 8,7	— 4,5	— 7,1
5 F	200° 27'	+ 0,4	+ 8,7	+ 9,0	+ 3,7	— 4,5	+ 2,9
6 F	240° 58'	+ 2,7	+ 8,0	+ 1,6	— 2,8	+ 4,8	+ 0,7
7 F	290° 11'	+ 4,2	+ 6,4	+ 0,4	— 2,0	+ 7,1	— 5,4
8 F	320° 51'	+ 5,1	+ 4,1	— 3,9	+ 11,4	+ 3,4	— 4,5

En réalité, les puissances fournies aux antennes ne sont pas exactement de 1 kW, aussi devons-nous faire encore une autre correction. Suivant la communication déjà citée du CRPL, il faut appliquer pour la période d'observations considérée les valeurs du tableau VI. Nous avons choisi le niveau de référence: 1 kW ≡ 0 dB.

Tableau VI: Puissances pour les différentes fréquences

Fréquence	Puissance	Niveau
2,5 MHz	0,7 kW	— 1,5 dB
5	8	+ 9
10	9	+ 9,5
15	8	+ 9
20	8,5	+ 9,3
25	0,1	—10
30	0,1	—10
35	0,1	—10

Pour déterminer l'intensité de champ probable à la station réceptrice, il faut ajouter toutes ces corrections aux chiffres du tableau III. Le résultat (tableau VII) peut être admis comme valable, à la condition que la couche F<sub>2</sub> réfléchisse réellement toutes les fréquences comme si elle était un miroir métallique, et que les couches inférieures de l'ionosphère (E et D) n'affaiblissent pas les rayons qui les traversent.

## 5. Deux conditions dictant le choix des fréquences

La réception d'une fréquence donnée avec l'un ou l'autre mode de transmission (et avec l'angle d'incidence correspondant) dépend de deux conditions:

1. La couche réfléchissante F<sub>2</sub> doit, à tous les points géométriques de réflexion, être suffisamment ionisée pour empêcher le rayon de sortir du système constitué par la terre et l'ionosphère.
2. La couche absorbante D ne doit pas trop affaiblir l'onde afin que son intensité de champ ne tombe pas au-dessous du niveau des atmosphériques ou du bruit de fond du récepteur.

Pour simplifier, nous n'avons pas pris en considération les influences exercées par la région E, qui constituerait une troisième condition pour le choix des fréquences.

Les conditions de réflexion peuvent être déterminées d'après les familles de courbes de MUF (maximum usable frequency). On désigne par l'abréviation MUF la valeur médiane de la fréquence la plus élevée réfléchie par une ionisation donnée. La MUF dépend en premier lieu de la distance à franchir, puis de l'heure et de la saison, du nombre relatif des taches solaires et de la position géographique et géomagnétique. Si l'on considère les autres paramètres comme fixes, la MUF croît avec la distance. Nous voyons par notre construction géométrique que l'angle d'émission diminue lorsque la distance augmente et qu'en même temps l'onde atteint l'ionosphère sous un angle toujours plus ouvert. Il s'ensuit que des fréquences toujours plus élevées sont réfléchies, bien que la densité des électrons reste constante. La MUF atteint son maximum avec l'angle d'émission 0°, c'est-à-dire pour une distance de près de 4000 km (la hauteur de la couche F<sub>2</sub> étant de 320 km). D'autre part, on trouve la MUF la plus petite dans les sondages par écho verticaux, pour lesquels l'angle d'émission est de 90° et la distance de 0 km. En d'autres termes, un chan-

Tabelle VII: Zu erwartende, nichtabsorbierende Feldstärke – Tableau VII: Intensité de champ non absorbée probable

Modus Mode de trans- mission	Zeit – temps	2,5 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	35 MHz
2 F	Nacht – Nuit	—21 dB	—9,1 dB	— 3,9 dB	24,6 dB	27,5 dB	— 2,8 dB	—15,9 dB	—15,9 dB
	Wintertag – jour d'hiver	Keine Übertragung, da Abgangswinkel $0^{\circ} 27'$ zu klein – pas de transmission, angle d'émission $0^{\circ} 27'$ trop faible							
	Sommertag – jour d'été	—17	6,7	30,4	34,1	34,4	3,4	— 3,4	— 3,4
3 F	Nacht – nuit	—16	15,6	31,0	33,1	34,4	3,5	— 3,1	— 3,1
	Wintertag – jour d'hiver	—19	7,2	28,6	31,1	32,4	1,2	— 5,1	— 5,2
	Sommertag – jour d'été	—11,5	20,2	32,7	34,5	33,2	— 0,5	— 4,0	— 4,0
4 F	Nacht – nuit	—13,3	17,3	29,0	30,5	28,3	— 4,2	— 6,8	— 6,8
	Wintertag – jour d'hiver	—17,3	14,0	28,2	28,5	30,4	1,0	— 7,0	— 7,0
	Sommertag – jour d'été	— 9,3	19,8	28,2	28,0	23,1	— 4,4	3,1	3,1
5 F	Nacht – nuit	—13,2	15,9	24,3	24,1	19,2	— 8,3	— 0,8	— 0,8
	Wintertag – jour d'hiver	—16,2	13,8	25,0	26,4	23,9	— 8,2	— 9,1	— 9,1
	Sommertag – jour d'été	— 8,9	17,3	22,2	6,3	6,7	1,7	— 5,3	— 5,2
6 F	Nacht – nuit	—13,7	13,3	19,0	12,2	8,2	— 3,4	— 7,4	— 7,3
	Wintertag – jour d'hiver	—17,1	11,8	20,4	20,5	15,7	—12,2	— 5,5	— 5,5
	Sommertag – jour d'été	—10,7	13,6	14,5	7,8	17,8	— 4,8	—15,3	—15,2
7 F	Nacht – nuit	—15,3	9,7	12,4	6,1	4,2	— 5,9	—18,3	—18,2
	Wintertag – jour d'hiver	—18,7	9,1	15,5	12,9	6,2	— 8,2	— 9,5	— 9,4
	Sommertag – jour d'été	—14,1	8,0	1,6	1,3	15,7	—19,9	—18,2	—18,1
8 F	Nacht – nuit	—18,8	5,5	5,0	— 3,3	12,5	—14,7	—22,4	—22,2
	Wintertag – jour d'hiver	—19,9	5,8	9,4	3,1	—11,2	— 9,2	—18,9	—18,8
	Sommertag – jour d'été	—17,8	2,0	—10,1	— 0,7	6,3	—27,0	—20,9	—20,8

gement de sens d'un rayonnement vertical exige un pouvoir réfléchissant plus grand qu'un faible changement de direction dans le cas d'une incidence presque horizontale. La même densité donnée des électrons peut, par exemple pour une incidence verticale (0 km), réfléchir des fréquences allant jusqu'à 10 MHz, et pour une incidence quasi-horizontale (4000 km) des fréquences s'élevant jusqu'à 30 MHz.

Se fondant sur les résultats de leurs mesures, de nombreuses organisations donnent régulièrement des prévisions de la MUF pour certaines liaisons ou pour le monde entier. Les plus connues de ces publications sont les «Basic Radio Propagation Predictions» du CRPL [7]. Pour des distances supérieures à 4000 km, il suffit, d'après cette méthode, de déterminer les MUF aux deux points de contrôle (situés chacun à 2000 km des extrémités du trajet) et de choisir la valeur la moins favorable, qui s'applique à la liaison entière. Dans notre exemple, il faut tenir compte du fait que le point de contrôle  $P_1$  se trouve dans la zone géomagnétique W et le point  $P_2$  dans la zone I. Les courbes de MUF calculées selon la méthode CRPL (*sans* tenir compte des effets des couches E et  $E_s$ ) pour les mois de décembre 1948 et de juin

1949 sont reproduites aux figures 3 et 4. Cette méthode, de même que le calcul de l'intensité de champ pour les longues distances, présente des avantages incontestables, notamment celui de fournir de manière simple et en peu de temps des courbes et des chiffres raisonnables. Elle a cependant des inconvénients non négligeables, du fait que les bases primitives ne reposent que sur des connaissances et des formules empiriques. Des études sont actuellement en cours afin de supprimer les discontinuités qui se remarquent au passage d'une zone ionosphérique à l'autre. Plus important nous paraît encore le remplacement de la méthode des points de contrôle par une autre qui donnerait la MUF pour *chaque point de réflexion de chaque mode de transmission*.

Cette méthode de calcul plutôt analytique a été décrite par K. Rawer [8] et sert de base aux prévisions du SPIM (Service des Prévisions Ionosphériques Militaire). Si nous examinons par exemple le mode de transmission 4 F<sub>2</sub> du trajet, nous constatons que les quatre points de réflexion ionosphérique se trouvent à des distances de 819, 2457, 4094 et 5731 km de Beltsville. Du fait de la différence de l'heure locale de ces quatre points, l'ionisation n'est pas la même

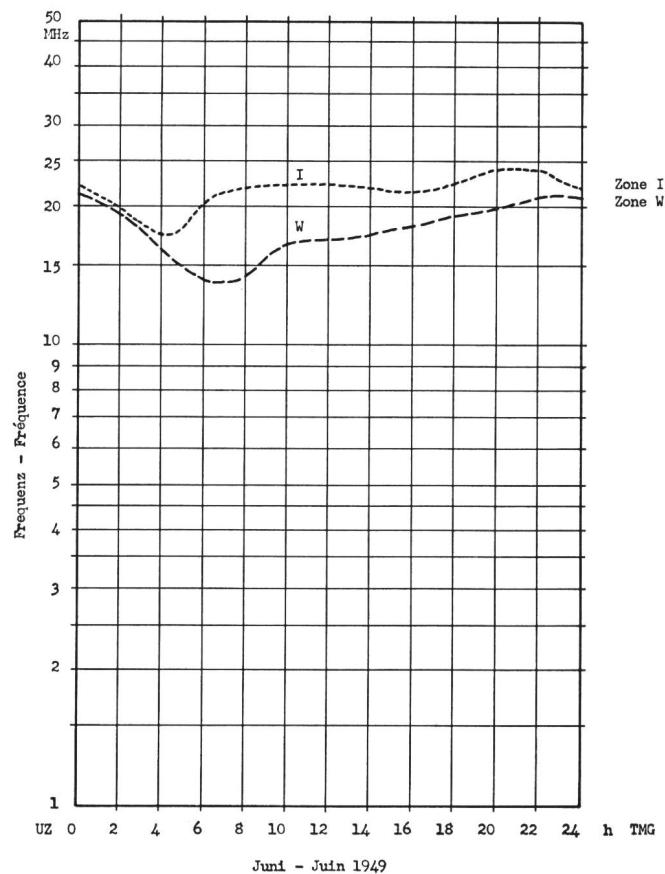
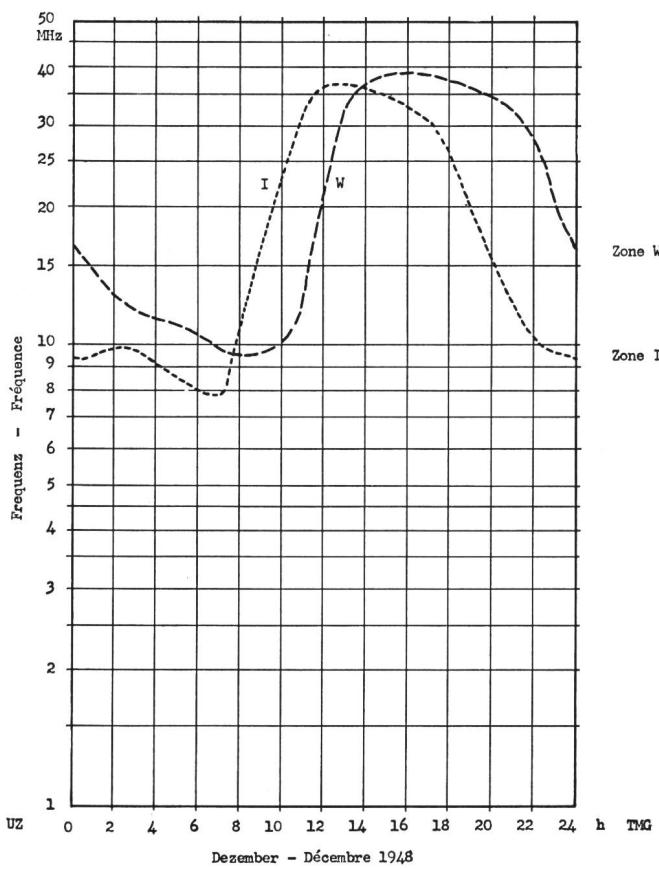


Fig. 3 et 4. Courbes MUF selon la méthode CRPL, compte non tenu des couches E et Es

partout, ni par conséquent la MUF. Il est évident que c'est la plus basse des quatre valeurs de MUF qui régit la transmission sur l'ensemble du parcours. Une fréquence plus élevée que cette valeur minimum quitterait le système à l'un des points de réflexion et n'atteindrait pas le récepteur.

On peut aussi, à défaut, utiliser comme cartes d'ionisation pour ce calcul analytique les nomogrammes de prévisions du CRPL [7]. On dessine le trajet de la manière habituelle sur un papier transparent. On peut couper aux deux extrémités les 500 premiers km, qui n'entrent pas en considération pour les points de réflexion ionosphérique. On marque en outre la limite entre la zone W et la zone I. Le transparent est ensuite posé sur la carte MUF - 4000 km d'une des zones. On ne détermine plus alors la MUF du point de contrôle en fonction de l'heure, mais on relève pour toutes les heures ou toutes les deux heures la MUF *la plus basse* que l'on trouve en un point quelconque de la partie examinée du trajet. La valeur la plus basse trouvée sur les tableaux relatifs aux deux zones est considérée comme valable pour tout le parcours. Les figures 5 et 6 donnent une comparaison entre l'application stricte de la méthode des points de contrôle selon le CRPL et notre méthode provisoire basée sur le SPIM. En décembre 1948, les valeurs trouvées avec cette nouvelle méthode, pour l'après-midi en particulier, sont notamment inférieures. On trouve, par exemple, à 18 heures (temps

moyen de Greenwich) sur la courbe 4000 km la valeur de 19 MHz au lieu de 26 MHz. En juin 1949, par contre, les valeurs de nuit sont inférieures aux chiffres que donne la méthode des points de contrôle, chiffres qui dans ce cas proviennent de la zone W pour les 24 heures de la journée.

La courbe correspondante pour une distance de 0 km peut être déterminée de la même manière. Mais ce qui nous intéresse principalement, ce n'est pas la valeur de la MUF pour 4000 km ou pour 0 km, c'est celle qui se rapporte aux différents modes de transmission 2, 3, ... 8 F<sub>2</sub> avec leurs distances correspondantes de 3275, 2183, ... 819 km (*tableau II*). On peut trouver ces valeurs intermédiaires sur le nomogramme de la figure 6.17 de [5]. Elles sont reproduites sur les figures 7 et 8. Ces deux figures indiquent clairement quelles sont les fréquences maxima utilisables pour les différents modes de transmission. A titre d'exemple, voir au *tableau VIII* les valeurs extraites de la figure 7.

Tableau VIII: MUF pour décembre 1948, 3 heures TMG

2 F	MUF = 9,2 MHz
3 F	= 7,7
4 F	= 6,5
5 F	= 5,7
6 F	= 5,1
7 F	= 4,7
8 F	= 4,5

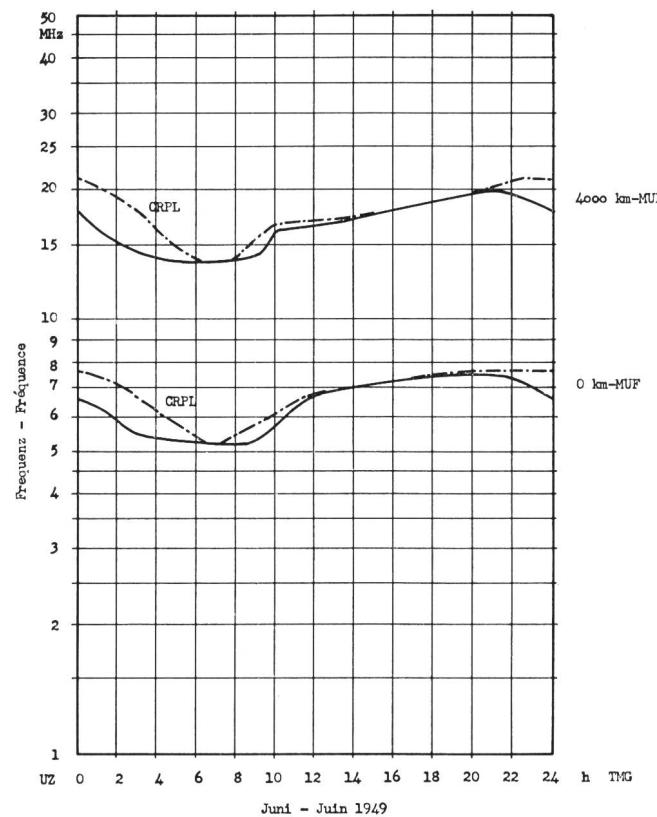
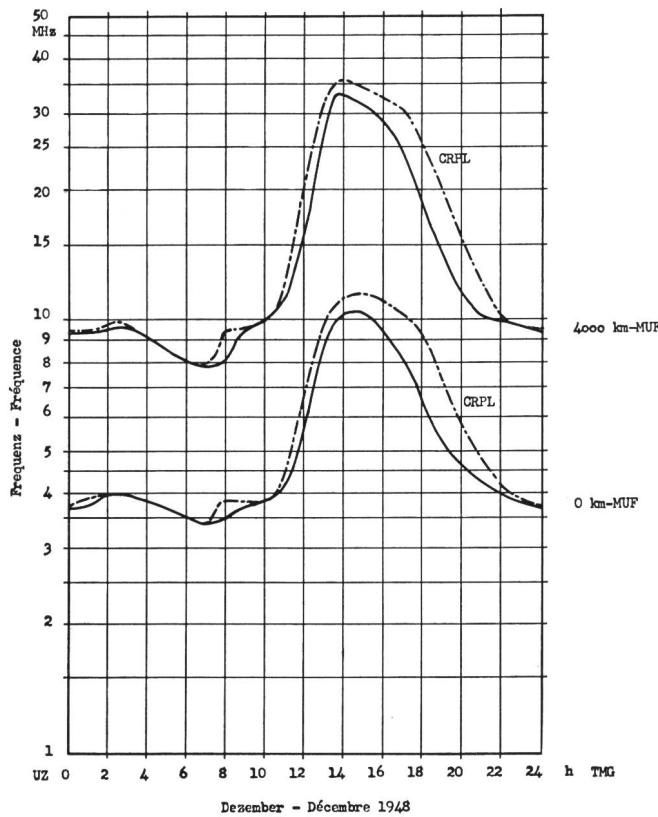


Fig. 5 et 6. Comparaison des courbes MUF selon le CRPL et selon une méthode simplifiée apparentée à celle du SPIM

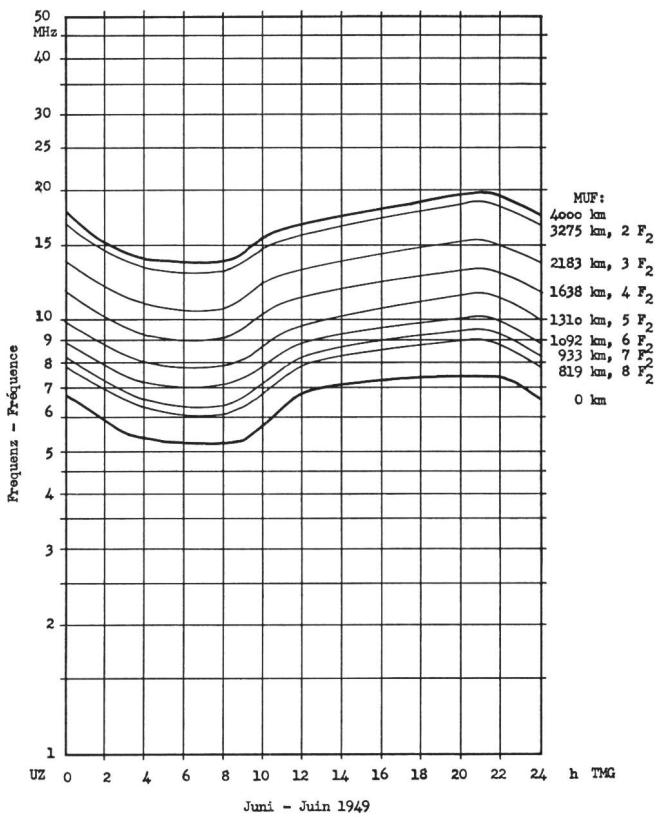
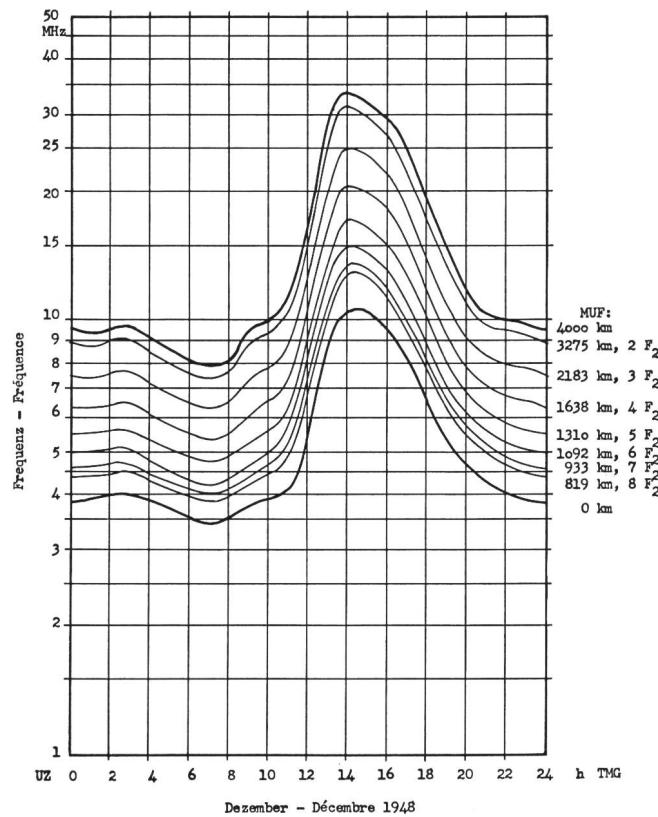


Fig. 7 et 8. Courbes MUF pour les modes 2...8  $F_2$  entre Beltsville et Châtonnay

Il est intéressant de comparer les prévisions pour le trajet Beltsville-Châtonnaye avec les observations verticales de la MUF (MUF-ZERO ou fréquence critique  $f_{crit}$ ) des stations de Boston et de Poitiers. Après quelques transformations, on obtient des courbes expérimentales pour 0 et 3000 km, qui montrent une bonne concordance avec les prévisions, tandis que les nombres des taches solaires diffèrent quelque peu.

**Tableau IX:** Nombres relatifs des taches solaires, prévisions et observations

	Déc. 1948	Juin 1949
Moyenne arithmétique mensuelle $\bar{R}$		
Prévision . . . . .	—	—
Observation . . . . .	138	121
Moyenne glissante de douze mois $\bar{R}$		
Prévision . . . . .	114	108
Observation . . . . .	139	136

Pour les fréquences, les écarts ne dépassent pas  $\pm 20\%$ , ce qui ne devrait pas paraître exagéré si l'on tient compte d'autres influences inconnues s'exerçant sur la propagation des ondes.

Les données relatives à l'absorption sont prises du chapitre 7 de «Ionospheric Radio Propagation» [5]. Les nomogrammes ne donnent que l'absorption totale, car, pour les grandes distances, le CRPL ne connaît pas la décomposition en modes  $2F_2$ ,  $3F_2$ , etc. Cependant, pour ces distances, on peut prendre, avec une approximation suffisante, la même valeur d'absorption, quel que soit le mode de transmission. Le rayon du mode  $3F_2$  traverse six fois la couche absorbante D, en revanche les parties qui se trouvent à l'intérieur de la couche D sont plus courtes, l'angle d'émission étant plus grand. Avec le rayon du mode  $2F_2$ , la couche D n'est traversée que 4 fois, mais les parties exposées à l'absorption sont plus longues. On peut calculer la longueur de ces parties en prenant la valeur de la sécante. On constate que le produit de la longueur de la partie exposée à l'absorption par le nombre de traversées reste pratiquement constant, ainsi que l'absorption totale pour chaque mode de transmission.

Comme il est tout à fait impossible de calculer dans un délai raisonnable, pour 24 heures et pour toutes les fréquences, l'intensité de champ théorique pour une période s'étendant sur plusieurs années, on a pris comme exemple deux mois et deux heures du jour, soit les mois de décembre 1948 et juin 1949 et les temps de 3 heures et 15 heures (temps moyen de Greenwich TMG), pour lesquels on possédait les observations complètes. En raison de la différence des longitudes, nous obtenons les heures locales suivantes:

**Tableau X:** Heures locales

	N	T
Beltsville 77° W	2153	0953
Greenwich 0°	0300	1500 (TMG)
Châtonnaye 7° E	0328	1528
méridien 15° E	0400	1600 (HEC)

La différence entre les heures locales de la station émettrice et de la station réceptrice est de 5 h 35 min. Dans le *tableau X*, la colonne N se rapporte aux heures où le trajet est tout entier dans l'obscurité (tout au moins au sol) et la colonne T aux heures où le trajet est éclairé. Un calcul exact montre que l'heure d'absorption minimum est 0200 TMG; en juin 1949, les fréquences les plus basses étaient ainsi de nouveau faiblement absorbées à 0300 heures.

A l'aide de différents nomogrammes donnés au chapitre 7 de l'ouvrage [5], nous trouvons pour l'absorption les valeurs caractéristiques que nous n'étudierons pas davantage (*tableau XI*):

**Tableau XI:** Valeurs caractéristiques pour l'absorption à 1500 TMG

	Décembre 1948	Juin 1949
$K_1$	0,42	0,87
$K_2$	0,22	0,73
$K_1 + K_2$	0,64	1,60
$D'$	6,55	6,55
$Kd$	2,2	5,7
$J$	1,3	1,0
$R$	139	136
$Q$	1,695	1,68
$Ad$	4,85	9,6

Les valeurs définitives de l'absorption pour les différentes fréquences sont données au *tableau XII*.

**Tableau XII:** Valeurs de l'absorption

Fréquence	Décembre 1948		Juin 1949	
	0300 TMG	1500 TMG	0300 TMG	1500 TMG
2,5 MHz	0 dB	125 dB	8 dB	225 dB
5	0	115	1,5	175
10	0	29,5	0	58,5
15	0	13,5	0	27,5
20	0	8	0	16
25	0	5	0	10
30	0	3,5	0	7
35	0	2,5	0	5

## 6. Résultats théoriques pour chaque fréquence

Nous pouvons encore pousser nos recherches un peu plus loin. Il est convenu généralement qu'il faut entendre par le terme de MUF, employé jusqu'ici dans notre texte et aux figures 3 à 8, la *valeur médiane*. Nos indications relatives à l'intensité de champ sont également des valeurs médianes. L'expérience démontre que les phénomènes ionosphériques sont décrits par des lois statistiques et que les résultats des mesures sont toujours dispersés dans une certaine zone. Des exemples évidents de ces variations quotidiennes sont donnés par les observations de *W. Ebert* (fig. 4 à 7 de [1]). Il est utile par conséquent de rechercher aussi la largeur de cette zone de dispersion.

On définit comme valeur médiane la valeur qui est dépassée par 50 % des mesures (ou pendant 50 % du temps). Si par exemple nous choisissons à la figure 7 une MUF de 10 MHz, ce chiffre signifie que les valeurs mesurées pendant 15 jours quelconques du mois de décembre 1948 sont égales ou supérieures à 10 MHz; pendant 15 autres jours égales ou inférieures à 10 MHz. Si nous retenons cette valeur médiane de la MUF de 10 MHz et si nous examinons trois fréquences de travail différentes, nous pouvons indiquer trois valeurs de la probabilité  $W$  de réflexion dans l'ionosphère.

Si nous prenons la fréquence de travail  $f_1$  égale à la MUF, la probabilité  $W$  de réflexion est de 50 %, car la MUF mesurée quotidiennement est, en raison de la dispersion, pendant 15 jours supérieure à 10 MHz:

$$f_1 = \text{MUF}, \quad W = 50\%$$

Prenons maintenant la fréquence de travail  $f_2$  égale à 85 % de la MUF: la probabilité de réflexion s'élève, dans l'hypothèse d'une répartition normale, à 90 %:

$$f_2 = 0,85 \text{ MUF} = \text{FOT}, \quad W = 90\%$$

La MUF n'est ainsi que pendant 3 jours environ inférieure à 8,5 MHz. On peut donc admettre comme règle simplifiée, pour la pratique des liaisons sans fil, de ne pas utiliser la MUF, mais plutôt la fréquence optimum de travail (FOT) de 15 % plus faible. Il n'est pas indiqué d'abaisser davantage la fréquence de travail, car l'absorption se fait sentir de plus en plus, bien que la probabilité de réflexion soit de près de 100 %.

Si nous choisissons en revanche une fréquence de travail  $f_3$  égale à 115 % de la MUF, la probabilité de réflexion descend à 10 %, c'est-à-dire que la MUF est pendant 3 jours seulement assez élevée pour que la fréquence  $f_3$  soit aussi réfléchie:

$$f_3 = 1,15 \text{ MUF} = \text{UDF}, \quad W = 10\%$$

Contrairement à la FOT, cette fréquence de 15 % plus élevée que la MUF n'a guère été prise en considération jusqu'ici dans la pratique. Elle n'apparaît du reste que dans certains cas, par exemple lorsqu'on étudie l'interférence nuisible de deux émetteurs sur la même fréquence. C'est pour cette raison qu'elle n'a pas encore de nom généralement admis. On pourrait la désigner par le terme de *décile supérieur*, par rapport à la valeur médiane du calcul de probabilité. Dans une discussion avec M. N. H. Roberts, membre de l'IFRB, il a été convenu d'adopter provisoirement la désignation UDF = Upper Decile Frequency. La FOT représenterait alors le *décile inférieur*.

Dans le tableau XIII sont indiquées non seulement les valeurs médianes, mais aussi les deux déciles extrêmes. Pour la réflexion, on trouve facilement ces chiffres en augmentant ou en diminuant la MUF de 15 %. Ainsi, pour décembre 1948, 0300 TMG, et pour le mode de transmission 8 F<sub>2</sub>, on trouve une UDF de  $1,15 \cdot 4,5 = 5,2$  MHz; pour le mode 2 F<sub>2</sub> à la même heure la valeur: UDF = 10,8 MHz. Pour juin 1949, 1500 TMG, ces valeurs sont: UDF (6 F<sub>2</sub>) = 10,8 MHz,

UDF (7 F<sub>2</sub>) = 10,1 MHz, UDF (8 F<sub>2</sub>) = 9,7 MHz. L'absorption est également soumise à des variations obéissant à certaines lois. Mais ici les conditions de dispersion ne sont pas aussi bien connues, et nous ne les étudierons pas plus en détail. A l'aide de la *courbe de répartition de Rayleigh* (fig. 3.11 de [5]), nous chercherons cependant à obtenir quelques idées des valeurs de l'intensité de champ pour  $W = 90\%$  et  $W = 10\%$ . Il ressort de cette courbe:

$$F_{90} = 0,4 F_{50}, \text{ le niveau est de } 8 \text{ dB plus bas}$$

$$F_{10} = 1,8 F_{50}, \text{ le niveau est de } 5 \text{ dB plus élevé.}$$

Après avoir discuté tous les facteurs entrant en considération, nous pouvons les réunir en un tout et atteindre ainsi notre but, qui est de déterminer l'intensité de champ théorique et les angles d'incidence correspondants. Partant du *tableau VII*, nous recherchons d'abord, à l'aide des figures 7 et 8, séparément pour les quatre conditions énoncées: nuit, jour, hiver, été, combien de modes de transmission entrent réellement en ligne de compte ( $W = 90\%$  ou FOT,  $W = 50\%$  ou MUF,  $W = 10\%$  ou UDF). Les composantes du champ total étant indépendantes les unes des autres, on doit les additionner *géométriquement*. Il faut déduire de la somme géométrique les valeurs de l'absorption selon le *tableau XII*, puis ajouter pour  $W = 10\%$  et  $90\%$  les corrections données par Rayleigh. Il y a lieu de faire remarquer que pour décembre 1948, 1500 TMG, la transmission ne peut pas avoir lieu selon le mode 2 F<sub>2</sub>, même si la MUF le permet. En raison de la faible altitude de la couche F<sub>2</sub> (230 km), l'angle d'émission est de 0° 27' et aucun rayonnement appréciable ne peut se produire. Dans le *tableau XIII* les intensités de champ inférieures à -20 dB sont remplacées par le signe x, car elles ne jouent pratiquement aucun rôle. Le même signe a été employé également dans le cas où l'ionisation est trop faible pour réfléchir une fréquence donnée.

Nous pouvons, à l'aide du *tableau XIII*, déterminer également les angles d'incidence les plus intéressants pour les différentes fréquences, en cherchant les composantes qui présentent les valeurs les plus élevées de l'intensité de champ. Ce faisant, nous ne devons pas oublier que, du fait du diagramme directif des antennes réceptrices losanges, certaines composantes sont, sous certains angles, fortement favorisées. Le rang selon l'importance pourrait être sensiblement différent si l'on employait une autre antenne. Pour comparer, nous calculons dans un autre tableau les composantes *incidentes* les plus intéressantes de l'intensité de champ, en éliminant de nouveau les corrections pour l'antenne réceptrice (*tableau V*), c'est-à-dire en supposant que cette antenne ait une sensibilité égale dans toutes les directions. Les *tableaux XIV* et *XV* donnent, pour nos quatre conditions, les deux angles auxquels correspondent les deux plus fortes intensités de champ. Les angles indiqués entre parenthèses ne se rapportent qu'au décile supérieur.

**Tabelle XIII:** Theoretisch zu erwartende Feldstärke – **Tableau XIII:** Intensité de champ théorique

Frequenz Fréquence	Monat Mois	Universal- zeit Temps TMG	Wahrschein- lichkeit $W$ Probabi- lité $W$	Reflexion Réflexion	Geometrische Summe Somme géométrique	Korrektur n. Rayleigh Correction sel. Rayleigh	Absorption	Feldstärke Intensité de champ
2,5 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	2...8 F	— 6,7 dB	— 8 dB	0 dB	— 14,7 dB
			50%	2...8 F	— 6,7	0	0	— 6,7
			10%	2...8 F	— 6,7	+5	0	— 1,7
	Juni – juin 49	0300	90%	2...8 F	— 6,7	— 8	— 8	x
			50%	2...8 F	— 6,7	0	— 8	— 14,7
			10%	2...8 F	— 6,7	+5	— 8	— 9,7
	Dez. – déc. 48	1500	90%	3...8 F	— 10	— 8	— 125	x
			50%	3...8 F	— 10	0	— 125	x
			10%	3...8 F	— 10	+5	— 125	x
	Juni – juin 49	1500	90%	2...8 F	— 3,2	— 8	— 225	x
			50%	2...8 F	— 3,2	0	— 225	x
			10%	2...8 F	— 3,2	+5	— 225	x
5 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	2...4 F	19,5	— 8	0	11,5
			50%	2...6 F	21,8	0	0	21,8
			10%	2...8 F	22,2	+5	0	27,2
	Juni – juin 49	0300	90%	2...8 F	22,2	— 8	— 1,5	12,7
			50%	2...8 F	22,2	0	— 1,5	20,7
			10%	2...8 F	22,2	+5	— 1,5	25,7
	Dez. – déc. 48	1500	90%	3...8 F	19,1	— 8	— 115	x
			50%	3...8 F	19,1	0	— 115	x
			10%	3...8 F	19,1	+5	— 115	x
	Juni – juin 49	1500	90%	2...8 F	24,6	— 8	— 175	x
			50%	2...8 F	24,6	0	— 175	x
			10%	2...8 F	24,6	+5	— 175	x
10 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	keine – aucune	x	— 8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	2 F	— 3,9	+5	0	1,1
	Juni – juin 49	0300	90%	2 F	— 3,9	— 8	0	— 11,9
			50%	2...3 F	31,0	0	0	31,0
			10%	2...4 F	33,1	+5	0	38,1
	Dez. – déc. 48	1500	90%	3...8 F	32,7	— 8	— 29,5	— 4,8
			50%	3...8 F	32,7	0	— 29,5	3,2
			10%	3...8 F	32,7	+5	— 29,5	8,2
	Juni – juin 49	1500	90%	2...4 F	35,6	— 8	— 58,5	x
			50%	2...5 F	35,8	0	— 58,5	x
			10%	2...7 F	35,8	+5	— 58,5	x
15 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	keine – aucune	x	— 8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Juni – juin 49	0300	90%	keine – aucune	x	— 8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	2 F	24,6	+5	0	29,6
	Dez. – déc. 48	1500	90%	3...4 F	33,0	— 8	— 13,5	11,5
			50%	3...5 F	33,9	0	— 13,5	20,4
			10%	3...7 F	34,1	+5	— 13,5	25,6
	Juni – juin 49	1500	90%	keine – aucune	x	— 8	— 27,5	x
			50%	2 F	34,1	0	— 27,5	6,6
			10%	2...3 F	37,3	+5	— 27,5	14,8

Tabelle XIII (Fortsetzung)

Tableau XIII (suite)

Frequenz Fréquence	Monat Mois	Universal- zeit Temps TMG	Wahrschein- lichkeit $W$ Proba- bilité $W$	Reflexion Réflexion	Geometrische Summe Somme géométrique	Korrektur n. Rayleigh Correction sel. Rayleigh	Absorption	Feldstärke Intensité de champ
20 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	keine – aucune	x	—8 dB	0 dB	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Juni – juin 49	0300	90%	keine – aucune	x	—8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Dez. – déc. 48	1500	90%	3 F	32,4 dB	—8	—8	16,4 dB
			50%	3...4 F	34,5	0	—8	26,5
			10%	3...4 F	34,5	+5	—8	31,5
	Juni – juin 49	1500	90%	keine – aucune	x	—8	—16	x
			50%	keine – aucune	x	0	—16	x
			10%	keine – aucune	x	+5	—16	x
25 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	keine – aucune	x	—8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Juni – juin 49	0300	90%	keine – aucune	x	—8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Dez. – déc. 48	1500	90%	keine – aucune	x	—8	—5	x
			50%	keine – aucune	x	0	—5	x
			10%	3 F	1,2	+5	—5	1,2
	Juni – juin 49	1500	90%	keine – aucune	x	—8	—10	x
			50%	keine – aucune	x	0	—10	x
			10%	keine – aucune	x	+5	—10	x
30 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	keine – aucune	x	—8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Juni – juin 49	0300	90%	keine – aucune	x	—8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Dez. – déc. 48	1500	90%	keine – aucune	x	—8	—3,5	x
			50%	keine – aucune	x	0	—3,5	x
			10%	keine – aucune	x	+5	—3,5	x
	Juni – juin 49	1500	90%	keine – aucune	x	—8	—7	x
			50%	keine – aucune	x	0	—7	x
			10%	keine – aucune	x	+5	—7	x
35 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	keine – aucune	x	—8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Juni – juin 49	0300	90%	keine – aucune	x	—8	0	x
			50%	keine – aucune	x	0	0	x
			10%	keine – aucune	x	+5	0	x
	Dez. – déc. 48	1500	90%	keine – aucune	x	—8	—2,5	x
			50%	keine – aucune	x	0	—2,5	x
			10%	keine – aucune	x	+5	—2,5	x
	Juni – juin 49	1500	90%	keine – aucune	x	—8	—5	x
			50%	keine – aucune	x	0	—5	x
			10%	keine – aucune	x	+5	—5	x

Tabelle XIV: Wichtigste Einfallswinkel (mit Rhombusantennenkorrekturen)

Tableau XIV: Angles d'incidence les plus intéressants (avec corrections pour antennes losanges)

Monat, Zeit Mois, heure	Frequenz – Fréquence							
	2,5 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	35 MHz
Dez. – déc. 48 0300	20° 27'	15° 24'	x	x	x	x	x	x
	15° 24'	20° 27'	(2° 24')					
Juni – juin 49 0300	20° 27'	15° 24'	9° 38'	(2° 24')	x	x	x	x
	15° 24'	20° 27'	(15° 24')					
Dez. – déc. 48 1500	16° 4'	11° 44'	6° 46'	6° 46'	6° 46'	(6° 46')	x	x
	20°	16° 4'	11° 44'	11° 44'	11° 44'			
Juni – juin 49 1500	26° 26'	13° 44'	13° 44'	5° 16'	x	x	x	x
	20° 33'	20° 33'	5° 16'	(13° 44')				

Tabelle XV: Wichtigste Einfallswinkel für isotrope Empfangsantenne

Tableau XV: Angles d'incidence les plus intéressants pour une antenne isotrope

Monat, Zeit Mois, heure	Frequenz – Fréquence							
	2,5 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	35 MHz
Dez. – déc. 48 0300	9° 38'	9° 38'	x	x	x	x	x	x
	15° 24'	15° 24'	(2° 24')					
Juni – juin 49 0300	9° 38'	9° 38'	9° 38'	(2° 24')	x	x	x	x
	15° 24'	15° 24'	(15° 24')					
Dez. – déc. 48 1500	6° 46'	6° 46'	6° 46'	6° 46'	6° 46'	(6° 46')	x	x
	11° 44'	11° 44'	11° 44'	11° 44'	11° 44'			
Juni – juin 49 1500	5° 16'	5° 16'	13° 44'	5° 16'	x	x	x	x
	13° 44'	13° 44'	5° 16'	(13° 44')				

## 7. Comparaison entre les prévisions et les observations faites à Châtonnay

Pour comparer nos prévisions de l'intensité de champ avec les observations faites à Châtonnay, nous nous sommes servis des figures 4 à 7 du rapport de *W. Ebert* [1], dont l'auteur a mis aimablement les originaux à notre disposition. Il convient toutefois de relever expressément que les chiffres contenus dans ces figures se rapportent à des *tensions U*, alors que nos prévisions sont données sous la forme d'*intensités de champ F*. Ces deux grandeurs sont liées l'une à l'autre par le *facteur de proportionnalité «hauteur effective de l'antenne losange»*. Ce facteur n'est pas connu; d'ailleurs on admet qu'il dépend de la fréquence. Il s'ensuit que les deux rangées de chiffres du *tableau XVII* ne peuvent être comparées de manière absolue, mais seulement quant à leur ordre de grandeur. Quand la prévision et l'observation diffèrent fortement, les raisons supposées en sont données de manière succincte. Les observations sont indiquées suivant une

échelle S sous forme de tensions HF d'entrée que nous transformons en dB par rapport à 1  $\mu$ V:

Tableau XVI: Transformation de l'échelle S en échelle en décibels

S 9+20 dB	$\cong 1000 \mu\text{V}$	$\cong 60 \text{ dB}$
S 9+10 dB	$\cong 312$	50
S 9	100	40
S 8	50	34
S 7	25	28
S 6	12,5	22
S 5	6,25	16
S 4	3,12	10
S 3	1,56	4
S 2	0,78	-2
S 1	0,39	-8
O	0	x

Sur la base des observations, nous déterminons, séparément pour les quatre conditions: nuit, jour, hiver, été, la valeur médiane et les deux déciles ( $W = 90\%$  et  $10\%$ ) et nous les mettons en relation avec les valeurs figurant dans la dernière colonne du *tableau XIII*.

Tabelle XVII: Vergleich von Vorhersage und Beobachtung – Tableau XVII: Comparaison entre prévision et observation

Frequenz Fréquence	Monat Mois	Univers- salzeit Temps TMG	Wahrschein- lichkeit W Probabilité W	berechnete Feldstärke Intensité de champ calculée	beobachtete Spannung Tension observée	vermutete Gründe der Abweichung Motif supposé de l'écart
2,5 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	dB ( $\mu$ V/m) —14,7	dB ( $\mu$ V) x	Absorption nach Tab. 12 zu gross – absorption selon tableau XII trop élevée
			50%	— 6,7	-2	
			10%	— 1,7	10	
	Juni – juin 49	0300	90%	x	x	
			50%	—14,7	4	
			10%	— 9,7	10	
	Dez. – déc. 48	1500	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Juni – juin 49	1500	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
5 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	11,5	22	MUF-Vorhersage zu niedrig, 2 F und 3 F werden reflektiert – prévision MUF trop basse, 2 F et 3 F sont réfléchis
			50%	21,8	45	
			10%	27,2	50	
	Juni – juin 49	0300	90%	12,7	28	
			50%	20,7	34	
			10%	25,7	40	
	Dez. – déc. 48	1500	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Juni – juin 49	1500	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
10 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	x	-2	MUF-Vorhersage zu niedrig, 2 F und 3 F werden reflektiert – prévision MUF trop basse, 2 F et 3 F sont réfléchis
			50%	x	10	
			10%	1,1	22	
	Juni – juin 49	0300	90%	—11,9	34	
			50%	31,0	50	
			10%	38,1	55	
	Dez. – déc. 48	1500	90%	— 4,8	x	
			50%	3,2	x	
			10%	8,2	-2	
	Juni – juin 49	1500	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
15 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	x	x	sporadische E-Schicht – couche E sporadique
			50%	x	x	
			10%	x	4	
	Juni – juin 49	0300	90%	x	10	
			50%	x	50	
			10%	29,6	55	
	Dez. – déc. 48	1500	90%	11,5	4	
			50%	20,4	22	
	Juni – juin 49	1500	90%	25,6	34	
			50%	6,6	10	
			10%	14,8	22	

Tabelle XVII (Fortsetzung)

Tableau XVII (suite)

Frequenz Fréquence	Monat Mois	Univer- salzeit Temps TMG	Wahrschein- lichkeit $W$ Probabilité $W$	berechnete Feldstärke Intensité de champ calculée	beobachtete Spannung Tension observée	vermutete Gründe der Abweichung Motif supposé de l'écart
20 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	dB ( $\mu$ V/m)	dB ( $\mu$ V)	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Juni – juin 49	0300	90%	x	x	starke sporadische E-Schicht – forte couche E sporadique
			50%	x	4	
			10%	x	40	
	Dez. – déc. 48	1500	90%	16,4	16	
			50%	26,5	34	
			10%	31,5	40	
	Juni – juin 49	1500	90%	x	-2	starke sporadische E-Schicht – forte couche E sporadique
			50%	x	10	
			10%	x	22	
25 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Juni – juin 49	0300	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Dez. – déc. 48	1500	90%	x	-2	MUF-Vorhersage zu niedrig, 4 F wird mindestens zu 50% reflektiert – prévision MUF trop basse, 4 F est réfléchi à 50% au moins
			50%	x	16	
			10%	1,2	28	
30 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Juni – juin 49	0300	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Dez. – déc. 48	1500	90%	x	-2	MUF-Vorhersage zu niedrig – prévision MUF trop basse
			50%	x	4	
			10%	x	16	
35 MHz	Dez. – déc. 48	0300	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Juni – juin 49	0300	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	
	Dez. – déc. 48	1500	90%	x	x	MUF-Vorhersage zu niedrig – prévision MUF trop basse
			50%	x	x	
			10%	x	-2	
	Juni – juin 49	1500	90%	x	x	
			50%	x	x	
			10%	x	x	

### 8. Conclusion

Comme nous l'avons relevé, de nombreuses simplifications ont dû être apportées au calcul de l'intensité de champ théorique et des angles d'incidence, du fait que toute une série d'influences ne peuvent être chiffées. Nous avons négligé par exemple :

- tout le problème de la polarisation et des angles de Brewster;
- l'effet de miroir concave du système terre - ionosphère, qui d'après le SPIM donnerait un supplément de 10 dB;
- les modes de transmission combinés tels que E + 2 F, 2 E + F, M, W, etc.
- la réflexion supplémentaire sur le flanc nord-ouest de la vallée de la Broye pour des angles d'incidence de 0° à 8°, décrite dans le rapport de *J. Dufour* [2, 3].

Si l'on emploie la méthode du SPIM au lieu de celle du CRPL, on obtiendra suivant le cas de tout autres résultats pour les angles d'incidence théoriques.

### Bibliographie

- [1] *W. Ebert*. Empfangsbeobachtungen der WWV-Normalfrequenzen. Techn. Mitt. PTT **28** (1950), 457...482.
- W. Ebert*. La réception des fréquences-étalon émises par la station de Beltsville WWV. Bulletin technique PTT **28** (1950), 457...482.
- [2] *J. Dufour*. Diagrammes directifs d'antennes de réception rhombiques et d'antennes «rideau» dans des plans verticaux. Rapport du Laboratoire de recherches et d'essais de la Direction générale des PTT, du 26 XI 1952.
- [3] *J. Dufour*. Diagrammes de réception d'antennes rhombiques dans un plan vertical. Résultats expérimentaux. Bulletin technique PTT **31** (1953), 65...72.
- [4] *Ionospheric Data*. Série F des publications mensuelles du Central Radio Propagation Laboratory (CRPL), Washington.
- [5] *Ionospheric Radio Propagation*. National Bureau of Standards, Circular 462. Washington 1948.
- [6] *Radio Propagation Unit Technical Report n° 2*, 1947. Signal Depot, Baltimore 20, Md.
- [7] *Basic Radio Propagation Predictions*. Série D des publications mensuelles du CRPL, Washington.
- [8] *K. Rawer*. Die Ionosphäre. Groningen 1953.

### Der Telephondienst zwischen der Schweiz und den Vereinigten Staaten von Amerika

Von *A. Langenberger*, Bern

654.15(494:73)

### Le service téléphonique entre la Suisse et les Etats-Unis d'Amérique

Par *A. Langenberger*, Berne

Die telephonischen Beziehungen zwischen der Schweiz und den Vereinigten Staaten von Amerika wurden am 18. Juli 1928 eröffnet. Damals hatte ein Teilnehmer die Taxe von Fr. 262.50 zu entrichten, um mit seinem Korrespondenten in New York während drei Minuten sprechen zu können und Fr. 322.50, wenn sich der Verlangte in San Francisco befand, also in einer Entfernung von rund 10 000 km von Bern. Das Territorium der USA war damals in sechs Tarifzonen eingeteilt, die Schweiz dagegen bildete nur eine einzige Zone. Berücksichtigt man die Verteuerung der Lebenskosten, die seither eingetreten ist, so kommt man zum Schluss, dass die damaligen Fr. 262.50 heute einen Kaufwert von nahezu Fr. 400.— haben. Bei einem derart hohen Tarif konnte nicht erwartet werden, dass die Teilnehmer viel Gebrauch von dieser neuen Bequemlichkeit machen würden. Abgesehen von einigen reichen Leuten, konnten sich nur die grossen Banken und einige Importgeschäfte dieser Neuerung bedienen. Heute versteht man ohne weiteres, dass sich dieser Telephonverkehr unter den geschilderten Verhältnissen nicht entwickeln konnte. Das kleine Ergebnis von 411 taxierten Gesprächsminuten für die ersten sechs Betriebsmonate hat daher nichts Verwunderliches an sich.

Die Gespräche Schweiz-Amerika wurden durch Frankreich über unterirdische Leitungen und von der Kanalküste an über Unterseekabel nach London geleitet; London sorgte für die Zusammenschaltung der Landleitung mit der radiotelephonischen

Les relations téléphoniques entre la Suisse et les Etats-Unis d'Amérique ont été inaugurées le 18 juillet 1928. Il en coûta alors 262 fr. 50 à notre abonné pour causer pendant 3 minutes avec un correspondant à New York et 322 fr. 50 si le demandé se trouvait à San Francisco, donc à environ 10 000 kilomètres de Berne. Le territoire des Etats-Unis était alors subdivisé en 6 circonscriptions tarifaires et la Suisse en une seule. Compte tenu du renchérissement du prix de la vie qui est intervenu depuis, on peut estimer que les 262 fr. 50 d'alors avaient un pouvoir d'achat correspondant sensiblement à celui de 400 de nos francs actuels. Avec un tarif aussi cher, il ne fallait pas s'attendre à ce que les abonnés fassent un large usage de cette nouvelle facilité; quelques particuliers très riches mis à part, seules les grandes banques et quelques maisons d'importation pouvaient s'en accommoder. On comprend mieux, aujourd'hui, que ce trafic ne pouvait pas se développer dans de telles conditions; aussi le total de 411 minutes de conversation taxées pendant les premiers 6 mois d'exploitation ne saurait nous étonner.

Ces communications étaient acheminées par voie souterraine à travers la France et vers l'Angleterre grâce au câble téléphonique traversant la Manche; Londres assurait la connexion de la liaison terrestre du continent européen avec le circuit radiotéléphonique Londres-New York. Les taxes perçues en Suisse étaient réparties entre les administrations et la compagnie de téléphone qui coopéraient à ce service. Alors