

# UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

## Recommandation UIT-R F.1487 (05/2000)

**Essais de modems à ondes décamétriques  
fonctionnant dans des largeurs de bande  
allant jusqu'à environ 12 kHz au moyen de  
simulateurs de canal ionosphérique**

**Série F  
Service fixe**



Union  
internationale des  
télécommunications

## Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

## Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

### Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
<b>BO</b>	Diffusion par satellite
<b>BR</b>	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
<b>BS</b>	Service de radiodiffusion sonore
<b>BT</b>	Service de radiodiffusion télévisuelle
<b>F</b>	<b>Service fixe</b>
<b>M</b>	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
<b>P</b>	Propagation des ondes radioélectriques
<b>RA</b>	Radio astronomie
<b>RS</b>	Systèmes de télédétection
<b>S</b>	Service fixe par satellite
<b>SA</b>	Applications spatiales et météorologie
<b>SF</b>	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
<b>SM</b>	Gestion du spectre
<b>SNG</b>	Reportage d'actualités par satellite
<b>TF</b>	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
<b>V</b>	Vocabulaire et sujets associés

***Note:** Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.*

Publication électronique  
Genève, 2011

© UIT 2011

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

## RECOMMANDATION UIT-R F.1487\*, \*\*

**ESSAIS DE MODEMS À ONDES DÉCAMÉTRIQUES FONCTIONNANT DANS DES LARGEURS DE BANDES ALLANT JUSQU'À ENVIRON 12 kHz AU MOYEN DE SIMULATEURS DE CANAL IONOSPHERIQUE**

(2000)

**Champ d'application**

La présente Recommandation décrit une méthode permettant de tester la transmission ionosphérique en ondes décimétriques pour des systèmes fonctionnant dans des largeurs de bandes allant jusqu'à environ 12 kHz. Elle contient également des essais comparatifs et des essais quantitatifs de modems à ondes décimétriques.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que les radiocommunications ionosphériques dans les bandes des ondes décimétriques sont un moyen de transmission économiquement rentable pour de nombreux services exigeant un fonctionnement à des distances supérieures à celle de visibilité directe;
- b) que la simulation d'un canal de propagation ionosphérique permettrait de réduire les délais et les débours qu'impliquent l'étude et la mise à l'essai de tels systèmes de service;
- c) que certaines administrations ont signalé une concordance satisfaisante entre les résultats des essais effectués en laboratoire au moyen de simulateurs et les résultats des essais sur des modems de données en exploitation,

*recommande*

- 1 que pour la simulation d'une transmission ionosphérique en ondes décimétriques pour des systèmes fonctionnant dans des bandes allant jusqu'à environ 12 kHz, les méthodes décrites à l'Annexe 1 soient préférées;
- 2 que la méthode décrite à l'Annexe 2 soit prise en considération pour des essais comparatifs de modems à ondes décimétriques;
- 3 lorsqu'on utilise des simulateurs pour prévoir, de manière quantitative, la qualité de fonctionnement d'un modem à ondes décimétriques donné sur des circuits à ondes décimétriques, de tenir compte, à titre provisoire, des paramètres de canal complémentaires énumérés à l'Annexe 3.

## ANNEXE 1

**Simulations de canal ionosphérique sur ondes décimétriques****1 Introduction**

La propagation par trajets multiples et les évanouissements sont des caractéristiques types de radiocommunications sur ondes décimétriques par l'ionosphère. Le signal émis se propage habituellement vers le récepteur selon plusieurs modes ou trajets en subissant une ou plusieurs réflexions sur les couches E et F. Etant donné que les temps de propagation ne sont pas les mêmes sur les différents trajets, le signal parvenu à l'antenne de réception peut être formé de plusieurs composantes, qui ont emprunté des trajets différents et sont étalées dans le temps sur un intervalle pouvant atteindre plusieurs millisecondes. En général, les hauteurs moyennes des couches ionosphériques augmentent ou diminuent avec

---

\* Cette Recommandation doit être portée à l'attention de la Commission d'études 3 des radiocommunications.

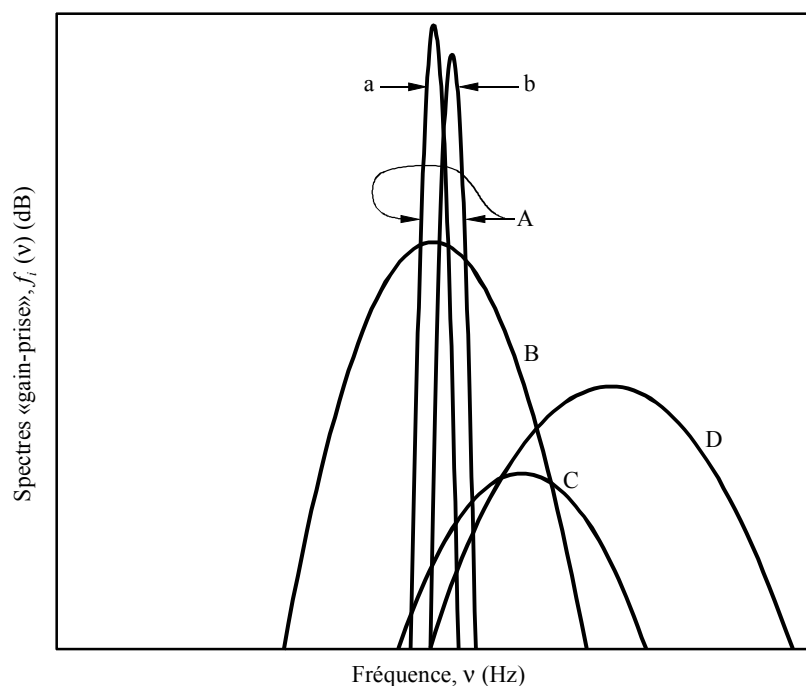
\*\* La Commission d'études 5 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en décembre 2009 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1.

le temps, provoquant ainsi différentes déviations de fréquence (effet Doppler) sur chacune des composantes du trajet multiple. De plus, l'ionosphère est turbulente, ce qui impose des évanouissements aux diverses composantes et un évanouissement résultant du signal composite reçu. Tous ces effets se conjuguent pour produire une distorsion multiplicative du signal et dégrader la qualité du service assuré par les systèmes de télécommunication.

Si l'on émet un signal en ondes entretenues sur une liaison à ondes décimétriques, le spectre des composantes du trajet multiple apparaîtra à la réception sous la forme représentée par l'exemple expérimental de la Fig. 1. On constate la présence de quatre trajets selon les modes suivants: mode E à un bond (1E), mode F à un bond (1F), mode F à deux bonds (2F) et mode mixte (par exemple 1E + 1F). Alors que dans le mode 1E les étalements de fréquence (et les taux d'évanouissement) des deux composantes magnétoioniques, a et b, sont à peu près les mêmes, leurs déviations de fréquence sont, en revanche, sensiblement différentes, ce qui permet de les distinguer l'une de l'autre par la fréquence. Dans chacun des trois autres modes, les deux composantes magnétoioniques ont des étalements et des déviations de fréquence pratiquement de mêmes valeurs, de sorte qu'elles ne se distinguent pas l'une de l'autre. Les caractéristiques de la distorsion multiplicative, dans un canal en ondes décimétriques, pendant une courte période, peuvent donc être décrites à l'aide de paramètres qui spécifient les caractéristiques de l'étalement du temps de propagation et de l'étalement de la fréquence, c'est-à-dire les temps différentiels de propagation sur les multiples trajets, les intensités, les déviations et les étalements de la fréquence sur chaque trajet. Ces paramètres sont, bien entendu, sujets à modification suivant le jour et la saison, de même qu'ils diffèrent en général selon l'emplacement géographique des liaisons.

FIGURE 1

Exemple de spectres de puissance des composantes de trajets multiples d'un signal en ondes entretenues



- A: Trajet 1 (Mode 1E, a et b représentent le dédoublement magnéto-ionique)
- B: Trajet 2 (Mode 1F)
- C: Trajet 3 (Mode mixte)
- D: Trajet 4 (Mode 2F)

1487-01

La comparaison des performances de deux ou de plusieurs systèmes nécessite des essais simultanés, car les conditions de la propagation ou celles des canaux ionosphériques varient d'une manière incontrôlable et ne peuvent pas être répétées avec précision à d'autres moments ou sur d'autres liaisons. L'emploi d'un simulateur de canal présente des avantages: précision, régularité des caractéristiques, possibilité de répéter les expériences, disponibilité, gamme étendue

de modalités des canaux, bas prix de revient; ces avantages sont cependant limités si le modèle de canal d'après lequel le simulateur a été construit n'est pas valable. La présente Recommandation décrit un modèle stationnaire de canaux sur ondes décimétriques à dispersion gaussienne. Il est valable pour des canaux de 3 kHz et peut être appliqué à des bandes allant jusqu'à 12 kHz. Une installation réelle de ce modèle peut fonctionner à des fréquences (audio) de bande de base et, par conséquent, agir directement sur la sortie d'un modem à ondes décimétriques émetteur et fournir directement des signaux à un modem à ondes décimétriques récepteur. Toutefois, lorsque l'on examine la qualité de fonctionnement de systèmes à ondes décimétriques, les effets produits par d'autres composants du système doivent toujours être pris en compte (par exemple, les filtres d'émission et de réception et les commandes de niveau ou de gain).

## 2 Modèle à dispersion gaussienne

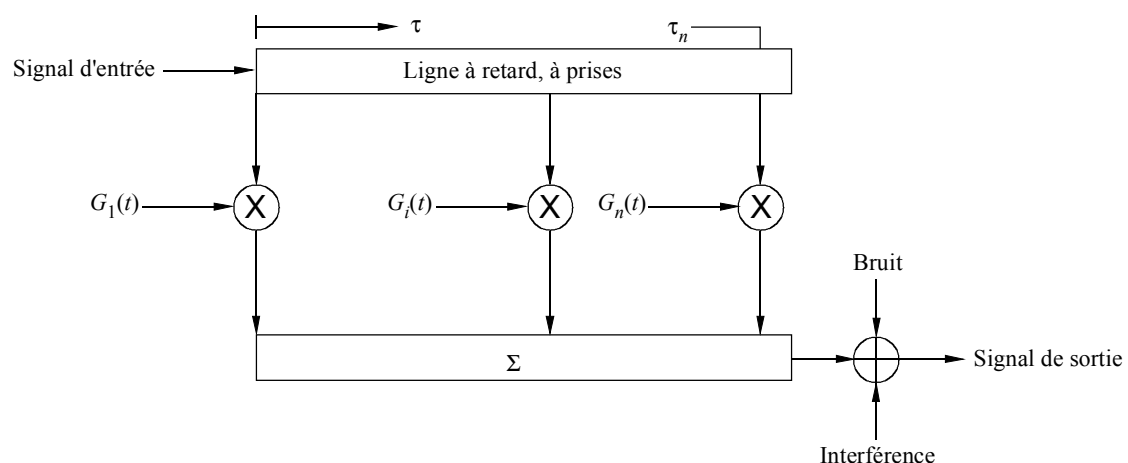
La Fig. 2 représente le schéma simplifié du modèle stationnaire de canal ionosphérique sur ondes décimétriques, à dispersion gaussienne. Ceci est communément connu sous le nom de modèle de Watterson. Le signal d'entrée (signal émis) est appliqué à une ligne à retard idéale, munie de plusieurs prises réglables où il peut être prélevé. Ces prises, numérotées 1, 2, ...,  $i$ , ...,  $n$ , correspondent chacune à un mode ou trajet de propagation ionosphérique. A chaque prise, le signal est modulé en amplitude et en phase par une fonction aléatoire complexe appropriée du gain selon la position de la prise,  $G_i(t)$ , ci-après désignée par fonction «gain-prise». Les signaux retardés et modulés sont additionnés de brio (gaussien, atmosphérique et/ou artificiel) et/ou de brouillage (signaux non désirés) pour constituer le signal de sortie (signal reçu). Pour le modèle de canal de dispersion gaussienne, chaque fonction «gain-prise» a pour expression:

$$G_i(t) = \tilde{G}_{ia}(t) \exp(j 2\pi \nu_{ia} t) + \tilde{G}_{ib}(t) \exp(j 2\pi \nu_{ib} t) \quad (1)$$

où les indices  $a$  et  $b$  identifient les deux composantes magnétoioniques qui sont en général présentes dans chaque mode ou trajet. Les tildes indiquent que  $\tilde{G}_{ia}(t)$  et  $\tilde{G}_{ib}(t)$  sont des fonctions échantillons de deux modes gaussiens aléatoires, complexes (bivariants) et indépendants, dont la moyenne de chacun est égale à zéro et dont les composantes réelles et imaginaires ont des valeurs quadratiques égales qui produisent des évanouissements de Rayleigh (c'est-à-dire que ce sont des fonctions à dispersion gaussienne). Les termes exponentiels ont été traduits dans l'équation (1) afin de fournir les déviations de fréquence (par effet Doppler) désirées,  $\nu_{ia}$  et  $\nu_{ib}$ , aux composantes magnétoioniques du spectre «gain-prise».

FIGURE 2

Schéma simplifié des modèles de canaux ionosphériques sur ondes décimétriques



Chaque fonction «gain-prise» a un spectre,  $f_i(v)$ , qui est en général constitué par la somme de deux composantes magnétoioniques, chacune étant une fonction gaussienne de la fréquence,  $v$ , comme spécifiée par:

$$f_i(v) = \frac{1}{\tilde{A}_{ia} \sigma_{ia} \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(v - v_{ia})^2}{2\sigma_{ia}^2}\right] + \frac{1}{\tilde{A}_{ib} \sigma_{ib} \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(v - v_{ib})^2}{2\sigma_{ib}^2}\right] \quad (2)$$

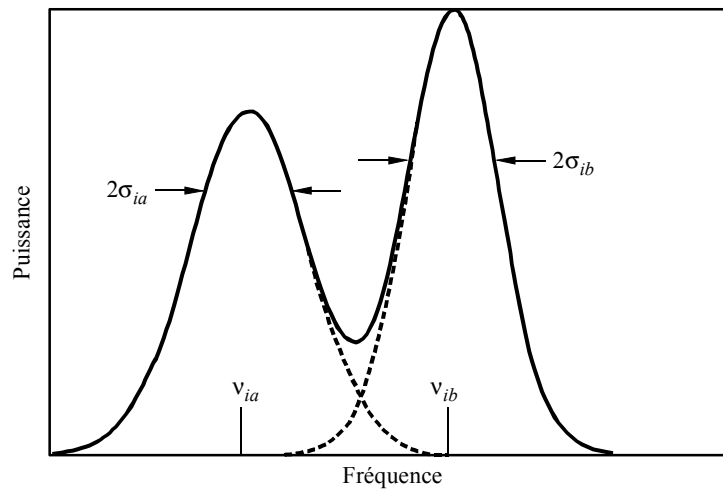
où  $\tilde{A}_{ia}$  et  $\tilde{A}_{ib}$  sont les affaiblissements de composantes et sont habituellement déterminés par leurs étalements de fréquence  $2\sigma_{ia}$  et  $2\sigma_{ib}$ . L'équation (2) est illustrée par la Fig. 3a). Six paramètres indépendants déterminent une fonction «gain-prise» et son spectre: les deux affaiblissements,  $\tilde{A}_{ia}$  et  $\tilde{A}_{ib}$ , les deux déviations de fréquence,  $v_{ia}$  et  $v_{ib}$ , et les deux étalements de fréquence,  $2\sigma_{ia}$  et  $2\sigma_{ib}$ .

La fonction «gain-prise» représentée par les équations (1) et (2) est générale, par le fait qu'elle s'applique quand les spectres des deux composantes magnétoioniques sont sensiblement différents et que la différence entre leurs temps de propagation est négligeable. Dans les deux cas suivants, un seul des deux termes des équations (1) et (2) est nécessaire:

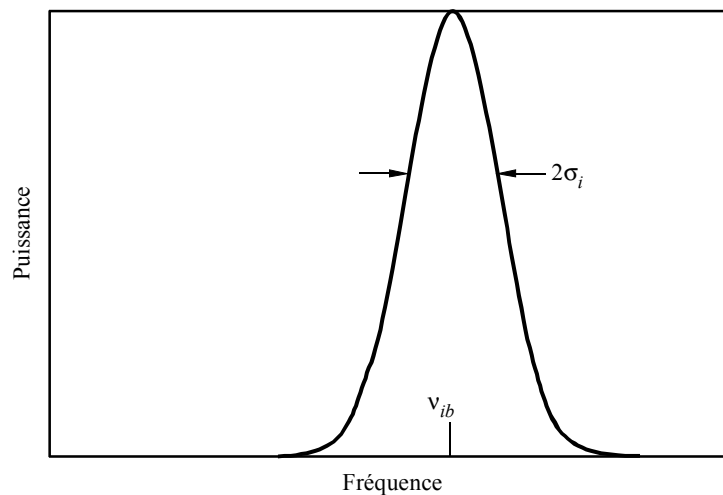
- lorsque les rayons se propagent à basse altitude, les déviations et les étalements de fréquence des deux composantes magnétoioniques sont presque égaux, leurs spectres coïncident presque et un seul terme peut être utilisé avec le spectre «gain-prise» représenté par la Fig. 3b);
- les deux composantes magnétoioniques des rayons à haute altitude présentent souvent une notable différence dans leurs retards; dans ce cas, il convient d'utiliser sur la ligne à retard des prises adéquatement espacées, avec un seul terme pour représenter chacune des deux fonctions «gain-prise» correspondantes et leurs spectres, ainsi que le montre la Fig. 3b).

FIGURE 3

Spectres «gain-prise» dans un modèle valable à dispersion gaussienne



a) Deux spectres de dispersion gaussienne



b) Un seul spectre de dispersion gaussienne

1487-03

### 3 Modes spéculaires

Le modèle à dispersion gaussienne peut représenter de manière précise la majorité des liaisons ionosphériques types sur ondes décamétriques. On peut aisément simuler une composante spéculaire dans un mode à onde ionosphérique en ajoutant une prise retardée non sujette à évanouissements présentant la même déviation de fréquence que le spectre du mode correspondant. C'est ainsi qu'à la Fig. 3, les composantes spéculaires apparaîtraient comme des fonctions delta de Dirac en  $\nu_{ia}$ ,  $\nu_{ib}$  et  $\nu_i$ , selon le cas.

L'onde de sol qui est présente dans une liaison à courte distance est essentiellement non sujette à évanouissements et peut également être représentée par une prise non sujette à évanouissements sur le retard de groupe approprié.



#### **4 Modèles pour canaux en ondes décamétriques avec largeur de bande dépassant les 12 kHz**

Si le modèle à dispersion gaussienne mentionné ci-dessus a été validé pour une utilisation sur des canaux en ondes décamétriques de 3 kHz et peut être utilisable sur des canaux pouvant atteindre une largeur de 12 kHz, sa validité pour des bandes d'une largeur supérieure (à savoir des bandes élargies entre 12 kHz et 1 MHz environ) est problématique pour au moins deux raisons. En premier lieu, la spécification d'un modèle susceptible de caractériser de tels canaux à bande élargie s'est avérée difficile du fait d'un manque d'informations de canal pour ce mode de fonctionnement. En second lieu, parce qu'il y a pénurie de modems à bande élargie, qui sont les mieux adaptés à la validation de ce modèle.

En dépit des difficultés de généralisation, une extension du modèle de canal à 3 kHz est actuellement envisagée. Elle repose sur la conviction qu'un tel modèle pourrait être nécessaire dans un proche avenir. En conséquence, on a entrepris des études visant à prendre en compte des largeurs de bande de canal dépassant les 12 kHz environ en utilisant des extensions logiques du présent modèle gaussien. Si la logique est généralement valable, des études et des travaux de validation plus approfondis sont nécessaires avant qu'il ne soit possible de recommander un modèle de canal à bande élargie. Pour des simulations portant sur de très larges bandes, cette approche étendue risque d'être intenable puisque les conditions des canaux peuvent varier à l'intérieur de la largeur de bande de transmission.

### **ANNEXE 2**

#### **Essais comparatifs de modems à ondes décamétriques**

##### **1 Introduction**

La portée générale de l'architecture de simulateur décrite à l'Annexe 1 permet de simuler un éventail extrêmement large de conditions de canal ionosphérique en ondes décamétriques. Elle peut être source de problèmes lorsqu'il est nécessaire d'effectuer une comparaison générale entre différents modems à ondes décamétriques. La présente Annexe décrit une technique ayant recours à une simulation simplifiée de canal en ondes décamétriques dans le but d'obtenir une spécification globale de la qualité de fonctionnement de modems à ondes décamétriques sous forme graphique.

##### **2 Technique de spécification de modem**

La présente technique de spécification s'appuie sur une simulation de deux modes d'onde ionosphérique décamétrique avec évanouissements indépendants. Le dédoublement magnéto-ionique est négligé, c'est-à-dire qu'un terme seulement des équations (1) et (2) de l'Annexe 1 est utilisé. Les deux modes présentent un affaiblissement moyen égal, des décalages et étalements de fréquence dus à l'effet Doppler égaux et sont séparés par une propagation sur des trajets multiples. Le rapport  $S/N$  est défini par l'ajout d'un bruit gaussien à largeur de bande limitée.

Le décalage de fréquence dû à l'effet Doppler étant maintenu sur une valeur fixe (généralement nulle), la qualité de fonctionnement d'un modem est mesurée d'après un ensemble courant de critères d'essai tels que ceux énumérés au Tableau 1. Le TEB sert à mesurer la qualité de fonctionnement du modem. Pour chaque combinaison étalement de fréquence Doppler/propagation sur trajets multiples, le rapport  $S/N$  produisant un TEB situé dans l'intervalle acceptable est déterminé (la durée de chaque essai doit être déterminée par le même algorithme, par exemple celui présenté à l'Annexe 3, § 6; ces durées d'essai se sont avérées satisfaisantes dans la pratique). Les données obtenues peuvent être représentées sous la forme d'un tracé à trois dimensions, pour lequel le rapport  $S/N$  (jusqu'à une valeur maximale élevée autorisée), l'étalement Doppler et la propagation sur trajets multiples sont attribués aux trois axes orthogonaux. Dans cet espace à trois dimensions, le lieu géométrique des points de TEB constant décrit une surface qui représente la qualité de fonctionnement du modem dans l'intervalle des conditions de canal soumises à essai.



TABLEAU 1

## Critères conseillés pour des essais comparatifs de modems

Paramètre d'entrée	Intervalle	Incrément
Temps de propagation différentiel sur plusieurs trajets (ms)	0-4	0,5
	4-12	1,0
	12-20	2,0
Étalement de fréquence dû à l'effet Doppler (Hz)	0,1	Sans objet
	0,5-4,0	0,5
	4-20	2
	20-40	4
Rapport $S/N$ (dB)	-10 à 50	1
Intervalle de TEB acceptable <sup>(1)</sup>	$2 \times 10^{-3}$ à $0,5 \times 10^{-3}$	

<sup>(1)</sup> L'intervalle de TEB peut être modifié en fonction des exigences de l'application de l'utilisateur.

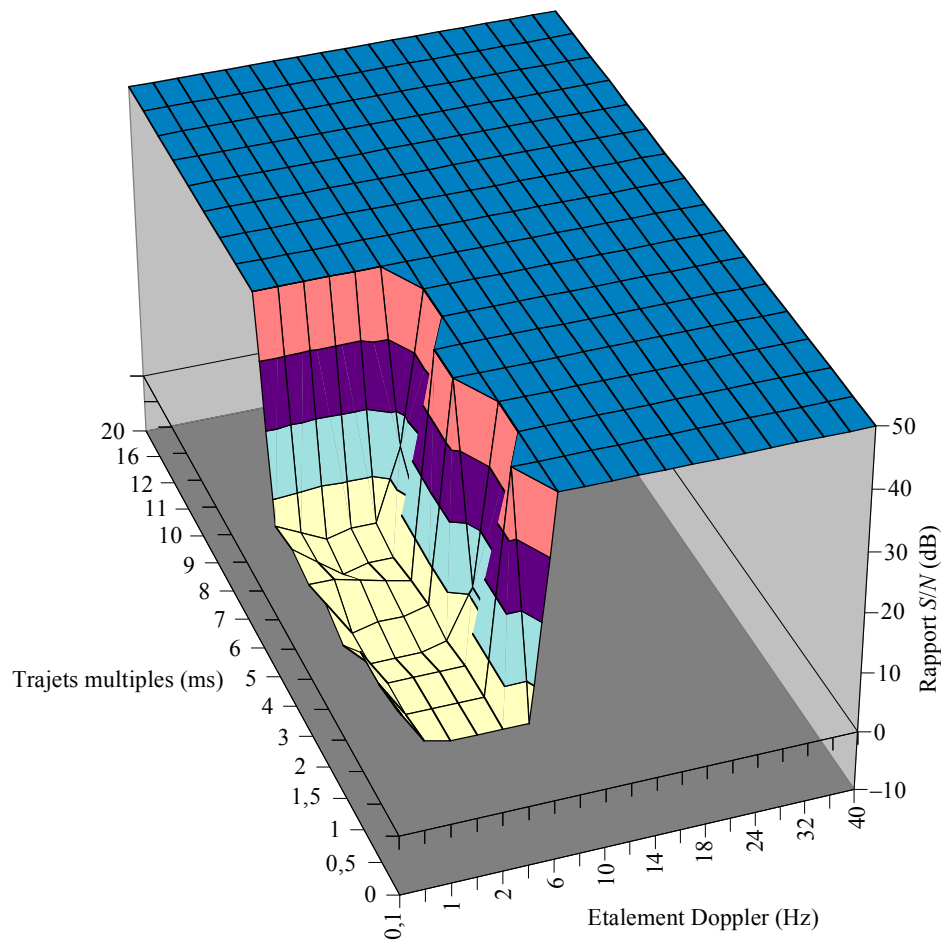
NOTE 1 – La durée de chaque essai est fixée conformément aux prescriptions de l'Annexe 3, § 6.

En règle générale, les surfaces de qualité de fonctionnement de modem produites par cette technique se présentent sous la forme d'une zone relativement plane et peu élevée dans laquelle le modem atteint le TEB requis. Cette vallée est bordée par deux flancs très pentus qui atteignent rapidement le rapport  $S/N$  maximal utilisé dans les simulations, produisant ainsi un plateau pour lequel le modem n'atteint pas les critères de qualité de fonctionnement souhaités. En fait, ce plateau indique généralement que les étalements de fréquence dus à l'effet Doppler et aux trajets multiples sont si importants qu'un accroissement du rapport  $S/N$  n'améliorerait pas les résultats.

Les Fig. 4 à 6 illustrent une série d'exemples de surfaces de qualité de fonctionnement pour un modem à signal série MDP-8 donné fonctionnant à des débits utilisateur de 2 400, 1 200 et 300 bit/s. Les tracés indiquent que le modem peut fournir une qualité de fonctionnement stable sur un intervalle donné de conditions Doppler et trajets multiples mais que, dès que certaines limites sont atteintes (par exemple, environ 4 Hz et environ 10 ms pour le débit de 2 400 bit/s), la qualité de fonctionnement du modem se dégrade rapidement. La montée, puis la descente, du niveau de la vallée à mesure que l'on réduit le débit est une excellente illustration de la manière dont on peut comparer la qualité de fonctionnement de divers modems à ondes décimétriques au moyen de cette technique. Lors de l'établissement des résultats des essais de modems, il est important d'indiquer tous les paramètres de modems appliqués, puisque le débit, la CED et l'entrelacement peuvent avoir une influence significative sur le TEB.

FIGURE 4

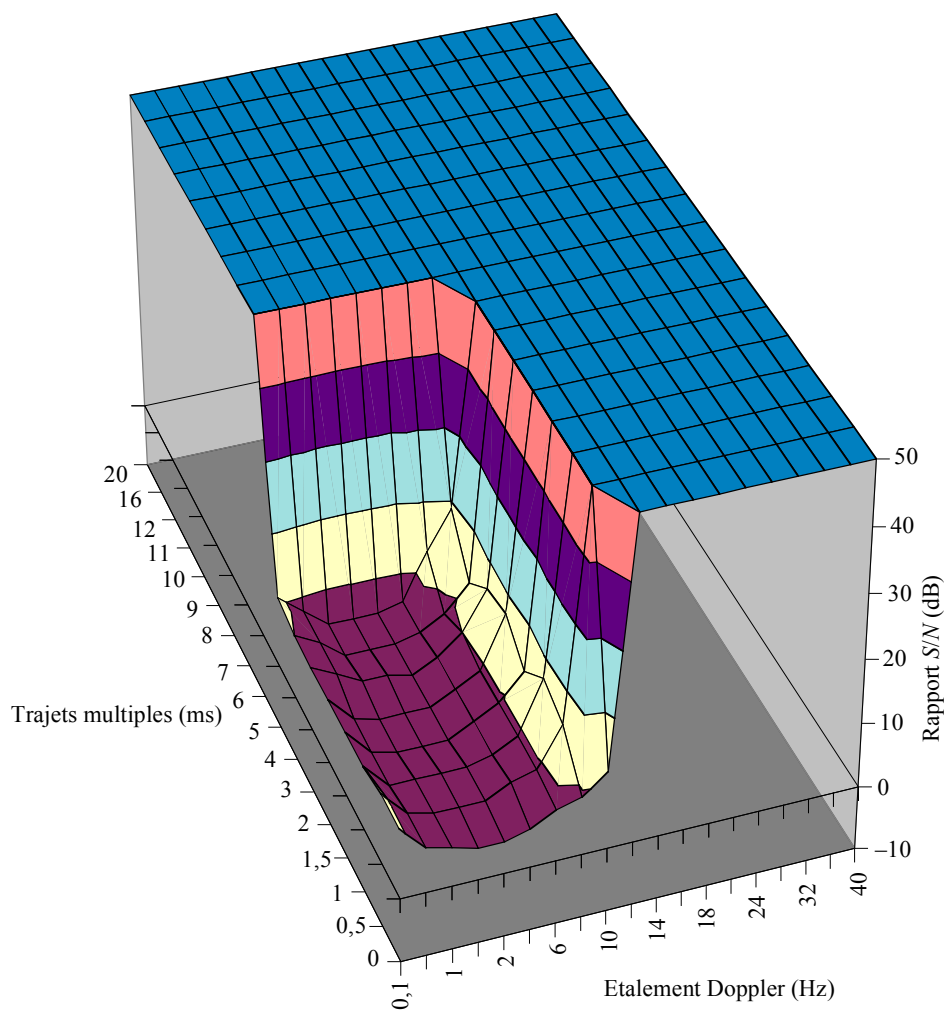
Exemple de surface de qualité de fonctionnement pour un modem  
à signal série MDP-8 à 2 400 bit/s



1487-04

FIGURE 5

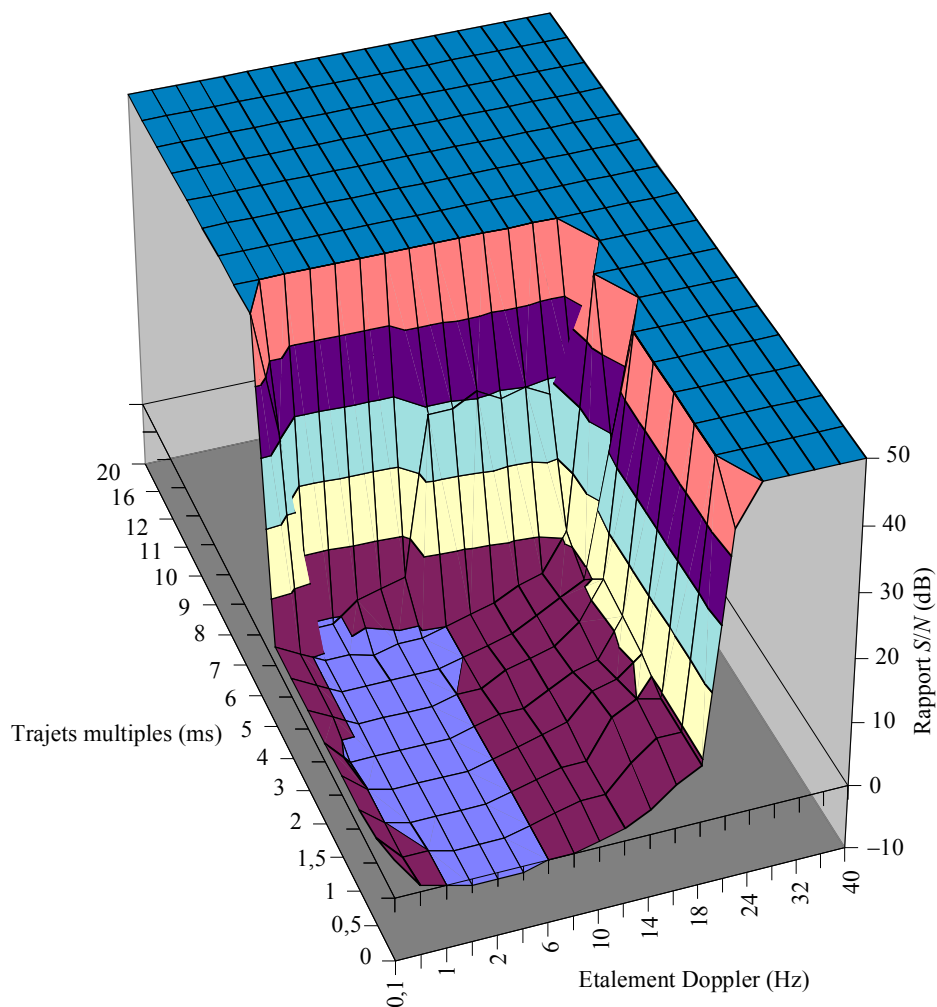
Exemple de surface de qualité de fonctionnement pour un modem  
à signal série MDP-8 à 1 200 bit/s



1487-05

FIGURE 6

Exemple de surface de qualité de fonctionnement pour un modem  
à signal série MDP-8 à 300 bit/s



1487-06

## ANNEXE 3

## Essais quantitatifs de modems à ondes décimétriques

## 1 Essais exécutés avec des combinaisons représentatives des paramètres de canal

La qualité de fonctionnement d'un modem peut être définie comme le rapport TEB sur rapport  $S/N$  de deux trajets à évanouissements indépendants avec un affaiblissement moyen égal, des étalements de fréquence égaux et sans décalage de fréquence. Le temps de propagation différentiel indiqué dans les paragraphes ci-après est défini par le temps de propagation sur plusieurs trajets entre les deux modes, l'étalement de fréquence étant la valeur  $2\sigma$  utilisée dans l'équation (2) de l'Annexe 1.

Lorsque des valeurs représentatives de ces paramètres sont utilisées à des fins d'essais comparatifs, il est recommandé d'indiquer les valeurs de ces paramètres. Pour plus de renseignements sur les régions situées à différentes latitudes, reportez-vous au Manuel UIT-R sur L'ionosphère et ses effets sur la propagation des ondes radioélectriques (1998).

## 2 Basses latitudes

### 2.1 Bonnes conditions de propagation

Temps de propagation différentiel: 0,5 ms

Etalement de fréquence: 0,5 Hz

### 2.2 Conditions de propagation moyennes (voir la Note 1)

Temps de propagation différentiel: 2 ms

Etalement de fréquence: 1,5 Hz

NOTE 1 – Ces valeurs correspondent aux valeurs d'un canal dans de «mauvaises conditions de propagation» d'après la définition donnée dans l'ancienne Recommandation UIT-R F.520.

### 2.3 Conditions de propagation perturbées

Temps de propagation différentiel: 6 ms

Etalement de fréquence: 10 Hz

## 3 Latitudes moyennes

### 3.1 Bonnes conditions de propagation (voir la Note 1)

Temps de propagation différentiel: 0,5 ms

Etalement de fréquence: 0,1 Hz

NOTE 1 – Ces valeurs correspondent aux valeurs d'un canal dans de «bonnes conditions de propagation» d'après la définition donnée dans l'ancienne Recommandation UIT-R F.520.

### 3.2 Conditions de propagation moyennes (voir la Note 1)

Temps de propagation différentiel: 1 ms

Etalement de fréquence: 0,5 Hz

NOTE 1 – Ces valeurs correspondent aux valeurs d'un canal dans des «conditions de propagation moyennes» d'après la définition donnée dans l'ancienne Recommandation UIT-R F.520.

### 3.3 Conditions de propagation perturbées (voir la Note 1 du § 2.2)

Temps de propagation différentiel: 2 ms

Etalement de fréquence: 1 Hz

### 3.4 Perturbation au voisinage de l'incidence verticale (la composante onde de sol doit être ajoutée si nécessaire)

Temps de propagation différentiel: 7 ms

Etalement de fréquence: 1 Hz

## 4 Hautes latitudes

### 4.1 Bonnes conditions de propagation (voir la Note 1 du § 3.2)

Temps de propagation différentiel: 1 ms

Etalement de fréquence: 0,5 Hz

## 4.2 Conditions de propagation moyennes

Temps de propagation différentiel: 3 ms

Étalement de fréquence: 10 Hz

## 4.3 Conditions de propagation perturbées

Temps de propagation différentiel: 7 ms

Étalement de fréquence: 30 Hz

## 5 Statistiques d'occurrence

A titre d'indication de la probabilité d'occurrence des conditions perturbées, on peut noter les statistiques indiquées ci-après:

### 5.1 Basses latitudes

Le temps de propagation différentiel de 4 ms sera dépassé pendant environ 5% du temps.

L'étalement de fréquence dû à l'effet Doppler de 3 Hz sera dépassé pendant environ 5% du temps.

### 5.2 Hautes latitudes

Le temps de propagation différentiel de 5 ms sera dépassé pendant environ 5% du temps.

L'étalement de fréquence dû à l'effet Doppler de 25 Hz sera dépassé pendant environ 5% du temps.

## 6 Durée des essais

La durée des essais est fonction de l'étalement de fréquence, du débit de données utilisateur et du niveau de TEB à mesurer. Il est recommandé de retenir comme durée des essais la durée la plus longue des deux durées suivantes, 3 000 fois l'inverse de l'étalement Doppler ou 100 fois l'inverse du produit TEB multiplié par débit de données. Quelques exemples sont présentés au Tableau 2.

TABLEAU 2  
Exemples de durées d'essai

Étalement Doppler (Hz)	3 000/étalement Doppler (s)	TEB	Débit (bit/s)	100/(TEB × débit) (s)	Durée d'essai retenue (s)
0,5	6 000	$1 \times 10^{-3}$	600	167	6 000
2	1 500	$1 \times 10^{-3}$	600	167	1 500
5	600	$1 \times 10^{-3}$	600	167	600
10	300	$1 \times 10^{-3}$	600	167	300
20	150	$1 \times 10^{-3}$	600	167	167