

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R P.1812-2**  
(02/2012)

**Méthode de prévision de la propagation  
fondée sur le trajet pour les services de  
Terre point à zone dans les bandes des  
ondes métriques et décimétriques**

**Série P**  
**Propagation des ondes radioélectriques**



## 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>	Service fixe
<b>M</b>	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
<b>P</b>	<b>Propagation des ondes radioélectriques</b>
<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, 2012

© UIT 2012

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 P.1812-2

**Méthode de prévision de la propagation fondée sur le trajet  
pour les services de Terre point à zone dans les bandes  
des ondes métriques et décimétriques**

(Question UIT-R 203/3)

(2007-2009-2012)

**Domaine d'application**

La présente Recommandation décrit une méthode de prévision de la propagation adaptée aux services de Terre point à zone dans la gamme de fréquences comprise entre 30 MHz et 3 GHz. Cette méthode de prévoir les niveaux du signal, à la valeur médiane de la distribution de la propagation par trajets multiples, qui sont dépassés pendant un pourcentage de temps donné,  $p\%$ , compris dans la fourchette de valeurs  $1\% \leq p \leq 50\%$  et pour un pourcentage d'emplacements donné,  $p_L$ , compris dans la fourchette de valeurs  $1\% \leq p_L \leq 99\%$ . Cette méthode inclut une analyse détaillée sur la base du profil du terrain.

Cette méthode convient aux prévisions effectuées pour des systèmes de radiocommunication utilisant des circuits de terre, dont les trajets vont de 0,25 km à 3 000 km environ, la hauteur au-dessus du niveau du sol des deux terminaux pouvant aller jusqu'à 3 km environ. Elle ne convient pas aux prévisions de la propagation concernant des circuits radioélectriques air-sol ou espace vers Terre.

La présente Recommandation vient compléter la Recommandation UIT-R P.1546.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) qu'il est nécessaire de conseiller les ingénieurs chargés de la planification des services de radiocommunication de Terre dans les bandes des ondes métriques et décimétriques;
- b) qu'il est important de déterminer l'espacement géographique minimal entre stations fonctionnant sur les mêmes canaux ou des canaux adjacents, afin d'éviter des brouillages intolérables occasionnés par une propagation troposphérique à grande distance,

*notant*

- a) que la Recommandation UIT-R P.528 fournit des indications sur la prévision de l'affaiblissement de transmission sur un trajet point à zone pour le service mobile aéronautique entre 125 MHz et 30 GHz pour des distances allant jusqu'à 1 800 km;
- b) que la Recommandation UIT-R P.452 fournit des indications sur l'évaluation détaillée des brouillages hyperfréquences entre stations situées à la surface de la Terre à des fréquences supérieures à 0,7 GHz environ;
- c) que la Recommandation UIT-R P.617 fournit des indications sur la prévision de l'affaiblissement de transmission sur un trajet point à point pour les faisceaux hertziens transhorizon aux fréquences supérieures à 30 MHz, pour des distances comprises entre 100 et 1 000 km;
- d) que la Recommandation UIT-R P.1411 fournit des indications sur la prévision de la propagation pour les services de radiocommunication extérieurs à courte portée (jusqu'à 1 km);
- e) que la Recommandation UIT-R P.530 fournit des indications sur la prévision de l'affaiblissement sur un trajet point à point pour les systèmes hertziens de Terre à visibilité directe (LoS);

f) que la Recommandation UIT-R P.1546 fournit des indications sur la prévision des champs point à zone dans les bandes des ondes métriques et décimétriques sur la base essentiellement d'analyses statistiques de données expérimentales,

*recommande*

1 d'utiliser la procédure exposée dans l'Annexe 1 pour l'évaluation détaillée des niveaux du signal point à zone en ce qui concerne ces services.

## Annexe 1

### 1 Introduction

Il est recommandé d'utiliser la méthode de prévision de la propagation décrite dans la présente Annexe pour l'évaluation détaillée des niveaux du signal concernant les services de Terre point à zone dans les bandes des ondes métriques et décimétriques. Cette méthode permet de prévoir le niveau du signal (autrement dit, le champ électrique) qui sera dépassé pendant un pourcentage de temps donné,  $p\%$ , d'une année moyenne, compris dans la fourchette de valeurs  $1\% \leq p \leq 50\%$ , et pour un pourcentage donné d'emplacements,  $p_L\%$ , compris dans la fourchette de valeurs  $1\% \leq p_L \leq 99\%$ . Par conséquent, on peut l'utiliser pour prévoir non seulement la zone de service et la disponibilité pour un certain niveau du signal utile (couverture), mais aussi la mesure dans laquelle cette zone de service et la disponibilité seront réduites en raison de signaux brouilleurs dans le même canal ou dans des canaux adjacents (brouillages).

Dans le cadre de cette méthode, le modèle de prévision de la propagation est symétrique, en ce sens qu'il traite les deux terminaux radioélectriques de la même façon. En effet, dans ce modèle, la question de savoir lequel des deux terminaux est l'émetteur et le récepteur n'a pas d'importance. Toutefois, pour faciliter la description du modèle, on a employé les termes «émetteur» et «récepteur» pour désigner les terminaux situés respectivement au début et à la fin du trajet radioélectrique.

La description de la méthode porte, tout d'abord, sur le calcul de l'affaiblissement de transmission de référence (dB) qui n'est pas dépassé pendant  $p\%$  du temps et pour la valeur médiane du nombre d'emplacements. Deux paramètres, à savoir la variabilité en fonction des emplacements et l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments, sont ensuite caractérisés statistiquement par rapport à l'emplacement de chaque récepteur. Enfin, on expose une procédure à suivre pour convertir le champ électrique (dB( $\mu$ V/m)) pour une puissance apparente rayonnée de 1 kW.

La présente méthode est essentiellement destinée à s'appliquer à des systèmes utilisant des antennes à faible gain. Toutefois, dans le cas d'antennes à gain élevé, la variation de la précision des calculs ne concerne qu'un élément pris en considération dans l'ensemble de la méthode, à savoir la diffusion troposphérique, et dans ce cas les prévisions varient peu. Par exemple, même avec un gain d'antenne de 40 dBi aux deux extrémités de la liaison, la surestimation des signaux sur un trajet en diffusion troposphérique sera seulement de l'ordre de 1 dB environ.

La présente méthode convient aux prévisions effectuées pour des systèmes de radiocommunication utilisant des circuits de Terre, dont les trajets sont compris entre 0,25 km et 3 000 km environ, la hauteur au-dessus du niveau du sol des deux terminaux pouvant aller jusqu'à 3 km environ. Elle ne convient pas aux prévisions de la propagation effectuées pour des circuits radioélectriques air-sol ou espace vers Terre.

La méthode de prévision de la propagation qui fait l'objet de la présente Annexe est fondée sur le trajet. Les prévisions point à zone reposant sur cette méthode consistent en des séries de nombreuses prévisions point à point (c'est-à-dire point émetteur à multipoint récepteur), uniformément réparties sur des zones de service théoriques. Le nombre de points devrait être suffisamment important pour garantir que les valeurs prévues des affaiblissements de transmission de référence ou des champs ainsi obtenues sont des estimations raisonnables des valeurs médianes, rapportées aux emplacements, des quantités correspondantes pour les zones élémentaires qu'elles représentent.

Par conséquent, il est pris comme hypothèse que les utilisateurs de la présente Recommandation sont à même d'établir des profils de terrain détaillés (c'est-à-dire les hauteurs au-dessus du niveau moyen de la mer) en fonction de la distance mesurée le long de trajets sur le grand cercle (c'est-à-dire des courbes géodésiques) entre les terminaux, pour de nombreux emplacements différents de terminaux (points récepteurs). En ce qui concerne la plupart des applications de la présente méthode à des prévisions de couverture et de brouillage point à zone, cette hypothèse signifie que l'on dispose d'une base de données numérique sur des hauteurs de terrain, référencés en latitude et en longitude par rapport à un référentiel géodésique cohérent, de laquelle il est possible d'extraire des profils de terrain au moyen d'outils automatisés. Si l'on ne dispose pas de ce type de profil de terrain détaillé, il convient d'utiliser la Recommandation UIT-R P.1546 pour effectuer les prévisions.

Compte tenu de ce qui va suivre, les éléments types correspondant à la variabilité en fonction des emplacements et à l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments, pris en compte dans la présente Recommandation, sont caractérisés au moyen des statistiques de distribution log-normales des emplacements des récepteurs. Bien que cette caractérisation statistique de la propagation point à zone aurait pour effet de rendre asymétrique le modèle global (c'est-à-dire non réciproque), les utilisateurs de la présente Recommandation devraient prendre note du fait que la variabilité en fonction des emplacements pourrait, en principe, s'appliquer soit à l'une ou l'autre des extrémités du trajet (autrement dit à l'un des deux terminaux), soit éventuellement aux deux (autrement dit à l'émetteur et au récepteur). Toutefois, la correction de la variabilité en fonction des emplacements a un sens uniquement dans les cas où l'emplacement exact d'un terminal donné n'est pas connu et qu'une représentation statistique tenant compte de l'ensemble des emplacements possibles pour ce terminal est donc requise. Il est peu probable qu'il existe de nombreux cas où cette correction pourrait s'appliquer de façon significative à l'emplacement d'un émetteur. Lorsque les emplacements des deux terminaux sont connus avec exactitude et que cette procédure est utilisée dans une configuration point à point, la présente Recommandation s'applique uniquement avec la valeur  $p_L = 50\%$ .

D'une certaine façon, ce raisonnement vaut également pour les affaiblissements dus à la pénétration dans les bâtiments, à ceci près qu'il est légèrement plus complexe que dans le cas de la variabilité en fonction des emplacements, étant donné que la correction médiane applicable aux affaiblissements dus à la pénétration dans les bâtiments n'est pas égale à zéro. En effet, du côté de l'émetteur, il convient d'ajouter aussi l'affaiblissement dû à l'entrée dans les bâtiments à l'affaiblissement de transmission de référence, si l'émetteur est situé à l'intérieur d'un bâtiment, mais il faut également être conscient que les valeurs médianes de l'affaiblissement indiquées dans le Tableau 6 peuvent prêter à confusion si l'émetteur ne se trouve pas dans un emplacement «médian».



## 2 Eléments types de la méthode de prévision de la propagation

Aux fins de la présente méthode de prévision de la propagation, il est tenu compte des éléments types suivants:

- *visibilité directe (LoS)*
- *diffraction (y compris en cas de terre régulière, terrain irrégulier et de sous-trajets)*
- *diffusion troposphérique*
- *conditions de propagation anormales (formation de conduits et réflexion ou réfraction sur les couches)*
- *variation du gain de surélévation dans un groupe d'obstacles*
- *variabilité en fonction des emplacements*
- *affaiblissements dus à la pénétration dans des bâtiments.*

## 3 Paramètres d'entrée

### 3.1 Principales données d'entrée

On trouvera dans le Tableau 1 les principales données d'entrée qui définissent les terminaux de radiocommunication, la fréquence, le pourcentage de temps et les emplacements pour lesquels une prévision est requise.

La latitude et la longitude des deux stations sont des données d'entrée fondamentales, car elles sont nécessaires pour obtenir le profil du trajet. Les paramètres radiométéorologiques doivent être obtenus pour un seul emplacement associé au trajet radioélectrique et il convient de retenir le point milieu du trajet dans le cas d'un trajet couvrant une longue distance. Il y a lieu d'obtenir les paramètres radiométéorologiques de l'emplacement de l'émetteur lors de la prévision de la zone de couverture de ce terminal.

TABLEAU 1  
Principales données d'entrée

Paramètre	Unité	Minimale	Maximale	Description
$f$	GHz	0,03	3,0	Fréquence (GHz)
$p$	%	1,0	50,0	Pourcentage de l'année moyenne pendant lequel le niveau du signal calculé est dépassé
$p_L$	%	1	99	Pourcentage des emplacements pour lequel le niveau du signal calculé est dépassé
$\varphi_t, \varphi_r$	degrés	-80	+80	Latitude de l'émetteur, du récepteur
$\psi_t, \psi_r$	degrés	-180,0	180,0	Longitude de l'émetteur, du récepteur (positive = Est de Greenwich)
$h_{tg}, h_{rg}$	m	1	3 000	Hauteur du centre de l'antenne au-dessus du niveau du sol

### 3.2 Profil du terrain

Il est nécessaire de disposer d'un profil de terrain du trajet radioélectrique pour appliquer la méthode de prévision de la propagation. En principe, ce profil se compose de trois ensembles ayant le même nombre de valeurs,  $n$ , comme suit:

$$d_i : \text{distance du } i\text{-ème point du profil depuis l'émetteur (km)} \quad (1a)$$

$$h_i : \text{hauteur du } i\text{-ème point du profil au-dessus du niveau de la mer (m)} \quad (1b)$$

$$g_i = h_i + \text{hauteur représentative du groupe d'obstacles pour le } i\text{-ème point du profil (m)} \quad (1c)$$

où:

$i$  : 1, 2, 3 ...  $n$  = indice du point du profil

$n$  : nombre de points du profil.

Il est à noter que le premier point du profil se situe à l'emplacement de l'émetteur. Par conséquent,  $d_1$  est égal à zéro et  $h_1$  est la hauteur du terrain à l'emplacement de l'émetteur, en mètres, au-dessus du niveau de la mer. De même, le  $n$ -ième point du profil se situe à l'emplacement du récepteur. Par conséquent,  $d_n$  est la longueur du trajet en km et  $h_n$  est la hauteur du terrain à l'emplacement du récepteur, en mètres, au-dessus du niveau de la mer.

Aucune distance précise entre les points du profil n'est donnée. Si l'on prend comme hypothèse que les profils sont extraits d'un modèle d'élévation du terrain numérique, l'espacement approprié entre les points sera, en règle générale, analogue à l'espacement entre les points dans les données source. Il n'est pas nécessaire que les points du profil soient équidistants les uns des autres mais il est souhaitable que l'espacement soit plus ou moins le même pour l'ensemble du profil.

Il est souhaitable d'avoir des informations sur la couverture au sol (obstacles) le long du trajet. Il est commode de stocker des catégories d'obstacles dans un ensemble supplémentaire de  $n$  points correspondant aux données relatives à la hauteur du profil.

La «hauteur représentative du groupe d'obstacles» utilisée dans l'équation (1c) se rapporte à la couverture au sol, par exemple végétation ou bâtiments. On ajoute des hauteurs d'obstacles à un profil car on part du principe que les hauteurs  $h_i$  correspondent à la surface nue de la Terre. Si le trajet radioélectrique traverse une zone boisée ou urbanisée ou il y a diffraction ou obstruction sur le sous trajet, la hauteur effective du profil sera en général plus élevée car le signal radioélectrique se propagera au-dessus de l'obstacle. On peut donc obtenir une représentation plus précise du profil en ajoutant des hauteurs afin de tenir compte des obstacles.

La hauteur ajoutée n'est pas nécessairement une hauteur physique, par exemple la hauteur des toits dans le cas de bâtiments. En raison des vides entre les obstacles, une certaine quantité d'énergie de l'onde radioélectrique peut se propager entre les obstacles et non au-dessus d'eux. En pareil cas, la présence d'obstacles devrait accroître l'affaiblissement de diffraction, sans pour autant que la hauteur du profil atteigne la hauteur physique des obstacles.

Cela est vrai en particulier pour les zones urbaines à bâtiments élevés. Dans les zones relevant de la catégorie des zones urbaines denses ou des zones urbaines à bâtiments élevés, les bâtiments ont en général 30 mètres de hauteur, voire plus. Or, dans certaines de ces zones il peut y avoir de grands espaces entre ces immeubles et il est possible que des trajets à faible affaiblissement passent autour de ces bâtiments et non au-dessus des toits.

A l'autre extrême, même dans les zones classées comme zones dégagées ou zones rurales, il est rare que le sol soit complètement nu, c'est à dire qu'il n'y ait aucun objet susceptible de faire augmenter l'affaiblissement de propagation. Dans de nombreux cas, il serait plus indiqué de prendre de petites valeurs de  $R$  et non une valeur nulle.

Les informations sur les obstacles sont utilisées pour évaluer les affaiblissements dus aux obstacles présents autour du terminal (§ 4.7). Le concept de hauteur représentative du groupe d'obstacles  $R$  est maintenu mais peut-être interprété différemment. En particulier, dans le cas des zones urbaines, il s'agit de déterminer la hauteur au-dessus de laquelle le signal doit se propager lorsque la hauteur du terminal est inférieure à la hauteur des obstacles. En pareil cas, il faut réaliser une nouvelle estimation pour déterminer dans quelle mesure, sur une base statistique, le signal passe autour et non au-dessus des obstacles. Dans le cas de zones dégagées, de zones rurales ou d'étendues d'eau,  $R$  est avant tout un facteur d'échelle pour l'équation (54b).

Ainsi, la hauteur représentative du groupe d'obstacles  $R$ , dépend non seulement de la hauteur physique type des obstacles mais aussi de l'espacement dans le plan horizontal entre les objets et des vides entre ces objets. Il n'y a pas de norme acceptée permettant de dire ce qu'une catégorie d'obstacles, par exemple la catégorie «urbaine», représente en termes physiques dans différents pays. Le Tableau 2 donne des valeurs par défaut de  $R$  qui peuvent être utilisées si l'on ne dispose pas d'informations plus précises pour la région concernée.

TABLEAU 2

**Informations par défaut pour la modélisation de l'affaiblissement dû aux obstacles**

Type d'obstacles	Hauteur représentative des obstacles (m)		Modèle de l'affaiblissement dû aux obstacles au niveau du terminal
	Ajouter à l'équation 1(c) du profil	Affaiblissement dû aux obstacles au niveau du terminal § 4.7	
Eau/mer	0	10	Equation (64b)
Zone dégagée/rurale	0	10	Equation (64b)
Zone suburbaine	10	10	Equation (64a)
Zone urbaine/boisée/forêt	15	15	Equation (64a)
Zone urbaine dense	20	20	Equation (64a)

### 3.3 Zones radioclimatiques

Il est également nécessaire de disposer d'informations sur la longueur des tronçons du trajet qui sont situés dans les zones radioclimatiques décrites dans le Tableau 3.

Pour assurer le maximum de cohérence entre les résultats obtenus par les diverses administrations, il est fortement recommandé que les calculs de cette procédure soient effectués sur la base de la Carte mondiale numérisée de l'UIT (IDWM, *ITU Digitized World Map*). Cette carte, qui est disponible auprès du Bureau des radiocommunications (BR) de l'UIT, est adaptée à deux environnements informatiques: ordinateurs centraux et ordinateurs personnels. Si tous les points du trajet sont situés au moins à 50 km de la mer ou d'autres vastes étendues d'eau, seule la «Zone de terre» s'applique.

Si les informations relatives à la zone sont stockées en points successifs le long du trajet radioélectrique, il faut prendre comme hypothèse que des changements peuvent intervenir à mi-chemin entre des points ayant des codes de zone différents.



TABLEAU 3  
Zones radioclimatiques

Type de zone	Code	Définition
Zone côtière	A1	Zones côtières et littorales, c'est-à-dire terres adjacentes à la mer jusqu'à une altitude de 100 m par rapport au niveau moyen de la mer ou des eaux, mais limitée à une distance de 50 km à partir de l'étendue maritime la plus proche. S'il n'est pas possible d'obtenir la valeur exacte 100 m, on pourra utiliser une valeur approchée
Zone de terre	A2	Toutes les terres, autres que les «zones côtières» et littorales visées dans la Zone côtière ci-dessus
Mer	B	Mers, océans et autres vastes étendues d'eau (c'est-à-dire couvrant un cercle d'au moins 100 km de diamètre)

### 3.4 Distances des terminaux par rapport à la côte

Si le trajet passe au-dessus de la zone B, deux autres paramètres sont requis,  $d_{ct}$ ,  $d_{cr}$ , lesquels donnent les distances respectives de l'émetteur et du récepteur depuis la côte (km), dans la direction de l'autre terminal. Pour une station placée à bord d'un navire ou d'une plate-forme en mer, cette distance est égale à zéro.

### 3.5 Principaux paramètres radiométéorologiques

Dans le cadre de cette procédure de prévision, deux paramètres radiométéorologiques sont nécessaires pour décrire la variabilité du coïndice de réfraction atmosphérique.

- $\Delta N$  (unités N/km), gradient moyen de l'indice de réfraction radioélectrique dans le premier km de l'atmosphère, permet de déterminer le rayon équivalent de la Terre à utiliser pour l'analyse du profil de trajet et de la diffraction par les obstacles. On notera que  $\Delta N$  est une grandeur positive dans cette procédure.
- Le paramètre  $N_0$  (unités N), coïndice de réfraction au niveau de la mer, est utilisé exclusivement dans le modèle de la diffusion troposphérique comme mesure de la variation de ce mécanisme de diffusion.

On trouvera dans l'Appendice 1 des cartes mondiales de  $\Delta N$  et  $N_0$ . Les fichiers de données contenant les cartes numérisées sont disponibles auprès du BR.

### 3.6 Incidence du phénomène de conduit

La mesure dans laquelle les niveaux du signal augmenteront en raison de conditions de propagation anormales, en particulier en raison du phénomène de conduit, est quantifiée par un paramètre  $\beta_0$  (%), pourcentage du temps pendant lequel on peut s'attendre, dans les cent premiers mètres de la basse atmosphère, à un gradient de décroissance de l'indice de réfraction supérieur à cent unités N/km. La valeur de  $\beta_0$  est calculée comme suit.

Calculer le paramètre  $\mu_1$ , qui dépend des proportions des tronçons du trajet situés respectivement au-dessus des terres (intérieur des terres et/ou zone côtière) et au-dessus des étendues d'eau:

$$\mu_1 = \left( 10^{\frac{-d_{tm}}{16-6,6\tau}} + 10^{-5 \cdot (0,496 + 0,354\tau)} \right)^{0,2} \quad (2)$$

où la valeur de  $\mu_1$  doit être limitée à  $\mu_1 \leq 1$ ,

et

$$\tau = 1 - e^{-(4,12 \times 10^{-4} \times d_{lm}^{2,41})} \quad (3)$$

$d_{lm}$ : longueur du plus long tronçon terrestre continu (intérieur des terres + zones côtières) du trajet dans le plan du grand cercle (km)

$d_{lm}$ : longueur du plus long tronçon terrestre continu (intérieur des terres) du trajet dans le plan du grand cercle (km).

Les zones radioclimatiques à prendre en considération pour déterminer  $d_{im}$  et  $d_{lm}$  sont définies dans le Tableau 3. Si tous les points sur le trajet sont situés à 50 km au moins de la mer ou d'autres vastes étendues d'eau, seule la catégorie «Zone de terre» s'applique, et les longueurs  $d_{im}$  et  $d_{lm}$  sont égales à la longueur du trajet,  $d$ .

Calculer le paramètre  $\mu_4$ , qui dépend de  $\mu_1$  et de la latitude du point milieu du trajet en degrés:

$$\begin{aligned} \mu_4 &= \mu_1^{(-0,935 + 0,0176|\varphi|)} && \text{pour } |\varphi| \leq 70^\circ \\ \mu_4 &= \mu_1^{0,3} && \text{pour } |\varphi| > 70^\circ \end{aligned} \quad (4)$$

où:

$\varphi$ : latitude du point milieu du trajet (degrés).

Calculer  $\beta_0$ :

$$\beta_0 = \begin{cases} 10^{-0,015|\varphi| + 1,67} \mu_1 \mu_4 & \% & \text{pour } |\varphi| \leq 70^\circ \\ 4,17 \mu_1 \mu_4 & \% & \text{pour } |\varphi| > 70^\circ \end{cases} \quad (5)$$

### 3.7 Rayon terrestre équivalent

La valeur médiane,  $k_{50}$ , du facteur multiplicatif du rayon terrestre équivalent pour le trajet est obtenue à l'aide de la formule suivante:

$$k_{50} = \frac{157}{157 - \Delta N} \quad (6)$$

La valeur du gradient moyen de l'indice de réfraction radioélectrique,  $\Delta N$ , peut être obtenue à partir de la Fig. 1, la latitude et la longitude du point milieu du trajet étant alors considérées comme représentatives de la totalité du trajet.

La valeur médiane du rayon terrestre équivalent,  $a_e$ , est donnée par:

$$a_e = 6371 \cdot k_{50} \quad \text{km} \quad (7a)$$

La valeur du rayon terrestre équivalent,  $a_\beta$ , dépassée pendant  $\beta_0$  du temps est donnée par:

$$a_\beta = 6371 \cdot k_\beta \quad \text{km} \quad (7b)$$

où  $k_\beta = 3,0$  est une estimation du facteur multiplicatif de la valeur du rayon terrestre équivalent dépassée pendant  $\beta_0$  du temps.

### 3.8 Paramètres obtenus à l'issue de l'analyse du profil du trajet

Les valeurs de certains paramètres relatifs au trajet qui sont nécessaires pour les calculs (voir le Tableau 4) doivent être obtenues à l'issue d'une analyse initiale du profil du trajet, sur la base de la valeur de  $a_e$  donnée par l'équation (7a). Les informations sur la manière d'obtenir, de construire et d'analyser le profil du trajet sont données dans l'Appendice 2 de la présente Annexe.

## 4 Procédure de prévision

### 4.1 Considérations générales

La procédure de prévision globale est décrite dans la présente partie. Tout d'abord, l'affaiblissement de transmission de référence,  $L_b$  (dB), qui n'est pas dépassé pendant le pourcentage de temps annuel requis,  $p\%$ , et pour 50% des emplacements, est évalué comme indiqué aux § 4.2-4.6 (qui traitent respectivement des affaiblissements de transmission de référence dus à la propagation LoS, à la propagation par diffraction, à la propagation par diffusion troposphérique, à la propagation par formation de conduit ou par la réflexion sur les couches et enfin de la combinaison de ces mécanismes de propagation pour prévoir l'affaiblissement de transmission de référence). Ensuite, les méthodes à appliquer pour tenir compte des effets produits par un groupe d'obstacles au niveau du terminal, des effets de la variabilité en fonction des emplacements et de l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments sont exposées aux § 4.7-4.10. Enfin, on trouvera au § 4.11 des expressions qui mettent en corrélation l'affaiblissement de transmission de référence et le champ (dB  $\mu\text{V}/\text{m}$ ) pour une puissance apparente rayonnée de 1 kW.

TABLEAU 4

#### Valeur des paramètres obtenues à l'issue de l'analyse du profil du trajet

Paramètre	Description
$d$	Longueur du trajet le long du grand cercle (km)
$d_{lt}, d_{lr}$	Distance entre les antennes de la station d'émission et de la station de réception et leurs horizons respectifs (km)
$\theta_t, \theta_r$	Angles d'élévation de l'horizon à l'émission et à la réception (mrad)
$\theta$	Distance angulaire du trajet (mrad)
$h_{ts}, h_{rs}$	Hauteur du centre des antennes au-dessus du niveau moyen de la mer (m)
$h_{tc}, h_{rc}$	Valeurs maximales respectivement pour $(h_{ts}, g_1)$ et $(h_{rs}, g_n)$
$h_{te}, h_{re}$	Hauteurs équivalentes des antennes au-dessus du terrain (m)
$d_b$	Longueur cumulée des tronçons du trajet au-dessus d'étendues d'eau (km)
$\omega$	Fraction de la longueur totale du trajet au-dessus d'étendues d'eau: $\omega = d_b/d$ où $d$ est la distance le long du grand cercle (km) calculée à l'aide de l'équation (63). Pour les trajets en totalité terrestres: $\omega = 0$

### 4.2 Propagation en visibilité directe (y compris les effets à court terme)

Les paramètres qui suivent devraient tous être évalués aussi bien pour des trajets LoS que pour des trajets transhorizons.

L'affaiblissement de transmission de référence dû à la propagation en espace libre est donné par:

$$L_{bfs} = 92,44 + 20 \log f + 20 \log d \quad \text{dB} \quad (8)$$

Les corrections pour tenir compte des effets des trajets multiples et de la focalisation pour les pourcentages de temps  $p$  et  $\beta_0$  sont données par:

$$E_{sp} = 2,6 \left( 1 - e^{-\frac{d_{tr} + d_{tr}}{10}} \right) \log \left( \frac{p}{50} \right) \quad \text{dB} \quad (9a)$$

$$E_{s\beta} = 2,6 \left( 1 - e^{-\frac{d_{tr} + d_{tr}}{10}} \right) \log \left( \frac{\beta_0}{50} \right) \quad \text{dB} \quad (9b)$$

Calculer l'affaiblissement de transmission de référence dû à la propagation en visibilité directe, non dépassé pendant un  $p\%$  du temps (que le trajet soit ou non véritablement un trajet LoS), comme suit:

$$L_{b0p} = L_{bfs} + E_{sp} \quad \text{dB} \quad (10)$$

Calculer l'affaiblissement de transmission de référence dû à la propagation en visibilité directe, non dépassé pendant  $\beta_0\%$  du temps (que le trajet soit ou non véritablement un trajet LoS), comme suit:

$$L_{b0\beta} = L_{bfs} + E_{s\beta} \quad \text{dB} \quad (11)$$

### 4.3 Propagation par diffraction

On calcule l'affaiblissement de diffraction en combinant une méthode basée sur la construction de Bullington et la diffraction dans le cas d'une Terre sphérique. La partie de Bullington de la méthode est un prolongement de la construction de Bullington de base utilisée pour gérer la transition entre des conditions de propagation en espace libre et des conditions de propagation avec obstacles. Cette partie de la méthode est utilisée deux fois: pour le profil du trajet effectif et pour un profil plat (hauteur nulle) avec des hauteurs d'antenne modifiée appelées hauteurs équivalentes d'antenne. Les mêmes hauteurs équivalentes d'antenne sont également utilisées pour calculer l'affaiblissement de diffraction pour une Terre sphérique. On obtient le résultat final en combinant les trois affaiblissements calculés comme indiqué ci-dessus. Pour un trajet parfaitement plat, l'affaiblissement de diffraction final sera le résultat obtenu avec le modèle de Terre sphérique.

Cette méthode permet d'obtenir une estimation de l'affaiblissement dû à la diffraction pour tous les types de trajet, y compris ceux passant au-dessus de la mer, des terres ou de zones côtières, quelle que soit la nature du terrain, uniforme ou irrégulière et que le trajet soit un trajet LoS ou un trajet transhorizon.

Cette méthode de calcul de l'affaiblissement de diffraction est toujours utilisée pour la valeur médiane du rayon terrestre équivalent. Si une prévision globale est requise pour  $p = 50\%$ , aucun autre calcul de la diffraction n'est nécessaire.

Dans le cas de figure général où  $p < 50\%$ , il faut effectuer le calcul de l'affaiblissement de diffraction une seconde fois pour un facteur multiplicatif du rayon terrestre équivalent égal à 3. Ce second calcul permet d'obtenir une estimation de l'affaiblissement dû à la diffraction qui n'est pas dépassé pendant  $\beta_0\%$  du temps,  $\beta_0$  étant obtenu au moyen de l'équation (5).

L'affaiblissement dû à la diffraction qui n'est pas dépassé pendant  $p\%$  du temps, pour  $1\% \leq p \leq 50\%$ , est ensuite calculé à l'aide de la procédure de limitation ou d'interpolation décrite au § 4.3.5.

La méthode utilise une approximation de l'affaiblissement dû à la diffraction pour une seule arête en lame de couteau en fonction du paramètre sans dimension,  $v$ , donné par:

$$J(v) = 6,9 + 20 \log\left(\sqrt{(v-0,1)^2 + 1} + v - 0,1\right) \quad (12)$$

Il est à noter que  $J(-0,78) \approx 0$ , et que cela définit la limite inférieure à laquelle cette approximation devra être utilisée.  $J(v)$  est égal à zéro pour  $v \leq -0,78$ .

Le calcul de la diffraction globale est décrit dans les paragraphes qui suivent:

Le § 4.3.1 décrit la partie de Bullington de la méthode de calcul de la diffraction. Pour chaque calcul de la diffraction, pour un rayon terrestre équivalent donné, cette méthode est utilisée deux fois. La deuxième fois, les hauteurs d'antenne sont modifiées et toutes les hauteurs de profil sont nulles.

Le § 4.3.2 décrit la partie Terre sphérique du modèle de diffraction. On utilise les mêmes hauteurs d'antenne que celles utilisées la deuxième fois dans la partie de Bullington (§ 4.3.1).

Le § 4.3.3 décrit comment les méthodes des § 4.3.1 et 4.3.2 sont utilisées conjointement pour effectuer les calculs de diffraction complets pour un rayon terrestre équivalent donné. Compte tenu de la manière dont les parties Bullington et Terre sphérique de la méthode sont utilisées, les calculs complets sont connus sous le nom de modèle «delta Bullington».

Le § 4.3.4 décrit les calculs complets pour un affaiblissement de diffraction non dépassé pendant un pourcentage de temps  $p\%$  donné.

### 4.3.1 Partie de Bullington du calcul de la diffraction

Dans les équations qui suivent, les pentes sont calculées en m/km par rapport à la ligne de base joignant le niveau de la mer au niveau de l'émetteur et le niveau de la mer au niveau du récepteur. La distance et la hauteur du  $i$ -ème point du profil sont respectivement  $d_i$  en kilomètres et  $h_i$  en mètres au-dessus du niveau de la mer;  $i$  prend des valeurs comprises entre 1 et  $n$  où  $n$  est le nombre de points du profil et la longueur totale du trajet est  $d$  kilomètres. Par commodité, les terminaux situés au début et à la fin du profil sont appelés émetteur et récepteur. Leur hauteur en mètres au-dessus du niveau de la mer est respectivement  $h_{ts}$  et  $h_{rs}$ . La courbure équivalente de la Terre,  $C_e \text{ km}^{-1}$  est donnée par  $1/a_e$ , ou  $a_e$  est le rayon terrestre équivalent en kilomètres. La longueur d'onde en mètres est représentée par  $\lambda$ .

Trouver le point du profil intermédiaire pour lequel la pente de la droite joignant l'émetteur à ce point est la plus forte.

$$S_{tim} = \max\left[\frac{h_i + 500C_e d_i (d - d_i) - h_{tc}}{d_i}\right] \quad \text{m/km} \quad (13)$$

où l'indice du profil  $i$  prend des valeurs allant de 2 à  $n - 1$ .

Calculer la pente de la droite joignant l'émetteur au récepteur dans l'hypothèse d'un trajet en visibilité directe:

$$S_{tr} = \frac{h_{rc} - h_{tc}}{d} \quad \text{m/km} \quad (14)$$

Deux cas doivent maintenant être examinés.

*Cas 1: le trajet est un trajet en visibilité directe*

Si  $S_{tim} < S_{tr}$  le trajet est un trajet en visibilité directe.

Trouver le point du profil intermédiaire pour lequel la valeur du paramètre de diffraction  $v$  est la plus élevée:

$$v_{\max} = \max \left\{ \left[ h_i + 500C_e d_i (d - d_i) - \frac{h_w (d - d_i) + h_{rc} d_i}{d} \right] \sqrt{\frac{0,002d}{\lambda d_i (d - d_i)}} \right\} \quad (15)$$

où l'indice du profil  $i$  prend des valeurs allant de 2 à  $n - 1$ .

Dans ce cas, l'affaiblissement sur une arête en lame de couteau, au point de Bullington, est donné par l'équation suivante:

$$L_{uc} = J(v_{\max}) \quad \text{dB} \quad (16)$$

où la fonction  $J$  est donnée par l'équation (12) pour  $v_b$  supérieur à  $-0,78$  et est nulle dans les autres cas.

*Cas 2: le trajet et un trajet transhorizon*

Si  $S_{im} \geq S_{tr}$ , le trajet est un trajet transhorizon.

Trouver le point du profil intermédiaire pour lequel la pente de la droite joignant le récepteur à ce point est la plus forte.

$$S_{rim} = \max \left[ \frac{h_i + 500C_e d_i (d - d_i) - h_{rc}}{d - d_i} \right] \quad \text{m/km} \quad (17)$$

où l'indice du profil  $i$  prend des valeurs allant de 2 à  $n - 1$ .

Calculer la distance séparant le point de Bullington de l'émetteur:

$$d_{bp} = \frac{h_{rc} - h_{te} + S_{rim} d}{S_{im} + S_{rim}} \quad \text{km} \quad (18)$$

Calculer le paramètre de diffraction,  $v_b$ , au point de Bullington:

$$v_b = \left[ h_{rc} + S_{im} d_{bp} - \frac{h_{rc} (d - d_b) + h_{rc} d_{bp}}{d} \right] \sqrt{\frac{0,002d}{\lambda d_b (d - d_{bp})}} \quad (19)$$

Dans ce cas, l'affaiblissement sur une arête en lame de couteau au point de Bullington est donné par:

$$L_{uc} = J(v_b) \quad \text{dB} \quad (20)$$

Pour  $L_{uc}$  calculé à l'aide de l'équation (16) ou (20), l'affaiblissement de diffraction au point de Bullington pour le trajet est maintenant donné par l'équation:

$$L_{bull} = L_{uc} + [1 - \exp(-L_{uc}/6)](10 + 0,02d) \quad \text{dB} \quad (21)$$

### 4.3.2 Affaiblissement de diffraction pour une Terre sphérique

L'affaiblissement de diffraction pour une Terre sphérique qui n'est pas dépassé pendant  $p\%$  du temps pour des hauteurs d'antenne  $h_{te}$  et  $h_{re}$  (m),  $L_{d sph}$ , est calculé comme suit:

Calculer la distance marginale en visibilité directe pour un trajet régulier:

$$d_{los} = \sqrt{2a_p} \cdot (\sqrt{0,001h_{te}} + \sqrt{0,001h_{re}}) \quad \text{km} \quad (22)$$

Si  $d \geq d_{los}$  Calculer l'affaiblissement de diffraction selon la méthode du § 4.3.3 ci-après pour  $a_{dft} = a_p$  afin d'obtenir  $L_{dft}$  et prendre  $L_{d sph}$  égal à  $L_{dft}$ . Aucun autre calcul de diffraction pour une Terre sphérique n'est nécessaire.



Sinon continuer comme suit:

Calculer la plus petite valeur de la hauteur de dégagement entre le trajet suivant la courbure de la Terre et le rayon entre les antennes,  $h$ , donné par l'équation suivante:

$$h_{se} = \frac{\left( h_{te} - 500 \frac{d_{se1}^2}{a_p} \right) d_2 + \left( h_{re} - 500 \frac{d_{se2}^2}{a_p} \right) d_1}{d} \quad \text{m} \quad (23)$$

où:

$$d_{se1} = \frac{d}{2} (1 + b) \quad \text{km} \quad (24a)$$

$$d_{se2} = d - d_{se1} \quad \text{km} \quad (24b)$$

$$b = 2 \sqrt{\frac{m+1}{3m}} \cos \left\{ \frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} \arccos \left( \frac{3c}{2} \sqrt{\frac{3m}{(m+1)^3}} \right) \right\} \quad (24c)$$

Où la fonction arccos donne un angle en radians.

$$c = \frac{h_{te} - h_{re}}{h_{te} + h_{re}} \quad (24d)$$

$$m = \frac{250d^2}{a_p(h_{te} + h_{re})} \quad (24e)$$

Calculer la hauteur de dégagement requise pour un affaiblissement de diffraction nul,  $h_{req}$ , donné par:

$$h_{req} = 17,456 \sqrt{\frac{d_{se1} \cdot d_{se2} \cdot \lambda}{d}} \quad \text{m} \quad (25)$$

Si  $h > h_{req}$  l'affaiblissement de diffraction pour une Terre sphérique,  $L_{dsph}$ , est nul. Aucun autre calcul de diffraction n'est nécessaire.

Sinon continuer comme suit:

Calculer le rayon terrestre équivalent modifié,  $a_{em}$ , qui donne la visibilité directe marginale à la distance  $d$  donnée par:

$$a_{em} = 500 \left( \frac{d}{\sqrt{h_{te}} + \sqrt{h_{re}}} \right)^2 \quad \text{km} \quad (26)$$

Utiliser la méthode décrite au § 4.3.3 pour  $a_{dft} = a_{em}$  afin d'obtenir  $L_{dft}$ .

Si  $L_{dft}$  est négative, l'affaiblissement de diffraction pour une Terre sphérique  $L_{dsph}$  est nul et aucun autre calcul de diffraction pour une Terre sphérique n'est nécessaire.

Sinon continuer comme suit:

Calculer l'affaiblissement de diffraction pour une Terre sphérique par interpolation:

$$L_{dsph} = [1 - h_{se} / h_{req}] L_{dft} \quad \text{dB} \quad (27)$$

### 4.3.3 Premier terme de l'affaiblissement de diffraction pour une Terre sphérique

On décrit dans ce paragraphe la méthode de calcul de la diffraction pour une Terre sphérique en utilisant uniquement le premier terme de la série des résidus. Elle intègre à la méthode de calcul de la diffraction globale décrite au § 4.3.2 ci-dessus pour donner le premier terme de l'affaiblissement de diffraction  $L_{dft}$  pour une valeur donnée du rayon terrestre équivalent  $a_{dft}$ . La valeur de  $a_{dft}$  à utiliser est donnée au § 4.3.2.

Prendre les propriétés électriques du terrain types pour un trajet terrestre avec une permittivité relative  $\epsilon_r = 22,0$  et une conductivité  $\sigma = 0,003$  S/m et calculer  $L_{dft}$  à l'aide des équations (29) à (36). Le résultat obtenu est  $L_{dftland}$ .

Prendre les propriétés électriques du terrain type pour un trajet maritime, avec une permittivité relative  $\epsilon_r = 80,0$  et une conductivité  $\sigma = 5,0$  S/m et calculer  $L_{dft}$  à l'aide des équations (29) à (36). Le résultat obtenu est  $L_{dftsea}$ .

Le premier terme de l'affaiblissement de diffraction pour une Terre sphérique est maintenant donné par:

$$L_{dft} = \omega L_{dftsea} + (1 - \omega) L_{dftland} \quad \text{dB} \quad (28)$$

où  $\omega$  est le tronçon du trajet au-dessus de la mer.

*Début du calcul à effectuer deux fois comme indiqué ci-dessus:*

Facteur normalisé d'admittance de surface pour une polarisation horizontale et une polarisation verticale:

$$K_H = 0,036 (a_{dft} f)^{-1/3} \left[ (\epsilon_r - 1)^2 + (18 \sigma / f)^2 \right]^{-1/4} \quad \text{(horizontale)} \quad (29a)$$

et

$$K_V = K_H \left[ \epsilon_r^2 + (18 \sigma / f)^2 \right]^{1/2} \quad \text{(verticale)} \quad (29b)$$

Calculer le paramètre sol terrestre/polarisation:

$$\beta_{dft} = \frac{1 + 1,6K^2 + 0,67K^4}{1 + 4,5K^2 + 1,53K^4} \quad (30)$$

où  $K$  est  $K_H$  ou  $K_V$  selon la polarisation.

Distance normalisée:

$$X = 21,88 \beta_{dft} \left( \frac{f}{a_{dft}^2} \right)^{1/3} d \quad (31)$$

Hauteurs normalisées de l'émetteur et du récepteur:

$$Y_t = 0,9575 \beta_{dft} \left( \frac{f^2}{a_{dft}} \right)^{1/3} h_{te} \quad (32a)$$

$$Y_r = 0,9575 \beta_{dft} \left( \frac{f^2}{a_{dft}} \right)^{1/3} h_{re} \quad (32b)$$

Calculer le terme de distance donné par:

$$F_X = \begin{cases} 11 + 10\log(X) - 17,6X & \text{pour } X \geq 1,6 \\ -20\log(X) - 5,6488X^{1,425} & \text{pour } X < 1,6 \end{cases} \quad (33)$$

Définir une fonction de hauteur normalisée donnée par:

$$G(Y) = \begin{cases} 17,6(B-1,1)^{0,5} - 5\log(B-1,1) - 8 & \text{pour } B > 2 \\ 20\log(B+0,1B^3) & \text{sinon} \end{cases} \quad (34)$$

où:

$$B = \beta_{dft} Y \quad (35)$$

Limitier  $G(Y)$  pour que  $G(Y) \geq 2 + 20\log K$ .

Le premier terme de l'affaiblissement de diffraction pour une Terre sphérique est maintenant donné par:

$$L_{dft} = -F_X - G(Y_t) - G(Y_r) \quad \text{dB} \quad (36)$$

#### 4.3.4 Modèle complet d'affaiblissement dit «delta-Bullington»

Utiliser la méthode décrite au § 4.3.1 pour obtenir le profil de terrain effectif et les hauteurs d'antenne. Prendre l'affaiblissement de diffraction au point de Bullington résultant pour le trajet effectif,  $L_{bulla}$  égal à  $L_{bull}$  donné par l'équation (21).

Utiliser la méthode décrite au § 4.3.1 une seconde fois, avec toutes les hauteurs du profil,  $g_i$ , mises à zéro et les hauteurs d'antenne modifiées données par:

$$h'_{ts} = h_{ts} - h_{std} \quad \text{masl} \quad (37a)$$

$$h'_{rs} = h_{rs} - h_{srd} \quad \text{masl} \quad (37b)$$

où les hauteurs, pour une Terre régulière, de l'émetteur et du récepteur,  $h_{std}$  et  $h_{srd}$ , sont données au § 5.1.6.3 de l'Appendice 2. Prendre l'affaiblissement de diffraction au point de Bullington résultant, pour ce trajet régulier,  $L_{bulls}$  égal à  $L_{bull}$  donné par l'équation (21).

Utiliser la méthode décrite au § 4.3.2 pour calculer l'affaiblissement de diffraction pour une Terre sphérique  $L_{d sph}$  pour la longueur du trajet effectif  $d$  km et avec:

$$h_{te} = h'_{ts} \quad \text{m} \quad (38a)$$

$$h_{re} = h'_{rs} \quad \text{m} \quad (38b)$$

L'affaiblissement de diffraction pour le trajet général est maintenant donné par:

$$L_d = L_{bulla} + \max\{L_{d sph} - L_{bulls}, 0\} \quad \text{dB} \quad (39)$$

#### 4.3.5 Affaiblissement de diffraction non dépassé pendant $p\%$ du temps

Utiliser la méthode décrite au § 4.3.4 pour calculer l'affaiblissement de diffraction  $L_d$  pour la valeur médiane du rayon terrestre équivalent  $a_e$  donnée par l'équation (7a). L'affaiblissement de diffraction médian  $L_{d50}$  est pris égal à  $L_d$ .

Si  $p = 50\%$ , l'affaiblissement de diffraction non dépassé pendant  $p\%$  du temps,  $L_{dp}$ , est donné par  $L_{d50}$ , et les calculs de diffraction sont alors achevés.

Si  $p < 50\%$ , poursuivre comme suit.

Utiliser la méthode décrite au § 4.3.4 pour calculer l'affaiblissement de diffraction  $L_d$  pour le rayon terrestre équivalent non dépassé pendant  $\beta_0\%$  du temps,  $a_\beta$  donné par l'équation (7b). L'affaiblissement de diffraction non dépassé pendant  $\beta_0\%$  du temps,  $L_{d\beta}$ , est pris égal à  $L_d$ .

L'application des deux valeurs possibles du facteur multiplicatif du rayon terrestre équivalent est régie par un facteur d'interpolation,  $F_i$ , fondé sur une distribution log-normale de l'affaiblissement dû à la diffraction dans la plage  $\beta_0\% < p \leq 50\%$ , donné par:

$$F_i = 0 \quad \text{si } p = 50\% \quad (40a)$$

$$= \frac{I\left(\frac{p}{100}\right)}{I\left(\frac{\beta_0}{100}\right)} \quad \text{si } 50\% > p > \beta_0\% \quad (40b)$$

$$= 1 \quad \text{si } \beta_0\% \geq p \quad (40c)$$

où  $I(x)$  est la distribution normale cumulative complémentaire inverse en fonction de la probabilité  $x$ . On trouvera dans l'Appendice 3 de la présente Annexe une approximation de  $I(x)$ , que l'on peut utiliser en toute confiance pour  $x \leq 0,5$ .

L'affaiblissement dû à la diffraction,  $L_{dp}$ , non dépassé pendant  $p\%$  du temps, est alors donné par la formule suivante:

$$L_{dp} = L_{d50} + (L_{d\beta} - L_{d50}) F_i \quad \text{dB} \quad (41)$$

$F_i$  est défini par les équations (40a-c), selon les valeurs de  $p$  et de  $\beta_0$ .

L'affaiblissement médian de transmission de référence associé à la diffraction,  $L_{bd50}$ , est donné par la formule suivante:

$$L_{bd50} = L_{bfs} + L_{d50} \quad \text{dB} \quad (42)$$

où  $L_{bfs}$  est donné par l'équation (8).

L'affaiblissement de transmission de référence non dépassé pendant  $p\%$  du temps associé à la diffraction est donné par la formule suivante:

$$L_{bd} = L_{b0p} + L_{dp} \quad \text{dB} \quad (43)$$

où  $L_{b0p}$  est donné par l'équation (10).

#### 4.4 Propagation par diffusion troposphérique

NOTE 1 – Aux pourcentages de temps très inférieurs à 50%, il est difficile de séparer le mode vrai de diffusion troposphérique des autres phénomènes de propagation secondaires qui produisent des effets de propagation similaires. Le modèle de «diffusion troposphérique» adopté dans la présente Recommandation représente par conséquent une généralisation empirique du concept de diffusion troposphérique, qui englobe également ces effets de propagation secondaires. On a ainsi la possibilité de faire une prévision cohérente continue de l'affaiblissement de transmission de référence dans un intervalle de pourcentages de temps  $p$  allant de 0,001% à 50%; cela permet d'établir un lien entre, d'une part, le modèle «formation de conduits et réflexion sur les couches» applicable aux petits pourcentages de temps et, d'autre part, le «mode diffusion» vrai applicable au faible champ résiduel qui est dépassé pendant les plus grands pourcentages de temps.

NOTE 2 – Le modèle de prévision de la diffusion troposphérique a été élaboré pour les besoins de la prévision des brouillages. Il ne convient pas pour le calcul des conditions de propagation qui existent pendant plus de 50% du temps et qui influencent la qualité de fonctionnement des faisceaux hertziens transhorizons.

L'affaiblissement de transmission de référence dû à la diffusion troposphérique,  $L_{bs}$  (dB), non dépassé pendant un pourcentage de temps,  $p$ , quelconque mais inférieur à 50%, est donné par:

$$L_{bs} = 190,1 + L_f + 20 \log d + 0,573 \theta - 0,15 N_0 - 10,125 \left( \log \left( \frac{50}{p} \right) \right)^{0,7} \quad \text{dB} \quad (44)$$

où:

$L_f$ : affaiblissement en fonction de la fréquence:

$$L_f = 25 \log(f) - 2,5 \left[ \log \left( \frac{f}{2} \right) \right]^2 \quad \text{dB} \quad (45)$$

$N_0$ : indice de réfraction ramené au niveau de la mer, à mi-trajet (voir la Fig. 2).

#### 4.5 Propagation par formation de conduits ou par réflexion sur les couches

L'affaiblissement de transmission de référence lié à un phénomène de conduit ou à la réflexion sur les couches, non dépassé pendant  $p\%$  du temps,  $L_{ba}$  (dB), est donné par:

$$L_{ba} = A_f + A_d(p) \quad \text{dB} \quad (46)$$

où:

$A_f$ : valeur totale des affaiblissements fixes par couplage (à l'exception des pertes dues aux groupes d'obstacles locaux) entre les antennes et la structure de la propagation anormale dans l'atmosphère:

$$A_f = 102,45 + 20 \log f + 20 \log (d_{lt} + d_{lr}) + A_{st} + A_{sr} + A_{ct} + A_{cr} \quad \text{dB} \quad (47)$$

$A_{lf}$ : correction empirique pour tenir compte de l'augmentation de l'affaiblissement en fonction de la longueur d'onde dans la propagation par conduits

$$A_{lf}(f) = 45,375 - 137,0 f + 92,5 f^2 \quad \text{dB} \quad \text{si } f < 0,5 \text{ GHz} \quad (47a)$$

$$A_{lf}(f) = 0,0 \text{ dB} \quad \text{dans les autres cas}$$

$A_{st}, A_{sr}$ : affaiblissements par diffraction dus à l'effet d'écran du terrain, respectivement pour la station d'émission et pour la station de réception:

$$A_{st, sr} = \begin{cases} 20 \log \left( 1 + 0,361 \theta''_{t,r} (f \cdot d_{lt,lr})^{1/2} \right) + 0,264 \theta''_{t,r} f^{1/3} & \text{dB} \quad \text{pour } \theta''_{t,r} > 0 \text{ mrad} \\ 0 & \text{dB} \quad \text{pour } \theta''_{t,r} \leq 0 \text{ mrad} \end{cases} \quad (48)$$

où:

$$\theta''_{t,r} = \theta_{t,r} - 0,1 d_{lt,lr} \quad \text{mrad} \quad (48a)$$

$A_{ct}, A_{cr}$ : corrections pour tenir compte du couplage des conduits en surface au-dessus des étendues d'eau, respectivement pour la station d'émission et pour la station de réception:

$$A_{ct, cr} = -3 e^{-0,25 d_{ct, cr}^2} \left( 1 + \text{th}(0,07(50 - h_{ts,rs})) \right) \quad \text{dB} \quad \text{pour } \omega \geq 0,75 \quad (49)$$

$$d_{ct, cr} \leq d_{lt, lr}$$

$$d_{ct, cr} \leq 5 \text{ km}$$

$$A_{ct, cr} = 0 \quad \text{dB} \quad \text{dans tous les autres cas} \quad (49a)$$

On notera l'ensemble limité de conditions pour lequel l'équation (49) est nécessaire.

$A_d(p)$ : affaiblissements en fonction du pourcentage de temps et de la distance angulaire, dans le cadre du mécanisme de propagation anormale:

$$A_d(p) = \gamma_d \cdot \theta' + A(p) \quad \text{dB} \quad (50)$$

où:

$\gamma_d$ : affaiblissement linéique:

$$\gamma_d = 5 \times 10^{-5} a_e f^{1/3} \quad \text{dB/mrad} \quad (51)$$

$\theta'$ : distance angulaire (corrigée, le cas échéant à l'aide de l'équation (48a)), pour permettre l'application du modèle d'effet d'écran du terrain de l'équation (46):

$$\theta' = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta'_t + \theta'_r \quad \text{mrad} \quad (52)$$

$$\theta'_{t,r} = \begin{cases} \theta_{t,r} & \text{pour } \theta_{t,r} \leq 0,1 d_{t,l,r} \quad \text{mrad} \\ 0,1 d_{t,l,r} & \text{pour } \theta_{t,r} > 0,1 d_{t,l,r} \quad \text{mrad} \end{cases} \quad (52a)$$

$A(p)$ : variabilité du pourcentage de temps (distribution cumulative):

$$A(p) = -12 + (1,2 + 3,7 \times 10^{-3} d) \log \left( \frac{p}{\beta} \right) + 12 \left( \frac{p}{\beta} \right)^\Gamma \quad \text{dB} \quad (53)$$

$$\Gamma = \frac{1,076}{(2,0058 - \log \beta)^{1,012}} \times e^{-\left(9,51 - 4,8 \log \beta + 0,198 (\log \beta)^2\right) \times 10^{-6} \cdot d^{1,13}} \quad (53a)$$

$$\beta = \beta_0 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \quad \% \quad (54)$$

$\mu_2$ : terme correctif pour tenir compte de la géométrie du trajet:

$$\mu_2 = \left( \frac{500}{a_e} \frac{d^2}{\left(\sqrt{h_{te}} + \sqrt{h_{re}}\right)^2} \right)^\alpha \quad (55)$$

La valeur de  $\mu_2$  ne doit jamais être supérieure à 1.

$$\alpha = -0,6 - \varepsilon \cdot 10^{-9} \cdot d^{3,1} \cdot \tau \quad (55a)$$

où:

$$\varepsilon = 3,5$$

$\tau$ : défini dans l'équation (3) et  $\alpha$  doit toujours être égal ou supérieur à  $-3,4$



$\mu_3$ : terme correctif pour tenir compte de l'irrégularité du terrain:

$$\mu_3 = \begin{cases} 1 & \text{pour } h_m \leq 10 \text{ m} \\ e^{-4,6 \times 10^{-5} (h_m - 10) (43 + 6d_I)} & \text{pour } h_m > 10 \text{ m} \end{cases} \quad (56)$$

et:

$$d_I = \min (d - d_{lt} - d_{lr}, 40) \quad \text{km} \quad (56a)$$

Les autres termes ont été définis dans les Tableaux 1 et 2 et dans l'Appendice 2 de la présente Annexe.

#### 4.6 Affaiblissement de transmission de référence non dépassé pendant $p\%$ du temps et pour 50% des emplacements, sans tenir compte des effets du groupe d'obstacles au niveau du terminal

Il convient d'appliquer la procédure ci-après aux résultats des calculs qui vont suivre pour tous les trajets, afin d'obtenir l'affaiblissement de transmission de référence non dépassé pendant  $p\%$  du temps et pour 50% des emplacements. Pour éviter la présence de discontinuités aberrantes, au regard des conditions physiques, dans les affaiblissements de transmission de référence théoriques prévus, les modèles de propagation qui suivent doivent être fusionnés de façon à obtenir pour ces affaiblissements de transmission de référence des valeurs modifiées permettant d'effectuer une prévision globale pendant  $p\%$  du temps et pour 50% des emplacements.

Calculer un facteur d'interpolation,  $F_j$ , pour tenir compte de la distance angulaire du trajet:

$$F_j = 1,0 - 0,5 \left( 1,0 + \text{th} \left( 3,0 \cdot \xi \cdot \frac{(\theta - \Theta)}{\Theta} \right) \right) \quad (57)$$

où:

- $\Theta$ : paramètre fixe déterminant la plage angulaire du modèle fusionné; mettre à la valeur 0,3
- $\xi$ : paramètre fixe déterminant la pente pour le modèle fusionné à l'extrémité de la plage; mettre à la valeur 0,8
- $\theta$ : distance angulaire du trajet (mrad) définie dans le Tableau 7.

Calculer un facteur d'interpolation,  $F_k$ , pour tenir compte du trajet le long du grand cercle:

$$F_k = 1,0 - 0,5 \left( 1,0 + \text{th} \left( 3,0 \cdot \kappa \cdot \frac{(d - d_{sw})}{d_{sw}} \right) \right) \quad (58)$$

où:

- $d$ : longueur du trajet le long du grand cercle définie dans le Tableau 3 (km)
- $d_{sw}$ : paramètre fixe déterminant la plage des distances pour le modèle fusionné; mettre à la valeur 20
- $\kappa$ : paramètre fixe déterminant la pente pour le modèle fusionné aux extrémités de la plage; mettre à la valeur 0,5.

Calculer un affaiblissement de transmission de référence minimal théorique,  $L_{minb0p}$  (dB), associé à la propagation LoS et à un phénomène de diffraction sur un sous-trajet passant au-dessus de la mer:

$$L_{minb0p} = \begin{cases} L_{b0p} + (1 - \omega)L_{dp} & \text{pour } p < \beta_0 \\ L_{bd50} + (L_{b0\beta} + (1 - \omega)L_{dp} - L_{bd50}) \cdot F_i & \text{pour } p \geq \beta_0 \end{cases} \quad \text{dB} \quad (59)$$

où:

$L_{b0p}$ : affaiblissement de transmission de référence théorique pour un trajet en visibilité directe, non dépassé pendant  $p\%$  du temps, donné par l'équation (10)

$L_{b0\beta}$ : affaiblissement de transmission de référence théorique pour un trajet en visibilité directe, non dépassé pendant  $\beta_0\%$  du temps, donné par l'équation (11)

$L_{dp}$ : affaiblissement dû à la diffraction non dépassé pendant  $p\%$  du temps, équation (41)

$L_{bd50}$ : affaiblissement médian de transmission de référence lié à la diffraction, équation (42)

$F_i$ : facteur d'interpolation de la diffraction pour deux valeurs possibles du rayon terrestre équivalent, donné par l'équation (40).

Calculer un affaiblissement de transmission de référence minimal théorique,  $L_{minbap}$  (dB), associé aux renforcements du signal pour un trajet LoS ou transhorizon:

$$L_{minbap} = \eta \cdot \ln \left( e^{\left( \frac{L_{ba}}{\eta} \right)} + e^{\left( \frac{L_{b0p}}{\eta} \right)} \right) \quad \text{dB} \quad (60)$$

où:

$L_{ba}$ : affaiblissement de transmission de référence dû à la formation de conduits ou à la réflexion sur les couches, non dépassé pendant  $p\%$  du temps, donné par l'équation (46)

$L_{b0p}$ : affaiblissement de transmission de référence théorique dû à la propagation en visibilité directe, non dépassé pendant  $p\%$  du temps, donné par l'équation (10)

$$\eta = 2,5.$$

Calculer un affaiblissement de transmission de référence théorique,  $L_{bda}$  (dB), associé à des renforcements en cas de propagation par diffraction, de propagation en visibilité directe ou de formation de conduits/de réflexion sur les couches:

$$L_{bda} = \begin{cases} L_{bd} & \text{pour } L_{minbap} > L_{bd} \\ L_{minbap} + (L_{bd} - L_{minbap}) \cdot F_k & \text{pour } L_{minbap} \leq L_{bd} \end{cases} \quad \text{dB} \quad (61)$$

où:

$L_{bd}$ : affaiblissement de transmission de référence dû à la diffraction, non dépassé pendant  $p\%$  du temps, obtenu à l'aide de l'équation (43)

$L_{minbap}$ : affaiblissement de transmission de référence minimal théorique associé aux renforcements du signal pour un trajet en visibilité directe ou transhorizon, obtenu à l'aide de l'équation (60)

$F_k$ : facteur d'interpolation donné par l'équation (48), en fonction de la valeur de la longueur du trajet le long du grand cercle,  $d$ .

Calculer un affaiblissement de transmission de référence modifié,  $L_{bam}$  (dB), qui tient compte des renforcements en cas de propagation par diffraction, de propagation en visibilité directe ou de formation de conduits/de réflexion sur les couches:

$$L_{bam} = L_{bda} + (L_{minb0p} - L_{bda}) \cdot F_j \quad \text{dB} \quad (62)$$

où:

- $L_{bda}$ : affaiblissement de transmission de référence théorique associé aux renforcements en cas de propagation par diffraction, de propagation LoS ou de formation de conduits/de réflexion sur les couches, donné par l'équation (61)
- $L_{minb0p}$ : affaiblissement de transmission de référence minimal théorique associé à des conditions de propagation LoS et à un phénomène de diffraction sur un sous-trajet passant au-dessus de la mer, donné par l'équation (59)
- $F_j$ : facteur d'interpolation donné par l'équation (57), en fonction de la valeur de la distance angulaire du trajet,  $\theta$ .

Calculer l'affaiblissement de transmission de référence non dépassé pendant  $p\%$  du temps et pour 50% des emplacements, sans tenir compte des effets du groupe d'obstacles au niveau du terminal,  $L_{bu}$  (dB), tel qu'il est donné par l'équation suivante:

$$L_{bu} = -5 \log \left( 10^{-0,2 L_{bs}} + 10^{-0,2 L_{bam}} \right) \quad \text{dB} \quad (63)$$

où:

- $L_{bs}$ : affaiblissement de transmission de référence dû à la diffusion troposphérique non dépassé pendant  $p\%$  du temps, donné par l'équation (44)
- $L_{bam}$ : affaiblissement de transmission de référence modifié, compte tenu des renforcements en cas de propagation par diffraction, de propagation LoS ou de formation de conduits/de réflexion sur les couches, donné par l'équation (62).

#### 4.7 Affaiblissements supplémentaires dus à l'environnement du terminal

Lorsque l'antenne de la station d'émission ou de réception est située au-dessous de la hauteur  $R_t$  ou  $R_r$  représentative de la couverture au sol autour de ces stations, on calcule des estimations des affaiblissements supplémentaires,  $A_{ht}$ ,  $A_{hr}$ , comme suit. Les valeurs indiquées pour  $R$  sont examinées au § 3.2.

La méthode décrite ci-après donne la valeur médiane des affaiblissements dus à différents environnements de terminaux. Au nombre des mécanismes possibles on peut citer l'affaiblissement dû à l'obstruction et les réflexions dues à des obstacles ayant la même hauteur représentative ainsi que la diffusion et la réflexion sur le sol et des obstacles plus petits. Lorsqu'on utilise une mise en œuvre informatique, avec un profil de terrain provenant d'un modèle de terrain numérique et avec un environnement de terminal défini par une catégorie d'obstacles, il n'est pas réaliste d'identifier un à un les différents mécanismes. La méthode utilisée en l'occurrence fait la distinction entre deux cas généraux: pour les catégories zones boisées et zones urbaines on part de l'hypothèse que le mécanisme dominant est la diffraction au-dessus des obstacles; pour les autres catégories, on part de l'hypothèse que la réflexion ou la diffusion est le mécanisme dominant.

La même méthode s'applique aussi bien à l'émetteur qu'au récepteur et dans les équations suivantes,  $A_h = A_{ht}$  ou  $A_{hr}$ ,  $h = h_{tg}$  ou  $h_{rg}$  et  $R = R_t$  ou  $R_r$  selon le cas.

Si  $h \geq R$  alors  $A_h = 0$

Si  $h < R$  alors  $A_h$  peut avoir l'une des deux formes suivantes, en fonction du type de groupe d'obstacles (voir le Tableau 2):

$$A_h = J(v) - 6,03 \quad \text{dB} \quad (64a)$$

où:

$$A_h = -K_{h2} \log(h/R) \quad \text{dB} \quad (64b)$$

$J(v)$  est calculé à l'aide de l'équation (12).

Les valeurs  $v$  et  $K_{h2}$  sont données par:

$$v = K_{nu} \sqrt{h_{dif} \theta_{clut}} \quad (64c)$$

$$h_{dif} = R - h \quad \text{m} \quad (64d)$$

$$\theta_{clut} = \text{tg}^{-1} (h_{dif} / 27) \quad \text{degrés} \quad (64e)$$

$$K_{h2} = 21,8 + 6,2 \log (f) \quad (64f)$$

$$K_{nu} = 0,342 \sqrt{f} \quad (64g)$$

où:

$f$ : fréquence (GHz).

La forme de l'équation (64a) représente l'affaiblissement de Fresnel dû à la diffraction au-dessus d'un obstacle et s'appliquerait à des catégories de groupes d'obstacles comme les bâtiments. Le fouillis urbain en particulier relèverait de cette catégorie.

L'équation (64b) représente la fonction du gain en fonction de la hauteur due à la proximité du sol dans des emplacements plus dégagés. La réflexion spéculaire du sol est caractéristique de variations du signal au-dessous du premier maximum de brouillage causé par deux rayons. Lorsqu'il n'y a pas de réflexion spéculaire, les variations en dessous de  $R$  sont caractéristiques de celles dues à l'effet d'écran imputable à de petits objets ou à des irrégularités du terrain.

Un premier maximum de brouillage dû à deux rayons clairement défini ne se produit que dans des conditions particulières autorisant une réflexion au sol et ne peut être identifié à partir des données topographiques habituelles disponibles pour les systèmes informatiques. A moins que l'on ne dispose d'informations particulières concernant l'environnement d'un terminal, il convient d'utiliser dans l'équation (64b) la valeur de  $R$  associée à la catégorie d'obstacles.

Si l'on dispose d'informations particulières permettant de déterminer que la surface réfléchissante est plate et régulière et présent un dégagement de Fresnel suffisant favorisant la réflexion sur le sol, on peut alors calculer la valeur  $R$  à l'aide de la méthode donnée dans l'Appendice 4. Cela étant, avec cette méthode, on cherche à identifier un point bien précis de la distribution multi-trajet qui n'est pas conforme aux principes à la base de la prévision point à zone et qui est incompatible avec les calculs de variabilité en fonction de l'emplacement (§ 4.8). Pour une estimation détaillée de la réflexion au sol, il convient donc de limiter l'utilisation de la Recommandation aux situations autres que les prévisions point à zone.

L'affaiblissement de transmission de référence non dépassé pendant  $p\%$  du temps et pour 50% des emplacements, y compris les effets des affaiblissements dus aux groupes d'obstacles situés au niveau du terminal,  $L_{bc}$  (dB), est donné par:

$$L_{bc} = L_{bu} + A_{ht} + A_{hr} \quad \text{dB} \quad (65)$$

où:

- $L_{bu}$ : affaiblissement de transmission de référence non dépassé pendant  $p\%$  du temps et pour 50% des emplacements à la hauteur (ou au-dessus, selon le cas) du groupe d'obstacles représentatif, donné par l'équation (63)
- $A_{ht,hr}$ : affaiblissements supplémentaires pour tenir compte de l'environnement du terminal (équations (64a) et (64b)) selon le cas.

#### 4.8 Affaiblissements compte tenu de la variabilité en fonction de l'emplacement

Dans la présente Recommandation, et en règle générale, la notion de variabilité en fonction de l'emplacement renvoie aux statistiques spatiales des variations locales de la couverture du terrain. Cette notion est utile pour des variations beaucoup plus importantes que celles de la couverture du terrain et par rapport auxquelles les variations sur le trajet sont négligeables. Etant donné que, par définition, elle exclut les variations liées à la propagation par trajets multiples, la variabilité en fonction des emplacements ne dépend pas de la largeur de bande du système.

Pour la planification des systèmes radioélectriques, il faudra également tenir compte des effets de la propagation par trajets multiples. Leur incidence, qui dépend de la largeur de bande, de la modulation et du schéma de codage, variera selon les systèmes. On trouvera des éléments d'orientation sur la modélisation de ces effets dans la Recommandation UIT-R P.1406.

Une étude approfondie des données montre que, en raison des variations de la couverture du terrain, la distribution du champ médian sur une telle zone dans des environnements urbains ou suburbains suit approximativement une distribution log-normale à moyenne nulle.

Les valeurs de l'écart type dépendent de la fréquence et de l'environnement, et des études empiriques ont fait apparaître un étalement considérable. Les valeurs représentatives pour des zones de 500 m de côté sont données par l'expression suivante:

$$\sigma_L = K + 1,3 \log(f) \quad \text{dB} \quad (66)$$

où:

- $K = 5,1$  pour des stations de réception dont les antennes ont une hauteur inférieure à celle du groupe d'obstacles dans des environnements urbains ou suburbains pour des systèmes mobiles à antennes de toit équidirectives
- $K = 4,9$  pour des stations de réception à antennes de toit dont la hauteur est proche de celle du groupe d'obstacles
- $K = 4,4$  pour des stations de réception en zones rurales
- $f$ : fréquence requise (GHz).

Si la variabilité s'applique à une zone de plus de 500 m de côté ou si la variabilité est rapportée à toutes les zones dans un périmètre donné indépendamment des variations d'une zone à une autre, la valeur de  $\sigma_L$  sera plus grande. Il ressort de données empiriques que la variabilité en fonction des emplacements augmente (par rapport aux valeurs pour de petites zones) jusqu'à 4 dB pour un rayon de 2 km et jusqu'à 8 dB pour un rayon de 50 km.

Le pourcentage des emplacements,  $p_L$ , peut varier entre 1% et 99%. Ce modèle n'est pas valable pour un pourcentage d'emplacements inférieur à 1% ou supérieur à 99%.

Il convient de noter que, pour certains besoins de planification (plans d'allotissements multilatéraux), il faudra généralement utiliser une définition de la «variabilité en fonction de l'emplacement» qui tienne compte dans une certaine mesure des évanouissements dus à la propagation par trajets multiples. Plusieurs situations seront ainsi prises en compte: récepteur mobile, en mode stationnaire en l'absence d'effets de propagation par trajets multiples, ou antenne de toit avec réception sur plusieurs fréquences qui ne peut pas être positionnée de façon optimale pour toutes ces fréquences. En outre, il faudra aussi tenir compte de la variabilité sur une zone plus étendue que celle prise pour hypothèse dans la présente Recommandation.

Dans ce contexte, les valeurs indiquées dans le Tableau 5 conviennent pour la planification d'un certain nombre de services de radiocommunication.

TABLEAU 5

**Valeurs des écarts types concernant la variabilité en fonction des emplacements  
utilisées dans certaines situations de planification**

	Ecart type		
	100 MHz	600 MHz	2 000 MHz
Radiodiffusion, analogique (dB)	8,3	9,5	–
Radiodiffusion, numérique (dB)	5,5	5,5	5,5

La correction de la variabilité en fonction des emplacements ne devrait pas être appliquée lorsque le récepteur, ou le système mobile, est situé dans une zone adjacente à la mer.

Lorsque le récepteur, ou le système mobile, est situé sur la terre en extérieur, mais à une hauteur au-dessus du sol qui est supérieure ou égale à celle du groupe d'obstacles représentatif, on peut raisonnablement s'attendre à ce que la variabilité en fonction des emplacements diminuera régulièrement à mesure que la hauteur augmente et qu'elle finira par, à un moment donné, disparaître. Dans la présente Recommandation, la variation de la hauteur liée à la variabilité en fonction des emplacements,  $u(h)$ , est donnée par:

$$\begin{aligned}
 u(h) &= 1 && \text{pour } 0 \leq h < R \\
 u(h) &= 1 - \frac{(h-R)}{10} && \text{pour } R \leq h < R+10 \\
 u(h) &= 0 && \text{pour } R+10 \leq h
 \end{aligned} \tag{67}$$

où  $R$  (m) est la hauteur du groupe d'obstacles représentatif situé à l'emplacement du récepteur ou du système mobile. Par conséquent, pour un récepteur ou un système mobile en extérieur, il convient de multiplier l'écart type concernant la variabilité en fonction des emplacements,  $\sigma_L$ , tel qu'il est donné par l'équation (66) ou dans le Tableau 5, par la fonction de la variation de la hauteur,  $u(h)$ , donnée par l'équation (67), lorsque l'on calcule les valeurs de l'affaiblissement de transmission de référence pour des valeurs de  $p_L\%$  qui ne sont pas égales à 50%.

#### 4.9 Affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments

L'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments désigne l'écart (dB) entre le champ moyen (rapporté aux emplacements) à l'extérieur d'un bâtiment à une hauteur donnée au-dessus du niveau du sol et le champ moyen à l'intérieur du même bâtiment (rapporté aux emplacements) pour la même hauteur au-dessus du niveau du sol.



En ce qui concerne la *réception en intérieur*, il faut en outre tenir compte de deux paramètres importants: l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments et la variation de cet affaiblissement en raison des différents matériaux de construction. Les écarts types, indiqués ci-dessous, tiennent compte de l'étalement important des valeurs de l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments, mais non de la variabilité des emplacements à l'intérieur de différents bâtiments. Il y a lieu de noter que l'on dispose d'un nombre limité de données et de calculs fiables concernant l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments. A titre provisoire, des valeurs de l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments susceptibles d'être utilisées sont données dans le Tableau 6.

TABLEAU 6

Valeurs de l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments<sup>(1)</sup>,  $L_{be}$ ,  $\sigma_{be}$

$F$	Valeur médiane, $L_{be}$ (dB)	Ecart type, $\sigma_{be}$ (dB)
0,2 GHz	9	3
0,6 GHz	11	6
1,5 GHz	11	6

<sup>(1)</sup> Ces valeurs appelleront peut-être une mise à jour, lorsque davantage de données expérimentales seront disponibles.

Pour des fréquences au-dessous de 0,2 GHz,  $L_{be} = 9$  dB,  $\sigma_{be} = 3$  dB; pour des fréquences au-dessus de 1,5 GHz,  $L_{be} = 11$  dB,  $\sigma_{be} = 6$  dB. Entre 0,2 GHz et 0,6 GHz (et entre 0,6 GHz et 1,5 GHz), les valeurs correctes pour  $L_{be}$  et  $\sigma_{be}$  peuvent être obtenues par interpolation linéaire entre les valeurs de  $L_{be}$  et  $\sigma_{be}$  données dans le Tableau pour 0,2 GHz et 0,6 GHz (0,6 GHz et 1,5 GHz).

La variation du champ pour la réception en intérieur est la résultante de la variation en extérieur ( $\sigma_L$ ) et de la variation correspondant à l'affaiblissement dû aux bâtiments ( $\sigma_{be}$ ). Il est peu probable que ces variations soient corrélées. Il est donc possible de calculer l'écart type pour la réception en intérieur en prenant ( $\sigma_i$ ) la racine carrée de la somme des carrés de chaque écart type.

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_{be}^2} \quad (68)$$

où  $\sigma_L$  est l'écart type de la variabilité en fonction des emplacements, donné par l'équation (66) ou le Tableau 5.

Par exemple, pour des émissions numériques sur une largeur de bande supérieure à 1 MHz, en ondes métriques, lorsque les écarts types des signaux sont respectivement de 5,5 dB et 3 dB, la valeur combinée s'établit alors à 6,3 dB. Dans la bande IV/V, lorsque les écarts types de signaux sont respectivement de 5,5 dB et 6 dB, la valeur combinée s'établit alors à 8,1 dB.

#### 4.10 Affaiblissement de transmission de référence non dépassé pendant $p\%$ du temps et pour $p_L\%$ des emplacements

Pour calculer le pourcentage souhaité d'emplacements, l'affaiblissement médian,  $L_{loc}$ , et l'écart type,  $\sigma_{loc}$ , sont donnés par:

$$L_{loc} = 0 \quad (\text{en extérieur}) \quad (69a)$$

$$L_{loc} = L_{be} \quad (\text{en intérieur}) \quad (69b)$$

et:

$$\sigma_{loc} = u(h) \cdot \sigma_L \quad (\text{en extérieur}) \quad (70a)$$

$$\sigma_{loc} = \sigma_i \quad (\text{en intérieur}) \quad (70b)$$

lorsque l'affaiblissement médian,  $L_{be}$ , dû à la pénétration dans les bâtiments, est donné dans le Tableau 6, la fonction de la hauteur,  $u(h)$ , est donnée par l'équation (67) et les écarts types,  $\sigma_L$  et  $\sigma_i$ , sont respectivement donnés par l'équation (66) (ou dans le Tableau 5) et l'équation (68).

L'affaiblissement de transmission de référence non dépassé pendant  $p\%$  du temps et  $p_L\%$  d'emplacements,  $L_b$  (dB), est donné par:

$$L_b = \max \left\{ L_{b0p}, L_{bc} + L_{loc} - I \left( \frac{p_L}{100} \right) \cdot \sigma_{loc} \right\} \quad \text{dB} \quad (71)$$

où:

- $L_{b0p}$ : affaiblissement de transmission de référence non dépassé pendant  $p\%$  du temps et pour 50% d'emplacements dû à la propagation LoS avec des renforcements à court terme, donné par l'équation (10)
- $L_{bc}$ : affaiblissement de transmission de référence non dépassé pendant  $p\%$  du temps et pour 50% des emplacements, y compris les effets des affaiblissements dus à un groupe d'obstacles au niveau du terminal, donné par l'équation (65)
- $L_{loc}$ : valeur médiane de l'affaiblissement en fonction de l'emplacement, donnée par les équations (69a) et (69b)
- $I(x)$ : fonction de distribution normale cumulative complémentaire inverse qui est fonction de la probabilité,  $x$ . Une approximation pour  $I(x)$  susceptible d'être utilisée pour  $0,000001 \leq x \leq 0,999999$  est donnée dans l'Appendice 3 à cette Annexe
- $\sigma_{loc}$ : écart type combiné (affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments et variabilité en fonction des emplacements) donné par les équations (70a) et (70b).

Le pourcentage des emplacements,  $p_L$ , peut varier entre 1% et 99%. Ce modèle n'est pas valable pour un pourcentage d'emplacements inférieur à 1% ou supérieur à 99%.

#### 4.11 Champ dépassé pendant $p\%$ du temps et pour $p_L\%$ d'emplacements

Le champ rapporté à une puissance apparente rayonné de 1 kW dépassé pendant  $p\%$  du temps et pour 50% des emplacements,  $E_p$  dB( $\mu$ V/m), peut être calculé à l'aide de l'équation suivante:

$$E_p = 199,36 + 20 \log(f) - L_b \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (72)$$

où:

- $L_b$ : affaiblissement de transmission de référence non dépassé pendant  $p\%$  du temps et pour  $p_L\%$  d'emplacements calculé au moyen de l'équation (71)
- $f$ : fréquence requise (GHz).

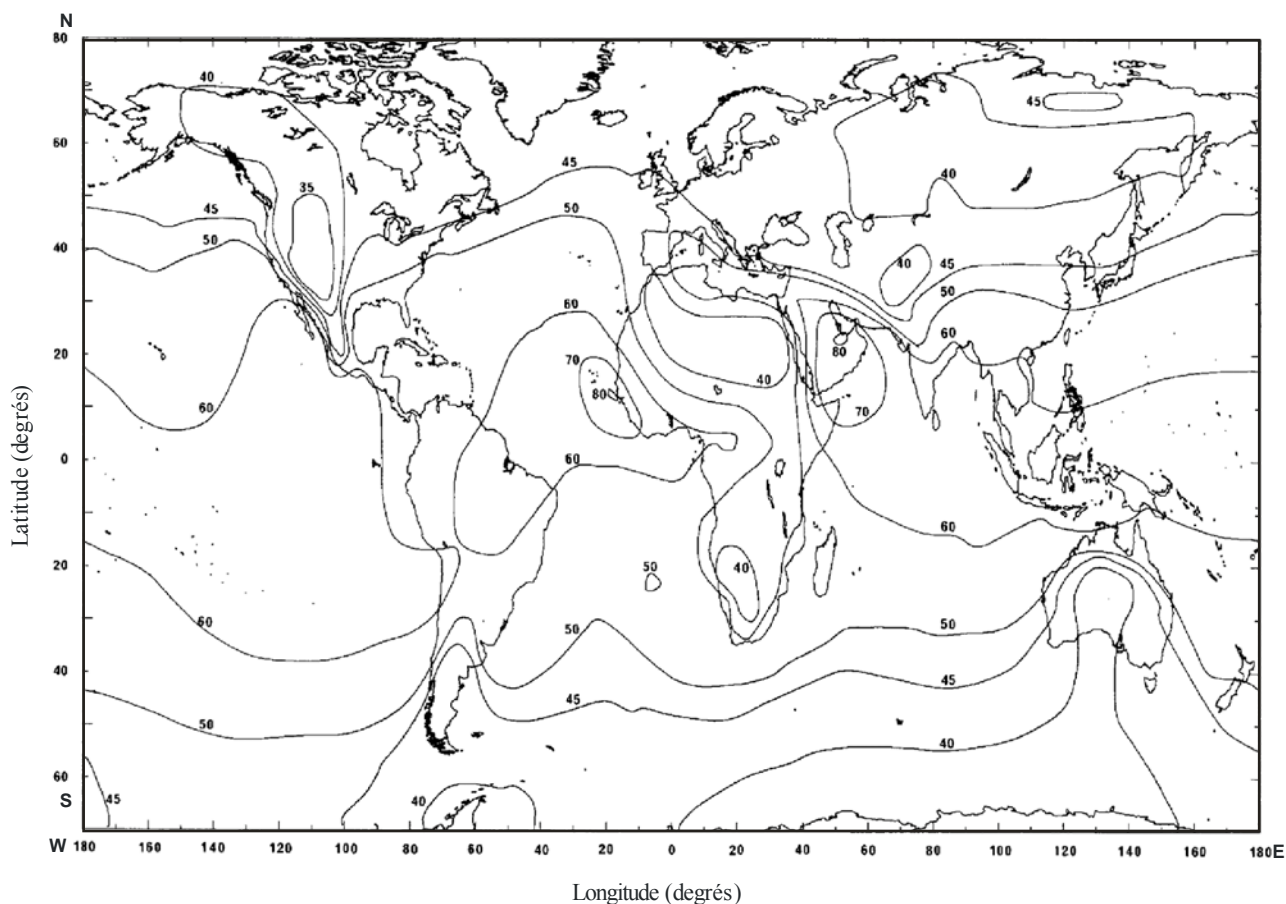
## Appendice 1 à l'Annexe 1

### Données radiométéorologiques requises pour la procédure de prévision

Les valeurs annuelles moyennes de  $\Delta N$  comme valeurs positives en unités N/km sont représentées sur la Fig. 1.

FIGURE 1

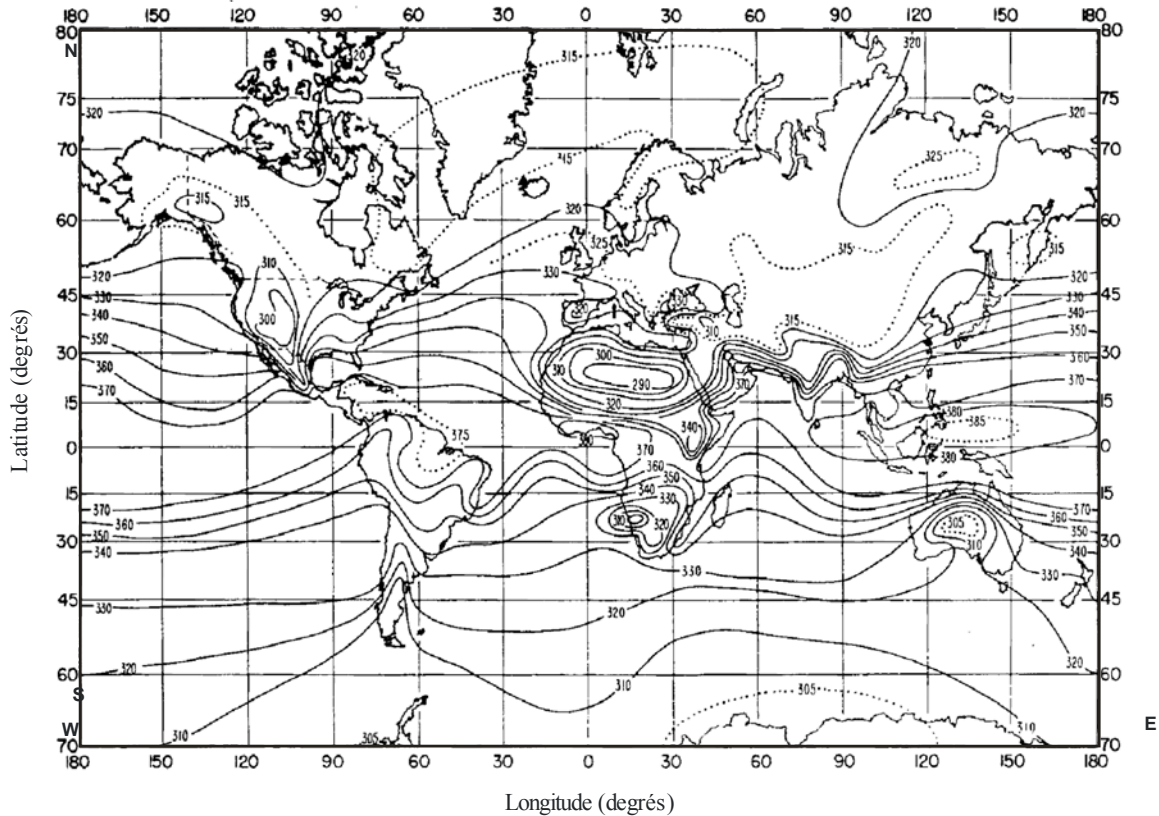
Valeurs moyennes annuelles de  $\Delta N$ , unités N/km



P.1812-01

Les valeurs annuelles moyennes du coïndice de réfraction au niveau de la mer,  $N_0$ , en unités N sont représentées sur la Fig. 2. Le paramètre  $N_0$  est utilisé uniquement dans la partie relative à la diffusion troposphérique de la méthode globale.

FIGURE 2  
Coïndice au niveau de la mer,  $N_0$ , unités N



P.1812-02

## Appendice 2 à l'Annexe 1

### Analyse du profil du trajet

#### 1 Introduction

Pour l'analyse du profil du trajet, il est nécessaire de disposer d'un profil des hauteurs du terrain le long du trajet au-dessus du niveau moyen de la mer (a-dnm). Les paramètres qui doivent être obtenus à partir de l'analyse du profil du trajet pour être utilisés dans les modèles de propagation sont donnés dans le Tableau 7.

#### 2 Etablissement du profil du trajet

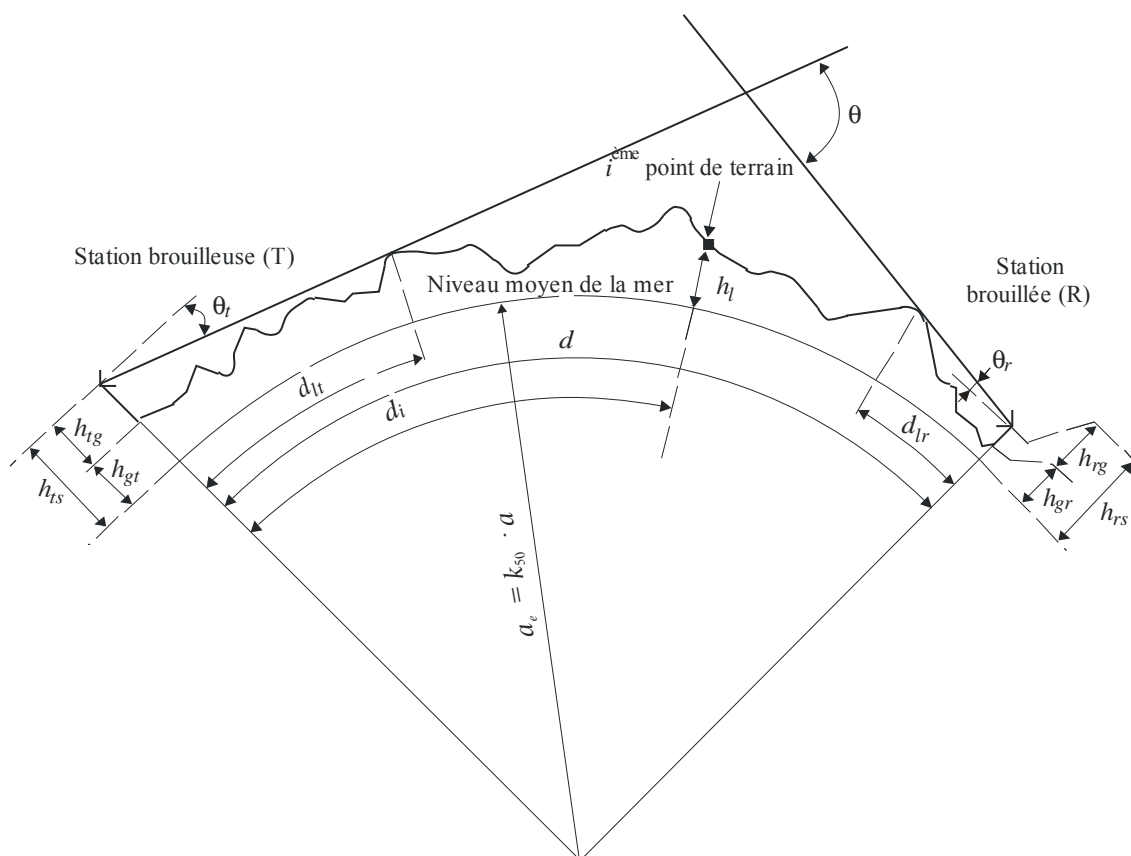
Sur la base des coordonnées géographiques de la station d'émission ( $\phi_e, \psi_e$ ) et de la station de réception ( $\phi_r, \psi_r$ ), il convient de calculer les hauteurs du terrain (au-dessus du niveau moyen de la mer) sur le trajet le long du grand cercle à l'aide d'une base de données topographiques ou de cartes de contours à grande échelle appropriées. La résolution en distance du profil devrait, dans la mesure du possible, être suffisante pour saisir les caractéristiques importantes du terrain. En règle générale, un incrément de distance compris entre 30 m et 1 km est approprié et, dans la plupart des cas, il

convient d'utiliser des incréments de distance plus importants pour des trajets plus longs. Le profil du trajet doit avoir pour point de départ la hauteur du niveau du sol à l'emplacement de la station d'émission et pour point d'arrivée la hauteur du niveau du sol à l'emplacement de la station de réception. Dans les équations ci-après, la courbure de la Terre est prise en considération, si nécessaire, sur la base de la valeur  $a_e$  donnée dans l'équation (7a).

Il est préférable d'utiliser des points de profil espacés à intervalles réguliers, mais il est possible d'utiliser cette méthode avec des points espacés irrégulièrement. Cela peut être utile quand le profil est obtenu à partir d'une carte numérique de contours associés aux hauteurs du terrain. Toutefois, il convient de noter que la présente Recommandation a été élaborée à partir d'essais fondés sur des points de profil espacés régulièrement; on ne dispose d'aucune information quant à l'incidence sur la précision de points espacés irrégulièrement.

Aux fins de la présente Recommandation, on appelle point 1 le point du profil correspondant à la station d'émission et point  $n$  le point correspondant à la station de réception. Le profil du trajet se compose donc de  $n$  points. On trouvera sur la Fig. 3 un exemple d'un profil de trajet avec des hauteurs de terrain au-dessus du niveau moyen de la mer qui présente les divers paramètres rapportés à la configuration effective du terrain.

FIGURE 3  
Exemple d'un profil de trajet (transhorizon)



Note 1 – La valeur  $\theta$ , ainsi représentée est négative.

Le Tableau 7 définit les paramètres utilisés ou obtenus lors de l'analyse du profil du trajet.

TABLEAU 7  
Définition des paramètres du profil du trajet

Paramètre	Description
$a_e$	Rayon terrestre équivalent (km)
$d$	Longueur du trajet le long du grand cercle (km)
$d_{ii}$	Incrément de distance utilisé pour un profil de trajet régulier (points espacés à intervalles réguliers) (km)
$f$	Fréquence (GHz)
$\lambda$	Longueur d'onde (m)
$h_{ts}$	Hauteur de l'antenne de la station d'émission au-dessus du niveau moyen de la mer (m)
$h_{rs}$	Hauteur de l'antenne de la station de réception (m) au-dessus du niveau moyen de la mer
$\theta_t$	Pour un trajet transhorizon: angle d'élévation de l'horizon par rapport à l'horizontale locale (mrad), mesuré à partir de l'antenne de la station d'émission. Pour un trajet LoS, ce paramètre doit être l'angle d'élévation de l'antenne de la station de réception
$\theta_r$	Pour un trajet transhorizon: angle d'élévation de l'horizon par rapport à l'horizontale locale (mrad), mesuré à partir de l'antenne de la station de réception. Pour un trajet LoS, ce paramètre doit être l'angle d'élévation de l'antenne de la station d'émission
$\theta$	Distance angulaire du trajet (mrad)
$h_{st}$	Hauteur de la Terre régulière à l'emplacement de la station d'émission au-dessus du niveau moyen de la mer (m)
$h_{sr}$	Hauteur de la Terre régulière à l'emplacement de la station de réception au-dessus du niveau moyen de la mer (m)
$h_i$	Hauteur du $i$ -ème point du terrain au-dessus du niveau moyen de la mer (m) $h_1$ : altitude du sol à la station d'émission $h_n$ : altitude du sol à la station de réception
$h_m$	Irrégularité du terrain (m)
$h_{te}$	Hauteur équivalente de l'antenne de la station d'émission (m)
$h_{re}$	Hauteur équivalente de l'antenne de la station de réception (m)

### 3 Longueur du trajet

Il est possible d'obtenir la longueur du trajet en utilisant la géométrie du grand cercle à partir des coordonnées géographiques des stations d'émission ( $\phi_t, \psi_t$ ) et de réception ( $\phi_r, \psi_r$ ). Une autre possibilité consiste à déterminer cette longueur, à partir du profil du trajet. En effet, la longueur du trajet,  $d$  (km), peut être déduite des données du profil du trajet suivantes:

$$d = d_n \quad \text{km} \quad (73)$$

Pour des points du profil du trajet espacés à intervalles réguliers, il est également vrai que:

$$d_i = (i - 1) \cdot d_{ii} \quad \text{km} \quad (74)$$

où  $i = 1, \dots, n$ , lorsque  $d_{ii}$  est l'incrément de distance du trajet (km).

#### 4 Classification des trajets

Il faut utiliser le profil du trajet pour déterminer si le trajet est un trajet LoS ou un trajet transhorizon en se fondant sur la valeur médiane du rayon terrestre équivalent,  $a_e$ , telle qu'elle est donnée par l'équation (7a).

Un trajet est dit transhorizon si l'angle d'élévation de l'horizon physique vu de l'antenne de la station d'émission (par rapport à l'horizontale locale) est supérieur à l'angle sous-tendu par l'antenne de la station de réception (toujours par rapport à la même horizontale locale).

Pour qu'un trajet soit transhorizon il faut donc que:

$$\theta_{max} > \theta_{td} \quad \text{mrad} \quad (75)$$

où:

$$\theta_{max} = \max_{i=2}^{n-1} (\theta_i) \quad \text{mrad} \quad (76)$$

$\theta_i$ : angle d'élévation vers le  $i$ -ème point du terrain

$$\theta_i = \frac{h_i - h_{ts}}{d_i} - \frac{10^3 d_i}{2 a_e} \quad \text{mrad} \quad (77)$$

où:

$h_i$ : hauteur du  $i$ -ème point du terrain au-dessus du niveau moyen de la mer (m)

$h_{ts}$ : hauteur de l'antenne de la station d'émission au-dessus du niveau moyen de la mer (m)

$d_i$ : distance de la station d'émission au  $i$ -ème point du terrain (km)

$$\theta_{td} = \frac{h_{rs} - h_{ts}}{d} - \frac{10^3 d}{2 a_e} \quad \text{mrad} \quad (78)$$

où:

$h_{rs}$ : hauteur de l'antenne de la station de réception au-dessus du niveau moyen de la mer (m)

$d$ : longueur totale du trajet sur le grand cercle (km)

$a_e$ : valeur médiane du rayon terrestre équivalent, appropriée pour le trajet (équation (7a)).

#### 5 Calcul des paramètres à partir de l'analyse du profil du trajet

##### 5.1 Tout type de trajet

Les paramètres qui doivent être calculés à partir du profil du trajet sont ceux qui figurent dans le Tableau 7.

##### 5.1.1 Angle d'élévation de l'antenne d'émission par rapport à l'horizontale locale, $\theta_t$

L'angle d'élévation de l'horizon de l'antenne de la station d'émission par rapport à l'horizontale locale est donné par:

$$\theta_t = \max(\theta_{max}, \theta_{td}) \quad \text{mrad} \quad (79)$$

$\theta_{max}$  étant déterminé dans l'équation (76). Ainsi, pour un trajet LoS, l'angle d'élévation de l'antenne d'émission est considéré comme étant l'angle d'élévation de la direction de l'antenne de réception.

### 5.1.2 Distance de l'horizon par rapport à l'antenne de la station d'émission, $d_{it}$

La distance de l'horizon par rapport à l'antenne de la station d'émission est la distance minimale depuis l'émetteur à laquelle est calculé l'angle maximal d'élévation de l'horizon de l'antenne à l'aide de l'équation (76).

$$d_{it} = d_i \quad \text{km} \quad \text{pour max} (\theta_i) \quad (80)$$

Pour un trajet LoS, la valeur de l'indice  $i$  doit être celle pour laquelle la valeur du paramètre de diffraction  $v$  est maximale dans l'équation (15).

### 5.1.3 Angle d'élévation de l'antenne de réception par rapport à l'horizontale locale, $\theta_r$

Pour un trajet LoS,  $\theta_r$  est donné par:

$$\theta_r = \frac{h_{ts} - h_{rs}}{d} - 10^3 \frac{d}{2a_e} \quad \text{mrad} \quad (81)$$

Sinon,  $\theta_r$  est donné par:

$$\theta_r = \max_{j=2}^{n-1} (\theta_j) \quad \text{mrad} \quad (82)$$

$$\theta_j = \frac{h_j - h_{rs}}{d - d_j} - \frac{10^3 (d - d_j)}{2 a_e} \quad \text{mrad} \quad (82a)$$

### 5.1.4 Distance de l'horizon par rapport à l'antenne de la station de réception, $d_{lr}$

La distance de l'horizon par rapport à l'antenne de la station de réception est la distance minimale depuis le récepteur à laquelle est calculé l'angle maximal d'élévation de l'horizon de l'antenne, à l'aide de l'équation (82).

$$d_{lr} = d - d_j \quad \text{km} \quad \text{pour max} (\theta_j) \quad (83)$$

Pour un trajet LoS,  $\theta_r$  est donné par:

$$d_{lr} = d - d_{it} \quad \text{km} \quad (83a)$$

### 5.1.5 Distance angulaire $\theta$ (mrad)

$$\theta = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta_t + \theta_r \quad \text{mrad} \quad (84)$$

## 5.1.6 Modèle de la «Terre régulière» et hauteurs équivalentes des antennes

### 5.1.6.1 Considérations générales

On obtient une surface «Terre régulière» à partir du profil afin de calculer les hauteurs équivalentes des antennes à la fois pour le modèle de diffraction et pour l'évaluation de l'irrégularité du terrain dont on a besoin pour le modèle de conduits/réflexion sur les couches. Les définitions des hauteurs



équivalentes des antennes sont différentes dans ces deux cas. Le sous-paragraphe 5.1.6.2 décrit le calcul des hauteurs non corrigées pour une surface de Terre régulière au niveau de l'émetteur et du récepteur,  $h_{st}$  et  $h_{sr}$  respectivement. Les sous-paragraphe 5.1.6.3 et 5.1.6.4 décrivent le calcul des hauteurs équivalentes des antennes pour le modèle de diffraction,  $h_{ted}$  et  $h_{red}$ , et le calcul du paramètre d'irrégularité du terrain,  $h_m$ .

### 5.1.6.2 Calcul de la surface de la Terre régulière

On calcule une approximation linéaire des hauteurs du terrain au-dessus du niveau moyen de la mer:

$$h_{si} = h_{st} + m \cdot d_i \quad \text{m} \quad (85)$$

où:

- $h_{si}$ : hauteur a-dnm (m) d'une surface ajustée par la méthode des moindres carrés à une distance  $d_i$  (km) de l'émetteur
- $h_{st}$ : hauteur a-dnm (m) de la surface de la Terre régulière au départ du trajet, c'est-à-dire pour l'émetteur
- $m$ : pente de la surface ajustée par la méthode des moindres carrés, par rapport au niveau de la mer (m/km).

Deux méthodes sont disponibles pour les deux étapes suivantes du calcul. Les équations (86a) et (87a) peuvent être utilisées si les points du profil sont espacés à intervalles réguliers. Les équations (86b) et (87b), qui sont plus complexes, doivent être utilisées si les points du profil sont espacés irrégulièrement et peuvent être utilisées dans les deux cas.

Pour les profils de points espacés à intervalles réguliers:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h_a) \left( d_i - \frac{d}{2} \right)}{\sum_{i=1}^n \left( d_i - \frac{d}{2} \right)^2} \quad \text{m/km} \quad (86a)$$

Pour tout autre profil:

$$m = \left( \frac{1}{d^3} \right) \sum_{i=2}^n 3(d_i - d_{i-1})(d_i + d_{i-1} - d)(h_i + h_{i-1} - 2h_a) + (d_i - d_{i-1})^2 (h_i - h_{i-1}) \quad \text{m/km} \quad (86b)$$

où:

- $h_i$ : hauteur vraie au-dessus du niveau moyen de la mer du  $i$ -ème point du terrain (m)
- $h_a$ : moyenne des hauteurs réelles au-dessus du niveau moyen de la mer sur le trajet, bornes  $h_0$  et  $h_n$  comprises (m), donnée par:

Pour les profils de points espacés à intervalles réguliers:

$$h_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i \quad \text{m} \quad (87a)$$

Pour tout autre profil, une moyenne pondérée est calculée:

$$h_a = \left( \frac{1}{2d} \right) \sum_{i=2}^n (d_i - d_{i-1}) (h_i + h_{i-1}) \quad \text{m} \quad (87b)$$

La hauteur  $h_{st}$  de la surface de la Terre régulière, à l'emplacement de la station d'émission, est donnée par:

$$h_{st} = h_a - m \frac{d}{2} \quad \text{m} \quad (88)$$

et il s'ensuit que la hauteur  $h_{sr}$  de la surface de la Terre régulière, à l'emplacement de la station de réception, est donnée par:

$$h_{sr} = h_{st} + m \cdot d \quad \text{m} \quad (89)$$

### 5.1.6.3 Hauteurs équivalentes des antennes pour le modèle de diffraction

Trouver la hauteur de l'obstacle le plus élevé au-dessus du trajet en ligne droite de l'émetteur au récepteur  $h_{obs}$  et les angles d'élévation de l'horizon  $\alpha_{obt}$ ,  $\alpha_{obr}$ , sur la base d'une géométrie pour une Terre plate:

$$h_{obs} = \max\{h_{obi}\} \quad \text{m} \quad (90a)$$

$$\alpha_{obt} = \max\{h_{obi} / d_i\} \quad \text{mrad} \quad (90b)$$

$$\alpha_{obr} = \max\{h_{obi} / (d - d_i)\} \quad \text{mrad} \quad (90c)$$

où:

$$h_{obi} = h_i - [h_{ts}(d - d_i) + h_{rs}d_i] / d \quad \text{m} \quad (90d)$$

et l'indice du profil  $i$  prend des valeurs comprises entre 2 et  $(n - 1)$ .

Calculer les valeurs provisoires des hauteurs de la surface régulière à l'extrémité émetteur et l'extrémité récepteur du trajet:

Si  $h_{obs} \leq 0$ , alors:

$$h_{stp} = h_{st} \quad \text{masl} \quad (91a)$$

$$h_{srp} = h_{sr} \quad \text{masl} \quad (91b)$$

sinon:

$$h_{stp} = h_{st} - h_{obs} g_t \quad \text{masl} \quad (91c)$$

$$h_{srp} = h_{sr} - h_{obs} g_r \quad \text{masl} \quad (91d)$$

où:

$$g_t = \alpha_{obt} / (\alpha_{obt} + \alpha_{obr}) \quad (91e)$$

$$g_r = \alpha_{obr} / (\alpha_{obt} + \alpha_{obr}) \quad (91f)$$

Calculer les valeurs finales des hauteurs de la surface régulière à l'extrémité émetteur et l'extrémité récepteur du trajet, dont on a besoin pour le modèle de diffraction:

Si  $h_{stp}$  est supérieure à  $h_1$  alors:

$$h_{std} = h_1 \quad \text{masl} \quad (92a)$$

sinon:

$$h_{std} = h_{stp} \quad \text{masl} \quad (92b)$$

Si  $h_{srp}$  est supérieure à  $h_n$  alors:

$$h_{srd} = h_n \quad \text{masl} \quad (92c)$$

sinon:

$$h_{srd} = h_{srp} \quad \text{masl} \quad (92d)$$

#### 5.1.6.4 Paramètres pour le modèle de réflexion par les conduits/sur les couches

Calculer les hauteurs, pour une Terre régulière, au niveau de l'émetteur et du récepteur dont on a besoin pour le paramètre d'irrégularité du terrain:

$$h_{st} = \min (h_{st}, h_1) \quad \text{m} \quad (93a)$$

$$h_{sr} = \min (h_{sr}, h_n) \quad \text{m} \quad (93b)$$

Si l'une de ces deux hauteurs,  $h_{st}$  ou  $h_{sr}$  ou les deux, ont dû être corrigées à l'aide des équations (93a) ou (93b), il faut également corriger la valeur de la pente,  $m$ , de la surface de la Terre régulière par la formule:

$$m = \frac{h_{sr} - h_{st}}{d} \quad \text{m/km} \quad (94)$$

Les hauteurs effectives du terminal pour le modèle de réflexion par les conduits/sur les couches,  $h_{te}$  et  $h_{re}$ , sont données par:

$$h_{te} = h_{tg} + h_1 - h_{st} \quad \text{m} \quad (95)$$

$$h_{re} = h_{rg} + h_n - h_{sr} \quad \text{m}$$

Le paramètre d'irrégularité du terrain,  $h_m$  (m), est la hauteur maximale du terrain au-dessus de la surface de la Terre régulière pour la section du trajet comprise entre les deux points d'horizon inclus:

$$h_m = \max_{i=i_{lt}}^{i_{lr}} [h_i - (h_{st} + m \cdot d_i)] \quad \text{m} \quad (96)$$

où:

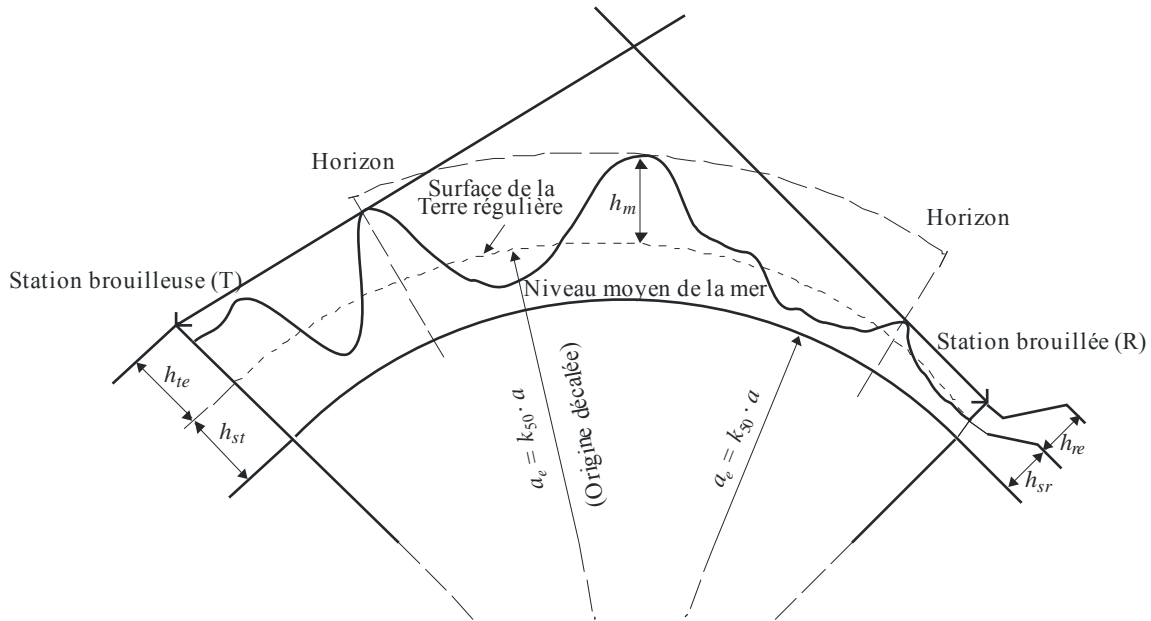
$i_{lt}$ : indice du point du profil à une distance  $d_{lt}$  de l'émetteur

$i_{lr}$ : indice du point du profil à une distance  $d_{lr}$  du récepteur.

Les notions de surface de la Terre régulière et de paramètre d'irrégularité du terrain  $h_m$ , sont illustrées sur la Fig. 4.

FIGURE 4

Exemple de surface de la Terre régulière et de paramètre d'irrégularité du terrain



P.1812-04

### Appendice 3 à l'Annexe 1

#### Approximation de la fonction de distribution normale cumulative complémentaire inverse

L'approximation donnée ci-après de la fonction de distribution normale cumulative complémentaire inverse est valable pour  $0,000001 \leq x \leq 0,999999$ , avec une erreur maximale de 0,00054. Si  $x < 0,000001$ , ce qui suppose que  $\beta_0 < 0,0001\%$ , la valeur de  $x$  doit être 0,000001. Le même raisonnement vaut pour  $x > 0,999999$ . Cette approximation peut être utilisée en toute confiance pour la fonction d'interpolation dans les équations (40b) et (59) ainsi que dans l'équation (71). Toutefois, dans le cas de cette dernière équation, la valeur de  $x$  doit être limitée à:  $0,01 \leq x \leq 0,99$ .

La fonction  $I(x)$  est donnée par:

$$I(x) = T(x) - \xi(x) \quad \text{pour } 0,000001 \leq x \leq 0,5 \quad (97a)$$

et, par symétrie:

$$I(x) = \xi(1-x) - T(1-x) \quad \text{pour } 0,5 < x \leq 0,999999 \quad (97b)$$

où:

$$T(x) = \sqrt{[-2 \ln(x)]} \quad (98a)$$

$$\xi(x) = \frac{[(C_2 \cdot T(x) + C_1) \cdot T(x)] + C_0}{[(D_3 \cdot T(x) + D_2) T(x) + D_1] T(x) + 1} \quad (98b)$$

$$C_0 = 2,515516698 \quad (98c)$$

$$C_1 = 0,802853 \quad (98d)$$

$$C_2 = 0,010328 \quad (98e)$$

$$D_1 = 1,432788 \quad (98f)$$

$$D_2 = 0,189269 \quad (98g)$$

$$D_3 = 0,001308 \quad (98h)$$

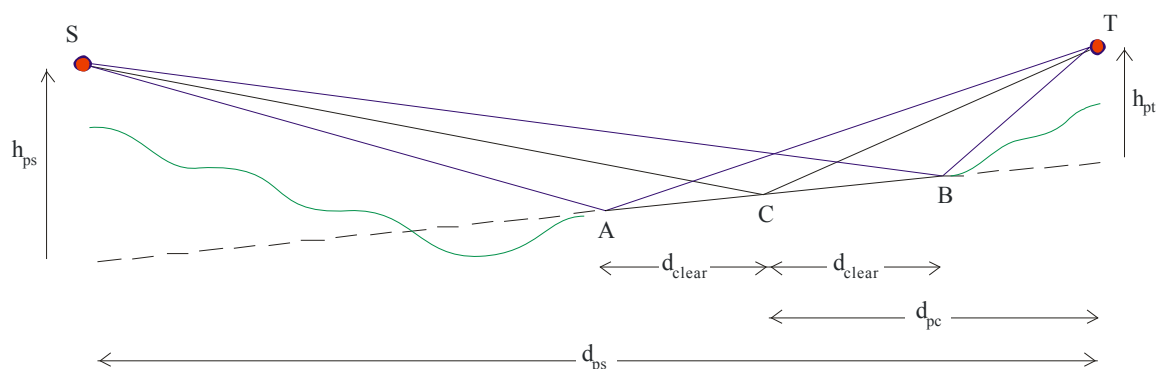
#### Appendice 4 à l'Annexe 1

### Critères de réflexion sur sol et calcul du premier maximum de réflexion

Le présent Appendice donne les critères permettant d'identifier des situations de réflexion de deux rayons sur le sol. Les informations requises relatives au trajet nécessiteront normalement une inspection détaillée de l'emplacement autour du terminal ou l'utilisation de données topographiques à résolution élevée (moins d'un mètre). Si les critères sont satisfaits, on peut calculer la hauteur pour le premier maximum de réflexion pour les deux rayons. Étant donné que cela correspond à un point spécifique de la distribution des niveaux du signal se propageant par trajets multiples, cette méthode ne devrait pas être utilisée pour les calculs en fonction de la variabilité des emplacements décrits au § 4.8 de la Recommandation et ne convient pas pour les calculs point à zone.

FIGURE 5

Géométrie requise pour les réflexions sur le sol



La Fig. 5 illustre la géométrie requise pour les réflexions sur le sol. Le point T à droite est le terminal considéré. Le point S est le point source de réflexion qui sera l'autre terminal dans le cas d'un trajet LoS ou l'horizon radioélectrique du point T dans le cas d'un trajet transhorizon.

La courbe verte correspond à un profil théorique. Une section du profil entre les points A et B doit être identifiée comme plate et régulière et il doit y avoir une visibilité directe avec dégagement de Fresnel intégral pour les droites S-A, S-B, A-T et B-T.

On utilise des unités cohérentes tout au long de cet Appendice.

Le point C est le point de réflexion spéculaire au centre du segment A-B, la distance entre ce point et le terminal étant donnée par:

$$d_{pc} = d_{ps} h_{ps} / (h_{ps} + h_{pt}) \quad (99)$$

où  $h_{ps}$  et  $h_{pt}$  sont respectivement les hauteurs des points S et T au-dessus de la droite A-B.

Le rayon de dégagement de Fresnel  $r_{clear}$  au point C est donné par l'équation:

$$r_{clear} = 0,6 \sqrt{\lambda d_{pc} (d_{ps} - d_{pc}) / d_{ps}} \quad (100)$$

où  $\lambda$  est la longueur d'onde.

La surface réfléchissante devrait être plate et régulière et en visibilité directe à la fois de S et T pour une zone de rayon  $r_{clear}$ , de chaque côté du trajet (c'est-à-dire à gauche et à droite) allant de T jusqu'à l'autre terminal.

Une approximation de la distance de dégagement requise  $d_{clear}$  de part et d'autre du point C en visibilité par rapport au trajet radioélectrique est donnée par l'équation:

$$d_{clear} \approx r_{clear} d_{pc} / h_{pt} \quad (101)$$

Un critère définissant le caractère-plat et régulier de la surface réfléchissante est donné par l'équation:

$$\Delta \approx \frac{\lambda d_{pc}}{10 h_{pt}} \quad (102)$$

Où  $\Delta$  est l'écart admissible de la surface de réflexion par rapport à un plan. Il doit être interprété sur une petite échelle en termes d'irrégularité et sur l'ensemble de la zone en termes de platitude.

Si les critères ci-dessus sont satisfaits, on peut calculer comme suit la valeur de  $R$  dans l'équation (64b):

$$R = \frac{\lambda d_{ps}}{4 h_{pt}} \quad (103)$$

Si la valeur de  $R$  calculée à l'aide de l'équation (103) est utilisé dans l'équation (64b), plus la hauteur du terminal décroît pour devenir inférieure à  $R$ , meilleure est l'approximation obtenue pour le modèle de Terre plane dans le cas de la réflexion de deux rayons à incidence rasante. Au fur et à mesure que la hauteur du terminal diminue, il faut étendre la surface réfléchissante plate et régulière (Fig. 5) jusqu'à l'autre terminal, ce qui équivaut au déplacement du point B vers la droite.

On peut aussi calculer la correction de la hauteur en fonction du gain en utilisant une sommation explicite sur les deux rayons, ce qui donne:

$$A_h = 20 \log \left[ 1 + \rho \exp \left( -j \frac{2\pi\delta}{\lambda} \right) \right] \quad (104)$$

où:

- $\rho$ : coefficient de réflexion complexe qui pour l'incidence rasante peut-être estimé comme étant un nombre pur de valeur approximative  $-0,95$
- $\delta$ : différence de longueur des trajets donnée par:

$$\delta = \frac{2h_{ps}h_{pt}}{d_{ps}} \quad (105)$$

Si l'équation (104) est utilisée, la valeur de  $A_h$  sera de +6 dB pour  $h_{pt} = R$ . Il y aura une discontinuité avec l'équation (64b) en ce point. Au fur et à mesure que l'on diminue  $h_{pt}$  en partant de  $R$ , l'équation (104) donnera un résultat proche de celui obtenu avec l'équation (64b). Si l'équation (104) est utilisée au-dessous de  $R$ , il faut tenir compte de l'avertissement concernant l'étendue de la surface réfléchissante. Si l'équation (104) est utilisée au-dessus de  $R$ , la surface réfléchissante doit exister à une distance supérieure correspondante depuis le terminal et faudra également tenir compte de la possibilité que la distance à la source  $d_s$  augmente, c'est-à-dire que la position du point S dans la Fig. 5 peut changer. Ce dernier problème peut être évité si la méthode de réflexion est utilisée uniquement pour un trajet LoS.

---