

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R P.1816-4**  
(08/2019)

**Prévision des profils temporels et spatiaux  
pour les services mobiles terrestres large  
bande utilisant les bandes d'ondes  
décimétriques et centimétriques**

**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 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, 2020

© UIT 2020

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.1816-4

**Prévision des profils temporels et spatiaux pour les services mobiles terrestres large bande utilisant les bandes d'ondes décimétriques et centimétriques**

(Question UIT-R 211/3)

(2007-2012-2013-2015-2019)

**Domaine d'application**

L'objet de la présente Recommandation est de fournir des indications relatives à la prévision des profils temporels et spatiaux pour les services mobiles terrestres large bande utilisant la gamme de fréquences comprises entre 0,7 GHz et 9 GHz sur une distance comprise entre 0,5 km et 3 km par des trajets NLoS (pas en visibilité directe) et entre 0,05 km et 3 km pour des trajets LoS (en visibilité directe) dans des environnements urbains et suburbains.

**Mots clés**

Caractéristiques de la propagation par trajets multiples, étalement des retards, nombre de trajets, amplitude, différence de longueur de trajet (retard), et angle d'arrivée

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) qu'il est nécessaire de conseiller les ingénieurs chargés de la planification des services mobiles large bande dans les bandes d'ondes décimétriques et centimétriques;
- b) que le profil spatio-temporel peut être important pour évaluer les effets de la propagation par trajets multiples;
- c) que l'on peut modéliser au mieux le profil spatio-temporel en considérant des conditions de propagation telles que la hauteur des bâtiments, la hauteur d'antenne, la distance entre la station de base et la station mobile ou encore la largeur de bande du récepteur,

*notant*

- a) qu'il est recommandé d'utiliser les méthodes décrites dans la Recommandation UIT-R P.1546 aux fins de prévision de la propagation point à zone du champ pour les services de radiodiffusion, mobile terrestre, maritime et certains services fixes entre 30 MHz et 3 000 MHz et pour une distance comprise entre 1 km et 1 000 km;
- b) qu'il est recommandé d'utiliser les méthodes de la Recommandation UIT-R P.1411 pour évaluer les caractéristiques de propagation de systèmes en extérieur à courte portée (jusqu'à 1 km) fonctionnant entre 300 MHz et 100 GHz;
- c) qu'il est recommandé d'utiliser les méthodes de la Recommandation UIT-R P.1411 pour évaluer la forme moyenne du profil de retard dans le cas d'un trajet en visibilité directe (LoS) dans un environnement urbain à bâtiments élevés pour des microcellules et des picocellules;
- d) qu'il est recommandé d'utiliser les méthodes de la Recommandation UIT-R P.1407 pour spécifier la terminologie associée à la propagation par trajets multiples et calculer l'étalement des retards et l'étalement des angles d'arrivée en utilisant respectivement le profil de retard et le profil d'angle d'arrivée;

e) qu'il est recommandé d'utiliser les méthodes de la Recommandation UIT-R M.1225 pour évaluer la qualité de fonctionnement des systèmes IMT-2000 affectés par la propagation par trajets multiples,

*recommande*

**1** d'utiliser le contenu de l'Annexe 1 pour évaluer les profils d'enveloppe et de puissance à long terme en fonction du retard pour les services mobiles large bande utilisant les bandes d'ondes décimétriques et centimétriques dans des zones urbaines et suburbaines;

**2** d'utiliser le contenu de l'Annexe 2 pour évaluer le profil de puissance à long terme en fonction de l'angle d'arrivée au niveau de la station de base pour les services mobiles large bande utilisant les bandes d'ondes décimétriques et centimétriques dans des zones urbaines et suburbaines;

**3** d'utiliser le contenu de l'Annexe 3 pour évaluer le profil de puissance à long terme en fonction de l'angle d'arrivée au niveau de la station mobile pour les services mobiles large bande utilisant les bandes d'ondes décimétriques et centimétriques dans des zones urbaines et suburbaines.

NOTE – Les études de partage réalisées par l'UIT-R au titre de différents points de l'ordre du jour de la CMR-19 ont été menées sur la base du texte de la présente Recommandation qui était en vigueur au moment où les activités ont été réalisées.

## Annexe 1

### 1 Introduction

L'importance du profil de retard est soulignée dans la Recommandation UIT-R P.1407.

La connaissance des caractéristiques de propagation par trajets multiples dans les liaisons du service mobile est un élément majeur pour maîtriser la qualité de transmission de signaux numériques. Physiquement, les caractéristiques de la propagation par trajets multiples comprennent le nombre de trajets, les amplitudes, les différences de longueur de trajet (retard) et les angles d'arrivée. Ces caractéristiques peuvent se traduire en termes de fonction de transfert du trajet de propagation (caractéristiques amplitude-fréquence) et de largeur de bande de corrélation.

Comme on l'a mentionné, le profil de retard est un paramètre fondamental pour évaluer les caractéristiques de propagation par trajets multiples. Une fois le profil modélisé, on peut en déduire des paramètres de propagation par trajets multiples tels que l'étalement des retards et la largeur de bande de corrélation de fréquence.

Les paramètres de propagation relatifs à l'environnement des trajets affectent la forme du profil. Un profil est formé à partir de plusieurs ondes caractérisées par différentes amplitudes et différents retards. On sait que les ondes dont le retard est important présentent une amplitude faible parce que le trajet parcouru est long. On utilise une fonction exponentielle ou une fonction de puissance comme approximation de la valeur moyenne du profil de retard (profils de retard à long terme), comme indiqué dans des travaux précédents.

Le nombre d'ondes incidentes d'un profil de retard ainsi leur période dépendent de la largeur de bande de réception car la résolution temporelle est limitée par la largeur de bande du récepteur. Pour évaluer le profil de retard, il convient de considérer la limitation de la largeur de bande. Cette limite est étroitement liée à la méthode utilisée pour répartir la puissance reçue entre plusieurs ondes.

Pour tenir compte de la largeur de bande ou de la résolution de trajet, on définit comme profil de retard de trajet le profil de retard associé à un nombre discret de trajets.

Dans la Recommandation UIT-R P.1407, la Fig. 1 illustre différents profils de retard et leurs méthodes de traitement.

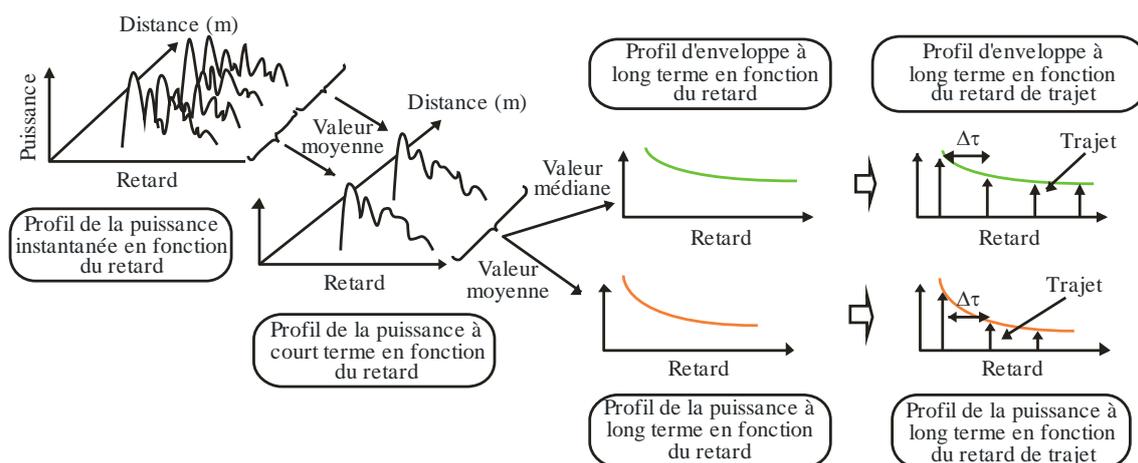
Le profil de la puissance instantanée en fonction du retard est la densité de puissance de la réponse impulsionnelle à un moment et en un point donnés. Les profils de la puissance à court terme en fonction du retard sont obtenus en faisant la moyenne spatiale sur plusieurs dizaines de longueurs d'ondes des profils de la puissance instantanée en fonction du retard afin d'éliminer les variations d'évanouissement rapide; les profils de la puissance à long terme en fonction du retard sont obtenus en faisant la moyenne spatiale des profils de la puissance à court terme en fonction du retard à une distance approximativement constante de la station de base afin d'éliminer en outre les variations dues à l'effet d'écran.

En ce qui concerne le profil de retard à long terme, on peut définir deux profils. Le premier, appelé profil d'enveloppe en fonction du retard, est fondé sur le calcul de la valeur médiane pour chaque profil de retard; il décrit la forme du profil sur la zone considérée (voir la Fig. 1). Le second, appelé profil de puissance en fonction du retard, repose sur le calcul de la valeur moyenne de puissance pour chaque profil de retard.

En outre, en ce qui concerne les profils d'enveloppe et de puissance à long terme en fonction du retard, on définit aussi des profils de retard en fonction du trajet composés de trajets discrets pour obtenir la variation du nombre de trajets en fonction de la résolution du trajet qui dépend de la largeur de bande de fréquences.

FIGURE 1

## Profils de retard



P.1816-01

## 2 Paramètres

$\tau$  : retard supplémentaire ( $\mu\text{s}$ )

$i$  : retard supplémentaire normalisé par la résolution temporelle  $1/B$  pour une largeur de bande  $B$  ( $\mu\text{s}$ ) et  $i = 0, 1, 2, \dots$  (ici  $i = 0$  désigne le premier trajet d'arrivée sans retard supplémentaire et  $i = k$  désigne un retard  $k/B$  ( $\mu\text{s}$ ))

$\langle H \rangle$  : hauteur moyenne des bâtiments (5-50 m: hauteur au-dessus du niveau du sol de la station mobile) en mètres

- $h_b$ : hauteur d'antenne de la station de base (5-150 m: hauteur au-dessus du niveau du sol de la station mobile) en mètres
- $d$ : distance par rapport à la station de base (0,5-3 km, pour un environnement NLoS et 0,05-3 km pour un environnement LoS) en kilomètres
- $W$ : largeur de la rue (5-50 m) en mètres
- $B$ : débit d'éléments (0,5-50 Méléments/s) (la largeur de bande occupée peut être convertie depuis le débit d'éléments  $B$  et appliquée au filtre en bande de base)
- $f$ : fréquence de la porteuse (0,7-9 GHz) en GHz
- $\langle R \rangle$ : coefficient de réflexion de puissance moyen du mur latéral du bâtiment ( $< 1$ )
- $\gamma_{dB}$ : valeur constante (de  $-16$  dB à  $-12$  dB) en (dB)
- $\gamma$ :  $10^{\gamma_{dB}/10}$
- $\Delta L$ : différence de niveaux entre la puissance crête sur le trajet et la puissance de coupure (dB).

### 3 Profil de retard à long terme pour un environnement NLoS dans des zones urbaines et suburbaines

#### 3.1 Profil d'enveloppe en fonction du retard normalisé par la puissance associée au premier trajet d'arrivée

Le profil d'enveloppe en fonction du retard de trajet  $PDP_{NLoS,env}(i, d)$  divisé par la résolution temporelle  $1/B$  normalisé par la puissance associée au premier trajet d'arrivée pour une distance  $d$  est donné par l'équation suivante:

$$PDP_{NLoS,env}(i, d) = 10^{PDP_{dB}(i, d)/10} \quad (1)$$

où:

$$PDP_{dB}(i, d) = a(i) \cdot PDP_{high}(i, d) \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

$$PDP_{high}(i, d) = -\{19,1 + 9,68 \log(h_b/\langle H \rangle)\} B^{\{-0,36+0,12 \log(h_b/\langle H \rangle)\}} d^{\{-0,38+0,21 \log(B)\}} \log(1 + i) \text{ dB} \quad (2-1)$$

$$a(i) = \left( 0,4 + (1 - 0,4) \exp\left[-0,2 \left(\frac{\langle H \rangle}{h_b}\right)^4\right] \right) + \left( \left(\frac{\langle H \rangle}{h_b}\right) \left(1 - \exp\left[-0,4 \left(\frac{\langle H \rangle}{h_b}\right)^2\right]\right) \right) (i/B) \quad (2-2)$$

Le profil d'enveloppe en fonction du retard  $PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$  avec retard supplémentaire continu normalisé par la puissance associée au premier trajet arrivant pour une distance  $d$  est donné par l'équation suivante:

$$PDP_{NLoS,env}(\tau, d) = PDP_{NLoS,env}(B\tau, d) \quad (3)$$

Pour l'équation (3), on utilise la relation ( $\tau = i/B \Rightarrow i = B\tau$ ).

### 3.2 Profil de puissance en fonction du retard normalisé par la puissance associée au premier trajet d'arrivée

Le profil de puissance en fonction du retard de trajet  $PDP_{NLoS,pow}(i,d)$  divisé par la résolution temporelle  $1/B$  normalisé par la puissance associée au premier trajet pour une distance  $d$  est donné par l'équation suivante:

$$PDP_{NLoS,pow}(i,d) = c(i) \cdot 10^{PDP_{ab}(i,d)/10} \quad (4)$$

où:

$$c(i) = \begin{cases} 1 & (i = 0) \\ \min(0,63, \{0,59e^{-0,0172B} + (0,0172 + 0,0004B) < H >\}) e^{-\{(0,077-0,00096B)-(0,0014-0,000018B)<H>\}} & (i \geq 1) \end{cases} \quad (5)$$

Ici,  $\min(x, y)$  donne la valeur minimale entre  $x$  et  $y$ .

Le profil de puissance en fonction du retard  $PDP_{NLoS,pow}(\tau, d)$  avec un retard supplémentaire continu normalisé par la puissance associée au premier trajet d'arrivée pour une distance  $d$  est donné par l'équation suivante:

$$PDP_{NLoS,pow}(\tau, d) = PDP_{NLoS,pow}(B\tau, d) \quad (6)$$

### 3.3 Exemples

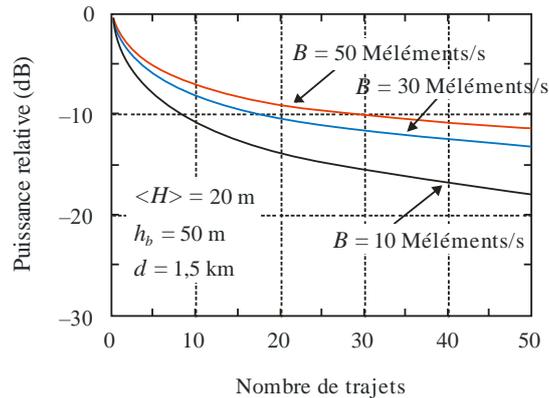
#### 3.3.1 Profil d'enveloppe en fonction du retard normalisé par la puissance associée au premier trajet d'arrivée

Lorsque la hauteur de l'antenne de la station de base  $h_b$ , la distance par rapport à la station de base  $d$  et la hauteur moyenne des bâtiments  $\langle H \rangle$  ont respectivement pour valeurs 50 m, 1,5 km et 20 m, le profil d'enveloppe en fonction du retard de trajet  $PDP_{NLoS,env}(i,d)$  est représenté à la Fig. 2, suivant la valeur du paramètre  $B$  (débit d'éléments).

Lorsque la hauteur moyenne des bâtiments  $\langle H \rangle$ , la distance par rapport à la station de base  $d$  et le débit d'éléments  $B$  ont respectivement pour valeurs 20 m, 1,5 km et 10 Méléments/s, le profil d'enveloppe en fonction du retard  $PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$  est représenté à la Fig. 3, suivant la valeur du paramètre  $h_b$  (hauteur de l'antenne de la station de base).

FIGURE 2

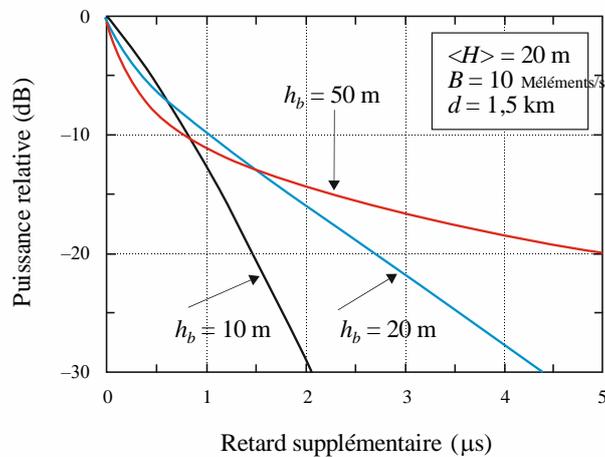
Profil d'enveloppe en fonction du retard de trajet  $PDP_{NLoS,env}(i, d)$   
pour des environnements NLoS



P.1816-02

FIGURE 3

Profil d'enveloppe en fonction du retard de trajet  $PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$   
pour des environnements NLoS



P.1816-03

### 3.3.2 Profil de puissance en fonction du retard normalisé par la puissance associée au premier trajet d'arrivée

Lorsque la hauteur de l'antenne de la station de base  $h_b$ , la distance par rapport à la station de base  $d$  et la hauteur moyenne des bâtiments  $\langle H \rangle$  ont respectivement pour valeurs 50 m, 1,5 km et 20 m, le profil de puissance en fonction du retard de trajet  $PDP_{NLoS,pow}(i, d)$  est représenté sur la Fig. 4, suivant la valeur du paramètre  $B$  (débit d'éléments).

Lorsque la hauteur moyenne des bâtiments  $\langle H \rangle$ , la distance par rapport à la station de base  $d$  et le débit d'éléments  $B$  ont respectivement pour valeurs 20 m, 1,5 km et 10 Méléments/s, le profil de puissance en fonction du retard  $PDP_{NLoS,pow}(\tau, d)$  est représenté à la Fig. 5, suivant la valeur du paramètre  $h_b$  (hauteur de l'antenne de la station de base).

FIGURE 4

Profil de puissance en fonction du retard de trajet  $PDP_{NLoS,pow}(i,d)$   
pour des environnements NLoS

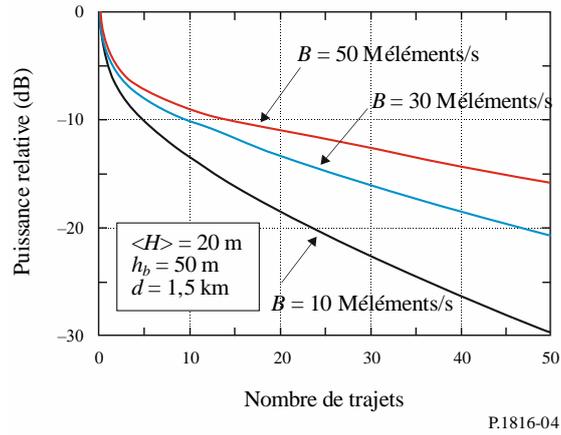
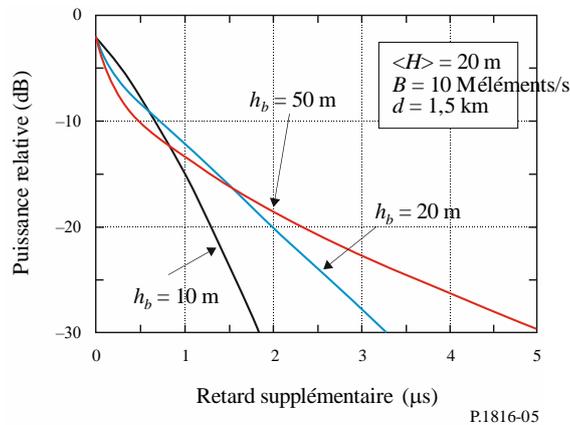


FIGURE 5

Profil de puissance en fonction du retard  $PDP_{NLoS,pow}(\tau,d)$   
pour des environnements NLoS

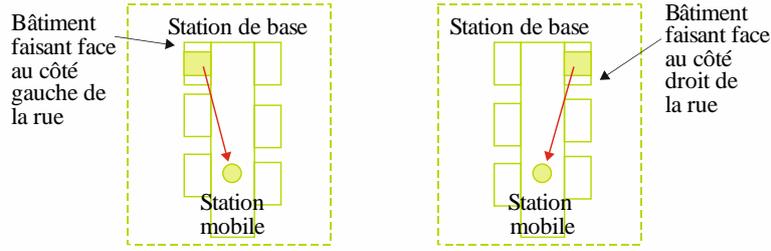


#### 4 Profil de retard à long terme pour un environnement LoS dans des zones urbaines et suburbaines

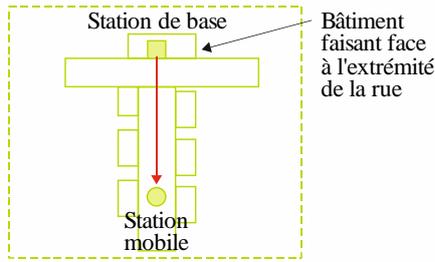
##### 4.1 Environnements LoS considérés

La Fig. 6 illustre les environnements LoS considérés. Dans la Fig. 6(a), la station de base est située sur le toit du bâtiment face au côté droit ou au côté gauche de la rue et la station mobile est située dans la rue. La station de base est en visibilité directe de la station mobile. Dans la Fig. 6(b), la station de base est située à peu près au centre du toit du bâtiment faisant face à l'extrémité de la rue et la station mobile est située au milieu de la rue.

FIGURE 6  
Environnements LoS considérés



(a) Station de base faisant face au côté gauche ou droit de la rue



(b) Station de base faisant face à l'extrémité de la rue

P.1816-06

#### 4.2 Profil d'enveloppe en fonction du retard normalisé par la puissance associée au premier trajet d'arrivée

Le profil d'enveloppe en fonction du retard  $PDP_{LoS,env}(\tau, d)$  normalisé par la puissance associée au premier trajet d'arrivée pour une distance  $d$  est donné par l'équation suivante:

a) Station de base faisant face au côté gauche ou droit de la rue

$$PDP_{LoS,env}(\tau, d) = \langle R \rangle \left( \frac{\sqrt{1+8(1000d)(300\tau)/W^2}-1}{2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,env}(\tau, d) \quad (7-1)$$

b) Station de base faisant face à l'extrémité de la rue

$$PDP_{LoS,env}(\tau, d) = \langle R \rangle^{\sqrt{2(1000d)(300\tau)/W^2}} \cdot \left( 2 - e^{-5.2(1000d)(300\tau)/W^2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$$

$$\approx \langle R \rangle \left( \frac{\sqrt{1+8(1000d)(300\tau)/W^2}-1}{2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,env}(\tau, d) \quad (7-2)$$

Ici,  $PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$  est le profil d'enveloppe en fonction du retard pour des environnements NLOS donnés dans l'équation (3) normalisé par la puissance associée au premier trajet d'arrivée pour la distance  $d$ ;  $\gamma$  est une valeur constante comprise entre  $-12$  dB et  $-16$  dB, en fonction de la structure de la ville;  $\langle R \rangle$  est le coefficient de réflexion de puissance moyenne du mur latéral du bâtiment, valeur constante comprise entre 0,1 et 0,5.

Il est recommandé que  $\gamma$  et  $\langle R \rangle$  prennent respectivement les valeurs de  $-15$  dB et 0,3 ( $-5$  dB) dans le cas de zones urbaines où la hauteur moyenne des bâtiments  $\langle H \rangle$  est supérieure à 20 m.

### 4.3 Profil de puissance en fonction du retard normalisé par la puissance associée au premier trajet d'arrivée

Le profil de puissance en fonction du retard  $PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$  normalisé par la puissance associée au premier trajet pour une distance  $d$  est donnée par l'équation suivante:

- a) Station de base faisant face au côté gauche ou droit de la rue

$$PDP_{LoS,pow}(\tau, d) = \langle R \rangle \left( \frac{\sqrt{1+8(1000d)(300\tau)/W^2}-1}{2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,pow}(\tau, d) \quad (8-1)$$

- b) Station de base faisant face à l'extrémité de la rue

$$PDP_{LoS,pow}(\tau, d) = \langle R \rangle \sqrt{2(1000d)(300\tau)/W^2} \cdot \left( 2 - e^{-5 \cdot 2(1000d)(300\tau)/W^2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,pow}(\tau, d) \\ \approx \langle R \rangle \left( \frac{\sqrt{1+8(1000d)(300\tau)/W^2}-1}{2} \right) + \gamma \cdot PDP_{NLoS,pow}(\tau, d) \quad (8-2)$$

Ici,  $PDP_{NLoS,env}(\tau, d)$  est le profil de puissance en fonction du retard pour les environnements NLoS donné dans l'équation (6) normalisé par la puissance associée au premier trajet d'arrivée pour une distance  $d$ .  $\gamma$  est une valeur constante comprise entre  $-12$  dB et  $-16$  dB, en fonction de la structure de la ville.  $\langle R \rangle$  est le coefficient de réflexion de puissance moyenne du mur latéral du bâtiment.

Il est recommandé que  $\gamma$  et  $\langle R \rangle$  prennent respectivement les valeurs de  $-15$  dB et  $0,3$  ( $-5$  dB) dans le cas de zones urbaines où la hauteur moyenne des bâtiments  $\langle H \rangle$  est supérieure à  $20$  m.

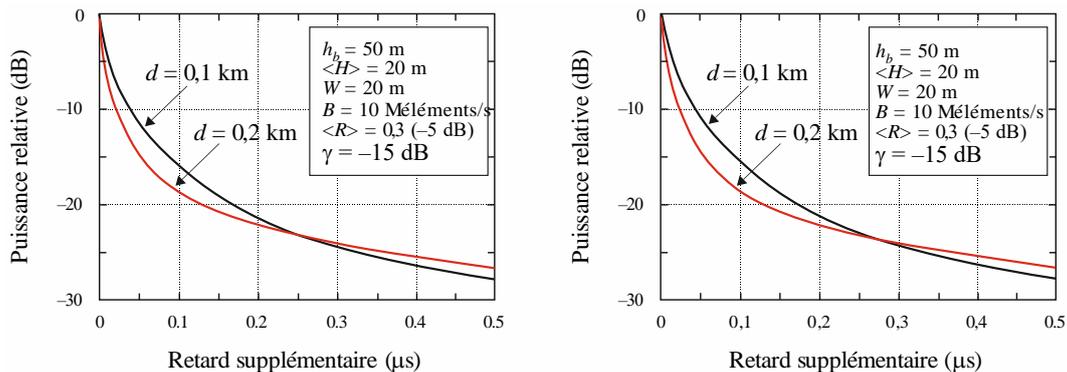
### 4.4 Exemples

#### 4.4.1 Profil d'enveloppe en fonction du retard normalisé par la puissance associée au premier trajet d'arrivée

Lorsque la hauteur d'antenne de la station de base  $h_b$ , la hauteur moyenne des bâtiments  $\langle H \rangle$ , le débit d'éléments  $B$ ,  $\gamma$  et  $\langle R \rangle$  ont respectivement pour valeurs  $50$  m,  $20$  m,  $10$  Méléments/s,  $-15$  dB et  $0,3$  ( $-5$  dB), le profil d'enveloppe en fonction du retard  $PDP_{LoS,env}(\tau, d)$  est représenté sur la Fig. 7, suivant la valeur du paramètre  $d$  (distance par rapport à la station de base).

FIGURE 7

Profil d'enveloppe en fonction du retard  $PDP_{LoS,env}(\tau, d)$  pour des environnements LoS



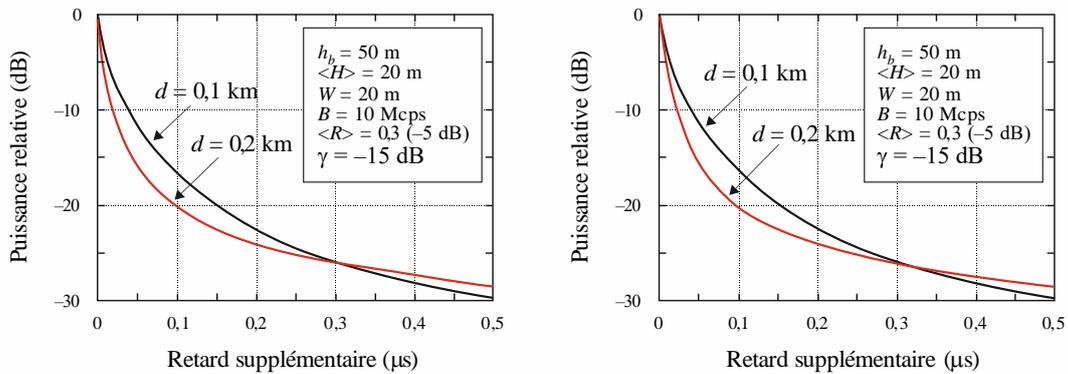
(a) Station de base faisant face au côté gauche ou droit de la rue (b) Station de base faisant face à l'extrémité de la rue

#### 4.4.2 Profil de puissance en fonction du retard normalisé par la puissance associée au premier trajet d'arrivée

Lorsque la hauteur d'antenne de la station de base  $h_b$ , la hauteur moyenne des bâtiments  $\langle H \rangle$ , le débit d'éléments  $B$ ,  $\gamma$  et  $\langle R \rangle$  ont respectivement pour valeurs 50 m, 20 m, 10 Méléments/s, -15 dB et 0,3 (-5 dB), le profil de puissance en fonction du retard de trajet  $PDP_{LoS, pow}(\tau, d)$  est représenté sur la Fig. 8, suivant la valeur du paramètre  $d$  (distance par rapport à la station de base).

FIGURE 8

Profil de puissance en fonction du retard  $PDP_{LoS, pow}(\tau, d)$  pour des environnements LoS



(a) Station de base faisant face au côté gauche ou droit de la rue (b) Station de base faisant face à l'extrémité de la rue

P.1816-0 8

## Annexe 2

### 1 Introduction

L'importance du profil d'angle d'arrivée est soulignée dans la Recommandation UIT-R P.1407.

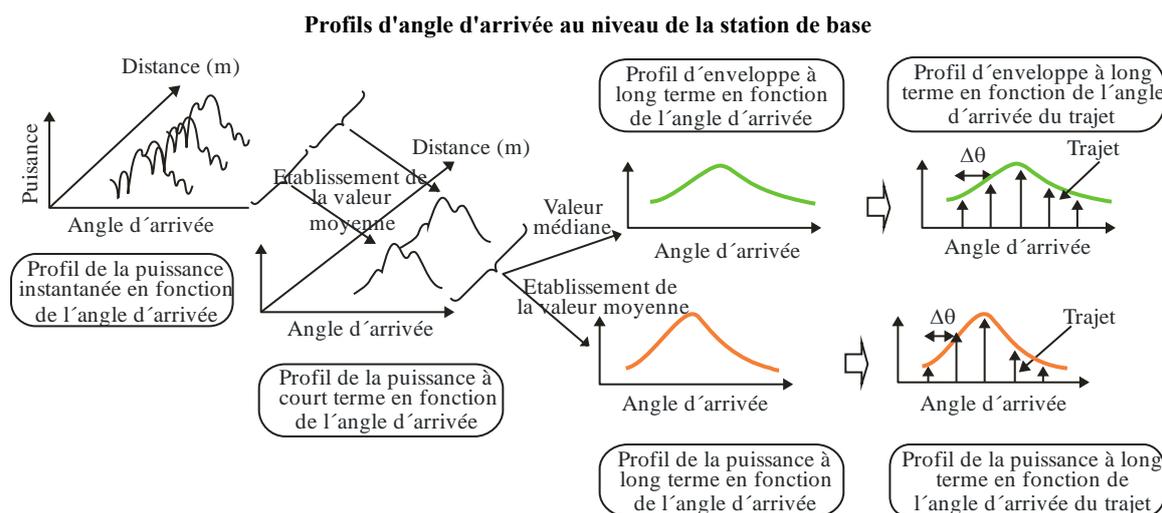
La connaissance des caractéristiques de propagation par trajets multiples dans les liaisons du service mobile est un élément majeur pour maîtriser la qualité de transmission de signaux numériques. Physiquement, les caractéristiques de la propagation par trajets multiples comprennent le nombre de trajets, les amplitudes, les différences de longueur de trajet (retard) et les angles d'arrivée. Ces caractéristiques peuvent se traduire en termes de fonction de transfert du trajet de propagation (caractéristiques amplitude-fréquence) et de largeur de bande de corrélation.

Comme on l'a mentionné, le profil d'angle d'arrivée est un paramètre fondamental pour évaluer les caractéristiques de propagation par trajets multiples. Une fois le profil modélisé, on peut en déduire des paramètres de propagation par trajets multiples tels que l'étalement des angles d'arrivée et la distance de corrélation spatiale.

Les paramètres de propagation relatifs à l'environnement des trajets affectent la forme du profil. Un profil est formé à partir de plusieurs ondes caractérisées par différentes amplitudes et différents angles d'arrivée. On sait que les ondes dont l'angle d'arrivée est grand présentent des amplitudes faibles parce que le trajet parcouru est long. Dans les travaux précédents, une fonction de Gauss ou de Laplace (dont les deux extrémités sont à décroissance exponentielle) est utilisée comme approximation du profil d'angle d'arrivée moyen (profil d'angle d'arrivée à long terme) au niveau de la station de base.

Les divers profils d'angle d'arrivée et les méthodes de traitement correspondantes sont définis dans la Recommandation UIT-R P.1407. Sur la base de cette Recommandation, le profil d'angle d'arrivée au niveau de la station de base est défini et illustré à la Fig. 9. Le profil de la puissance instantanée en fonction de l'angle d'arrivée est la densité de puissance de la réponse impulsionnelle en ce qui concerne l'angle d'arrivée à un moment et en un point donnés. Le profil de la puissance à court terme en fonction de l'angle d'arrivée est obtenu en faisant la moyenne spatiale sur plusieurs dizaines de longueurs d'onde des profils de la puissance instantanée en fonction de l'angle d'arrivée en vue de supprimer les variations dues aux évanouissements rapides; le profil de la puissance à long terme en fonction de l'angle d'arrivée est obtenu en faisant la moyenne spatiale des profils de la puissance à court terme en fonction de l'angle d'arrivée à une distance approximativement constante de la station de base en vue d'éliminer les variations dues à l'effet d'écran.

FIGURE 9



P1816-09

## 2 Paramètres

- $h_b$ : hauteur d'antenne de la station de base (m) (20-150 m: hauteur au-dessus du niveau du sol de la station mobile)
- $\langle H \rangle$ : hauteur moyenne des bâtiments (m), (5-50 m: hauteur au-dessus du niveau du sol de la station mobile)
- $d$ : distance par rapport à la station de base (km), (0,5-3 km pour les environnements NLoS, 0,05-3 km pour les environnements LoS)
- $W$ : largeur de la rue (5-50 m) (m)
- $B$ : débit d'éléments (0,5-50 Méléments/s) (Méléments/s)  
(la largeur de bande occupée peut être obtenue à partir du débit d'éléments  $B$  et appliquée au filtre en bande de base)
- $f$ : fréquence de la porteuse (GHz), (0,7-9 GHz)
- $\langle R \rangle$ : coefficient de réflexion de puissance du mur latéral du bâtiment ( $< 1$ )
- $\gamma_{dB}$ : valeur constante (de -16 dB et -12 dB), (dB)
- $\gamma$ :  $10^{\gamma_{dB}/10}$
- $\Delta L$ : différence de niveaux entre la puissance crête sur le trajet et la puissance de coupure (dB).

### 3 Profil d'angle d'arrivée en azimut à long terme au niveau de la station de base pour un environnement NLoS dans des zones urbaines et suburbaines

#### 3.1 Profil d'angle d'arrivée au niveau de la station de base normalisé par la puissance maximale associée au trajet

Le profil de la puissance en fonction de l'angle d'arrivée en azimut au niveau de la station de base  $AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d)$  normalisé par la puissance maximale associée à un trajet, pour une distance  $d$ , est donné par:

$$AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) = \left(1 + \frac{|\Delta\theta|}{a(d)}\right)^{-\beta(d)} \quad (9)$$

où:

$$a(d) = -0,2d + 2,1 \left\{ \left( \frac{\langle H \rangle}{h_b} \right)^{0,23} \right\} \quad (10)$$

$$\beta(d) = (-0,015\langle H \rangle + 0,63)d - 0,16 + 0,76 \log(h_b)$$

L'angle d'arrivée en azimut maximal au niveau de la station de base  $a_M$  (degrés) est donné par l'équation suivante:

$$a_M = -\zeta \cdot d + \eta \quad (11)$$

où  $\zeta$  et  $\eta$  sont des constantes calculées comme suit en fonction de la hauteur d'antenne de la station de base  $h_b$ , de la hauteur moyenne des bâtiments  $\langle H \rangle$  et du niveau de seuil  $\Delta L$  (dB):

$$\zeta = \begin{cases} (-7,67 + 0,98\Delta L) \cdot \exp\left(\frac{\langle H \rangle}{h_b} \cdot (2,66 - 0,18\Delta L)\right) & (\Delta L \leq 15) \\ 7 & (\Delta L > 15) \end{cases} \quad (12)$$

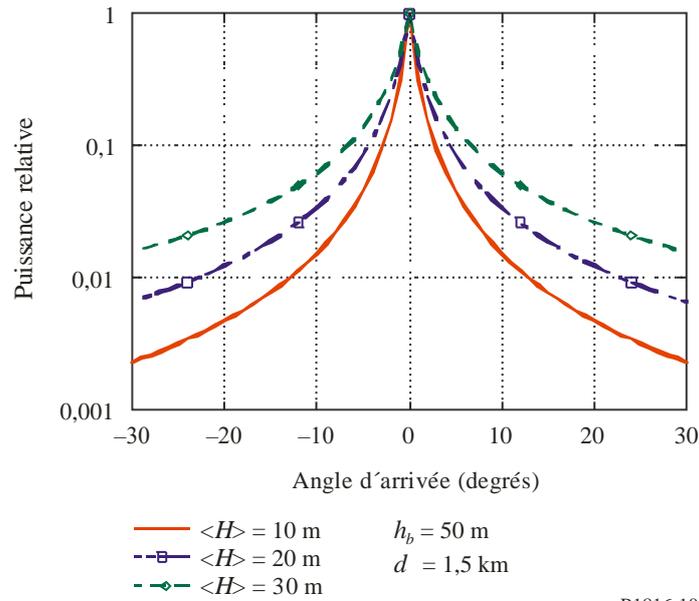
$$\eta = (-35,8 + 41,1 \log(\Delta L)) \cdot \exp\left(\frac{\langle H \rangle}{h_b} \cdot (1,76 - 0,034\Delta L)\right)$$

D'après des études empiriques, l'équation (9) est appliquée pour des fréquences de porteuse comprises entre 0,7 GHz et 9 GHz.

#### 3.2 Exemple

Lorsque la hauteur d'antenne de la station de base  $h_b$  et la distance par rapport à la station de base  $d$  ont respectivement pour valeurs 50 m et 1,5 km, le profil de la puissance en fonction de l'angle d'arrivée en azimut au niveau de la station de base  $AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d)$  pour des environnements NLoS est représenté sur la Fig. 10, suivant la valeur du paramètre  $\langle H \rangle$  (hauteur moyenne des bâtiments).

FIGURE 10  
 Profil d'angle d'arrivée en azimuth au niveau de la station de base pour des environnements NLoS



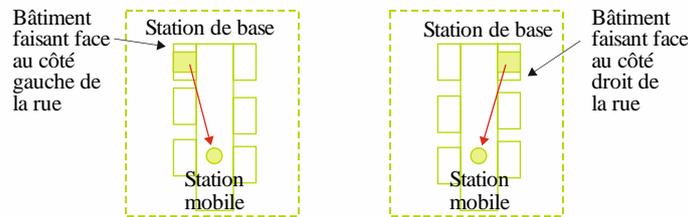
P1816-10

#### 4 Profil d'angle d'arrivée en azimuth à long terme au niveau de la station de base pour un environnement LoS dans des zones urbaines et suburbaines

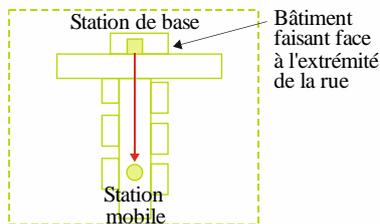
##### 4.1 Environnements LoS considérés

La Figure 11 illustre les environnements LoS considérés. Dans la Fig. 11(a), la station de base est située sur le toit d'un bâtiment faisant face au côté gauche ou droit de la rue et la station mobile est située au milieu de la rue; la station de base est en visibilité directe de la station mobile. Dans la Fig. 11(b), la station de base est située pratiquement au centre du toit d'un bâtiment faisant face à l'extrémité de la rue et la station mobile est située au milieu de la rue.

FIGURE 11  
 Environnements LoS considérés



(a) Station de base faisant face au côté gauche ou droit de la rue



(b) Station de base faisant face à l'extrémité de la rue

P.1816-11

#### 4.2 Profil d'angle d'arrivée au niveau de la station de base normalisé par la puissance maximale associée au trajet

Le profil de la puissance en fonction de l'angle d'arrivée en azimut au niveau de la station de base  $AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d)$  normalisé par la puissance maximale associée au trajet, pour une distance  $d$ , est donné comme suit:

a) Station de base faisant face au côté gauche ou droit de la rue

i) Station de base faisant face au côté droit de la rue (Fig. 11(a))

$$AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d) = \begin{cases} \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) & (\Delta\theta \geq 0) \\ \langle R \rangle^{1000d|\Delta\theta|\pi/180W} + \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) & (\Delta\theta < 0) \end{cases} \quad (13-1)$$

ii) Station de base faisant face au côté gauche de la rue (Fig. 11(a))

$$AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d) = \begin{cases} \langle R \rangle^{1000d|\Delta\theta|\pi/180W} + \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) & (\Delta\theta \geq 0) \\ \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) & (\Delta\theta < 0) \end{cases} \quad (13-2)$$

b) Station de base faisant face à l'extrémité de la rue

$$AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d) = \langle R \rangle^{1000d|\Delta\theta|\pi/(180W)} + \gamma \cdot AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d) \quad (13-3)$$

Ici,  $AOD_{NLoS,pow}(\Delta\theta, d)$  est le profil d'angle d'arrivée en azimut au niveau de la station de base pour des environnements NLoS donné dans l'équation (9) normalisé par la puissance maximale associée au trajet par une distance  $d$ .  $\gamma$  est une valeur constante comprise entre  $-12$  dB et  $-16$  dB en fonction de la structure de la ville.  $\langle R \rangle$  est le coefficient de réflexion de puissance moyenne du mur latéral du bâtiment et prend une valeur constante comprise entre 0,1 et 0,5. À noter que les équations (13-1) et (13-2) sont parfaitement symétriques pour ce qui est de l'angle d'arrivée au niveau de la station de base.

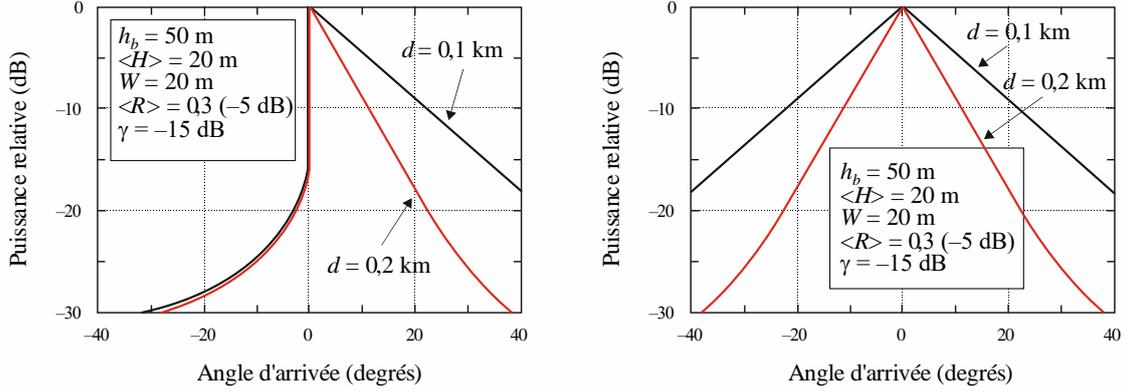
Il est recommandé que  $\gamma$  et  $\langle R \rangle$  prennent respectivement les valeurs de  $-15$  dB et 0,3 ( $-5$  dB) dans le cas de zones urbaines où la hauteur moyenne des bâtiments  $\langle H \rangle$  est supérieure à 20 m.

#### 4.3 Exemples

Lorsque la hauteur de l'antenne de la station de base  $h_b$ , la hauteur moyenne des bâtiments  $\langle H \rangle$  et la largeur de la rue  $W$  ont respectivement pour valeurs 50 m, 30 m et 20 m, et  $\langle R \rangle$  et  $\gamma$  ont respectivement pour valeurs 0,3 ( $-5$  dB) et  $-15$  dB, le profil de la puissance en fonction de l'angle d'arrivée en azimut au niveau de la station de base  $AOD_{LoS,pow}(\Delta\theta, d)$  dans le cas de la Fig. 11 pour des environnements LoS est illustré à la Fig. 12, suivant la valeur du paramètre  $d$  (distance par rapport à la station de base).

FIGURE 12

Profil d'angle d'arrivée en azimuth au niveau de la station de base  $AOD_{LoS, pow}(\Delta\theta, d)$  pour des environnements LoS



(a) Station de base faisant face au côté gauche ou droit de la rue (b) Station de base faisant face à l'extrémité de la rue  
P.1816- 12

## 5 Profil d'angle d'arrivée en élévation à long terme au niveau de la station de base pour un environnement NLoS dans des zones urbaines et suburbaines

### 5.1 Paramètres

$d$ : distance par rapport à la station de base (0,2-3 km pour un environnement NLoS), (km).

Les autres paramètres sont les mêmes qu'au § 2.

### 5.2 Profil d'angle d'arrivée au niveau de la station de base normalisé par la puissance maximale associée au trajet

Le profil de la puissance en fonction de l'angle d'arrivée en élévation au niveau de la station de base,  $AOD_{NLoS, pow}^V(\Delta\theta_V, d)$ , normalisé par la puissance maximale associée à un trajet, pour une distance  $d$ , est donné par:

$$AOD_{NLoS, pow}^V(\Delta\theta_V, d) = \text{Exp}[-|\Delta\theta_V| / \sigma_V(d)] \quad (14)$$

où:

$$\sigma_V(d) = \frac{(h_b - \langle H \rangle) \cdot k_x}{(h_b - \langle H \rangle)^2 + (1000d)^2} \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (h_b \gg \langle H \rangle) \quad (15-1)$$

$$k_x = \begin{cases} 320 \cdot \left(\frac{h_b}{\langle H \rangle}\right)^{-1.14} & (\Delta\theta_V < 0) \\ 59 \cdot \left(\frac{h_b}{\langle H \rangle}\right)^{-0.56} \cdot \left\{ 1 + 5.5 \cdot \text{Exp}\left[-\left(\left(\frac{h_b}{\langle H \rangle}\right) - 1\right)^{1.4}\right] \right\} & (\Delta\theta_V \geq 0) \end{cases} \quad (15-2)$$

Par ailleurs, il faut prendre en compte la directivité de l'antenne de la station de base dans le plan vertical,  $G^V(\Delta\theta_V)$ , si l'on veut estimer avec précision les données de mesure du profil d'angle d'arrivée en élévation.

Si l'on tient compte de la directivité de l'antenne de la station de base dans le plan vertical,  $G^V(\Delta\theta_V)$ , le profil de la puissance en fonction de l'angle d'arrivée en élévation,  $AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d)$ , peut être donné par:

$$AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d) = \int_{-\pi}^{\pi} G^V(\Theta) \cdot AOD_{NLoS,pow}^V(\Delta\theta_V - \Theta, d) d\Theta \quad (16)$$

$AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d)$  est également donné, en première approximation, par une fonction de Laplace comme suit.

$$AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d) = \text{Exp}[-|\Delta\theta_V| / \sigma_V^{ant}(d)] \quad (17)$$

où:

$$\sigma_V^{ant}(d) = \sqrt{\sigma_V^2(d) + \sigma_{vant}^2 / 2} \quad (18)$$

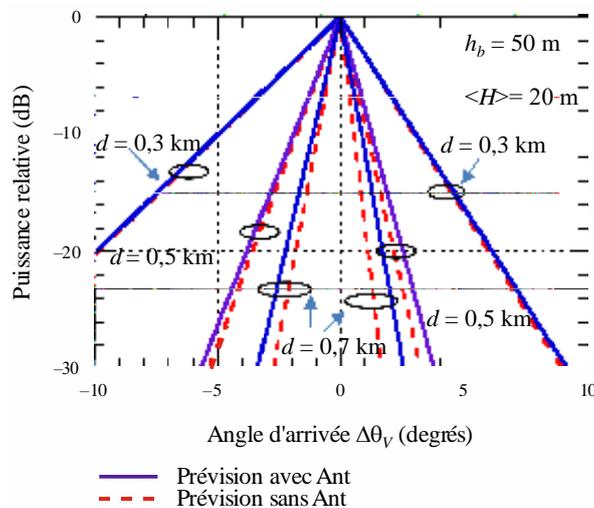
Ici,  $\sigma_{vant}$  est l'écart type de la directivité de l'antenne dans le plan vertical  $G^V(\Delta\theta_V)$ .

### 5.3 Exemple

Lorsque la hauteur d'antenne de la station de base,  $h_b$ , est de 50 m, la hauteur moyenne des bâtiments,  $\langle H \rangle$ , est de 20 m et  $\sigma_{vant}$  de l'antenne est de 0,5 degrés, les profils de la puissance en fonction de l'angle d'arrivée en élévation au niveau de la station de base pour des environnements NLoS,  $AOD_{NLoS,pow}^V(\Delta\theta_V, d)$  et  $AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d)$ , sont tels que représentés sur la Fig. 13, où le paramètre est la distance par rapport à la station de base  $d$ .

FIGURE 13

Exemple de prévision des profils d'angle d'arrivée en élévation  $AOD_{NLoS,pow}^{V,ant}(\Delta\theta_V, d)$  et  $AOD_{NLoS,pow}^V(\Delta\theta_V, d)$  pour des environnements NLoS

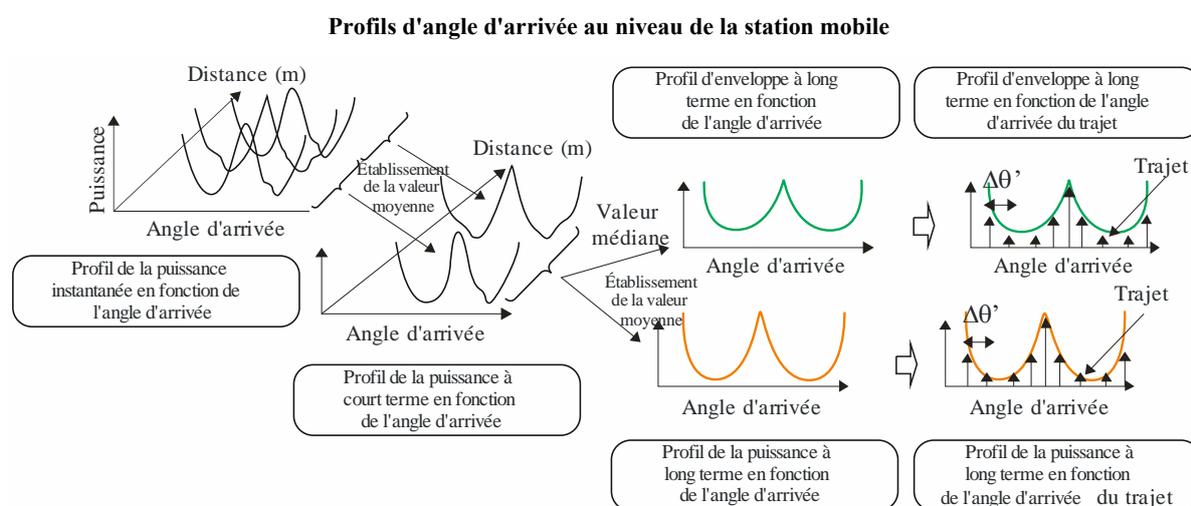


### Annexe 3

#### 1 Introduction

Le profil d'angle d'arrivée au niveau de la station de mobile est illustré à la Fig. 14 sur la base de la Recommandation UIT-R P.1407. Le profil de la puissance instantanée en fonction de l'angle d'arrivée est la densité de puissance de la réponse impulsionnelle en ce qui concerne l'angle d'arrivée à un moment et en un point donnés. Le profil de la puissance à court terme en fonction de l'angle d'arrivée est obtenu en faisant la moyenne spatiale sur plusieurs dizaines de longueurs d'onde des profils de la puissance instantanée en fonction de l'angle d'arrivée en vue de supprimer les variations dues aux évanouissements rapides; le profil de la puissance à long terme en fonction de l'angle d'arrivée est obtenu en faisant la moyenne spatiale des profils de la puissance à court terme en fonction de l'angle d'arrivée à une distance approximativement constante de la station de base en vue d'éliminer les variations dues à l'effet d'écran.

FIGURE 14



P.1816- 14

#### 2 Paramètres

- $h_b$ : hauteur d'antenne de la station de base (m) (20-150 m: hauteur au-dessus du niveau du sol de la station mobile)
- $\langle H \rangle$ : hauteur moyenne des bâtiments (m), (5-50 m: hauteur au-dessus du niveau du sol de la station mobile)
- $d$ : distance par rapport à la station de base (0,5-3 km), (km)
- $W$ : largeur de la rue (5-50 m) (m)
- $B$ : débit d'éléments (0,5-50 Méléments/s) (Méléments/s)  
(la largeur de bande occupée peut être obtenue à partir du débit d'éléments  $B$  et appliquée au filtre en bande de base)
- $f$ : fréquence de la porteuse (GHz), (0,7-9 GHz)
- $\Theta$ : angle de la route (0-90 degrés: l'angle aigu entre la direction de la station mobile et la direction de la route) (degrés)

- $h_s$ : hauteur moyenne des bâtiments le long de la route (4-30 m) (mètres)  
 $\varphi$ : angle d'arrivée (-180-180 degrés: angle d'arrivée lorsque l'angle de la route est pris égal à 0 degré) (degrés).  
 $\langle R \rangle$ : coefficient de réflexion de la puissance moyenne du mur latéral du bâtiment ( $< 1$ )  
 $\gamma_{dB}$ : valeur constante (-16 dB – -12 dB), (dB)  
 $\gamma$ :  $10^{\gamma_{dB}/10}$ .

### 3 Profil d'angle d'arrivée à long terme au niveau de la station mobile pour des environnements NLoS dans des zones urbaines et suburbaines

#### 3.1 Profil d'angle d'arrivée au niveau de la station mobile

Le profil de la puissance en fonction de l'angle d'arrivée au niveau de la station mobile,  $AOA_{NLoS, pow}(\varphi')$  est donné par:

$$AOA_{NLoS, pow}(\varphi') = \frac{1}{\sqrt{\cos\left(\varphi' \cdot \frac{\pi}{180}\right)^2 + \sin\left(\varphi' \cdot \frac{\pi}{180}\right)^2} / \eta^2} \quad (19)$$

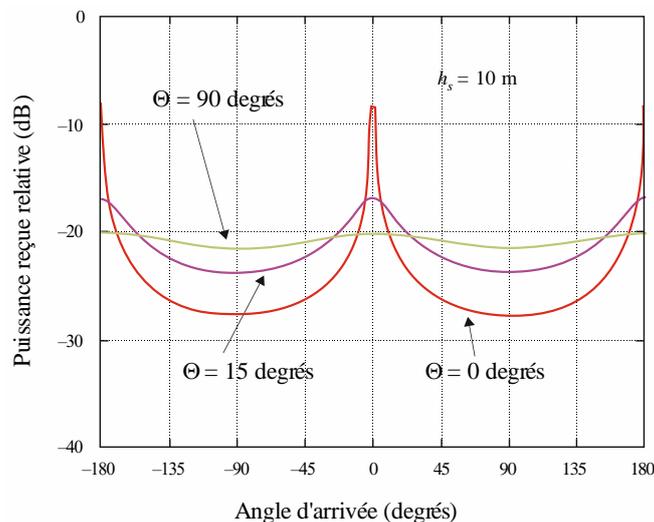
où:

$$\eta = \text{Min}\left(1, \left[2,6 / h_s^{0,5} \cdot \{1 - \exp(-0,03 \cdot \Theta)\} + 0,05\right]^{1,5}\right) \quad (20)$$

#### 3.2 Exemple

Lorsque la hauteur moyenne des bâtiments le long de la route,  $h_s$ , est de 10 m, le profil de la puissance en fonction de l'angle d'arrivée au niveau de la station mobile  $AOA_{NLoS, pow}(\varphi')$  est illustré à la Fig. 15, suivant le paramètre  $\Theta$  (angle de la route).

FIGURE 15  
Profil d'angle d'arrivée au niveau de la station mobile pour des environnements NLoS



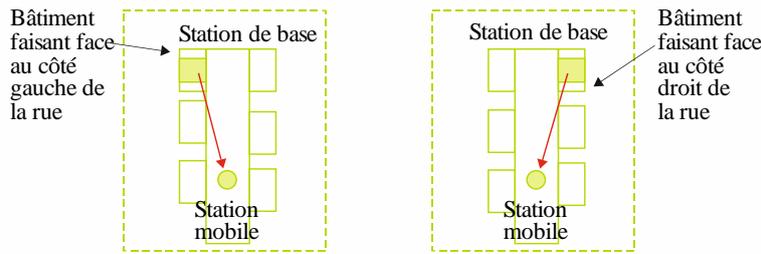
#### 4 Profil d'angle d'arrivée à long terme au niveau de la station mobile pour un environnement LoS dans des zones urbaines et suburbaines

##### 4.1 Environnements LoS considérés

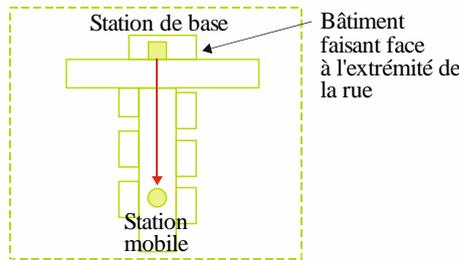
La Figure 16 illustre les environnements LoS considérés. Dans la Fig. 16(a), la station de base est située sur le toit du bâtiment face au côté droit ou au côté gauche de la rue et la station mobile est située au milieu de la rue. La station de base est en visibilité directe de la station mobile. Dans la Fig. 16(b), la station de base est située à peu près au centre du toit du bâtiment faisant face à l'extrémité de la rue et la station mobile est située au milieu de la rue.

FIGURE 16

Environnements LoS considérés



(a) Station de base faisant face au côté gauche ou droit de la rue



(b) Station de base faisant face à l'extrémité de la rue

P.1816-16

##### 4.2 Profil d'angle d'arrivée au niveau de la station mobile

Le profil d'angle d'arrivée au niveau de la station mobile,  $AOA_{LoS,pow}(\varphi', d)$  est donné par l'équation suivante:

- a) Station de base faisant face au côté gauche ou droit de la rue
  - i) Station de base faisant face au côté droit de la rue (Fig. 16(a))

$$AOA_{LoS,pow}(\varphi', d) = \begin{cases} \langle R \rangle^{1000d|\varphi'|\pi/(180W)} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') & (\varphi' \geq 0) \\ \langle R \rangle^{(1000d|\varphi'|\pi/(180W))^{-1}} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') & (\varphi' < 0) \end{cases} \quad (21-1)$$

ii) Station de base faisant face au côté gauche de la rue (Fig. 16(a))

$$AOA_{LoS,pow}(\varphi', d) = \begin{cases} \langle R \rangle^{(1000d|\varphi'|\pi/(180W))^{-1}} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') & (\varphi' \geq 0) \\ \langle R \rangle^{1000d|\varphi'|\pi/(180W)} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') & (\varphi' < 0) \end{cases} \quad (21-2)$$

b) Station de base faisant face à l'extrémité de la rue

$$AOA_{LoS,pow}(\varphi', d) = \langle R \rangle^{1000d|\varphi'|\pi/(180W)} + \gamma \cdot AOA_{NLoS,pow}(\varphi') \quad (21-3)$$

Ici,  $AOA_{NLoS,pow}(\varphi', d)$  est le profil d'angle d'arrivée au niveau de la station mobile pour des environnements NLoS donnés dans l'équation (19);  $\gamma$  est une valeur constante comprise entre  $-12$  dB et  $-16$  dB, en fonction de la structure de la ville;  $\langle R \rangle$  est le coefficient de réflexion de puissance moyenne du mur latéral du bâtiment, valeur constante comprise entre 0,1 et 0,5. À noter que les équation (21-1) et (21-2) sont parfaitement symétriques pour ce qui est de l'angle d'arrivée au niveau de la station mobile.

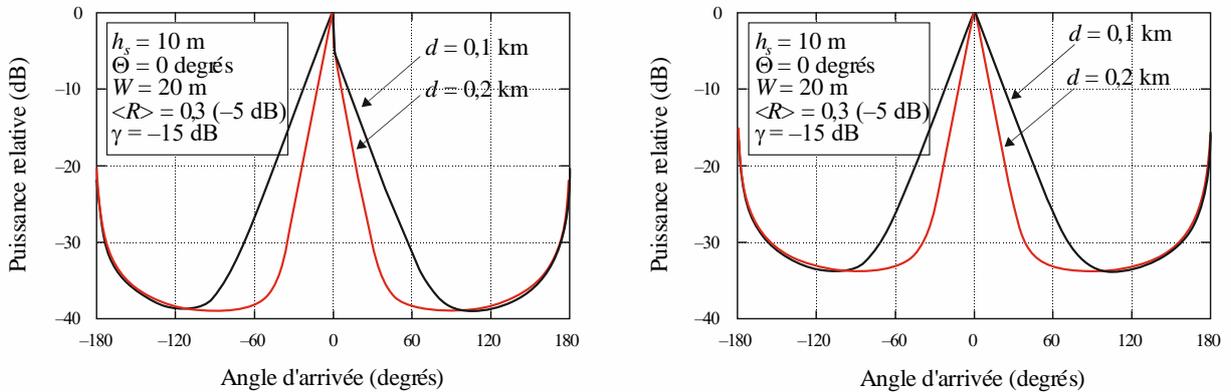
Il est recommandé que  $\gamma$  et  $\langle R \rangle$  prennent respectivement les valeurs de  $-15$  dB et 0,3 ( $-5$  dB) dans le cas de zones urbaines où la hauteur moyenne des bâtiments  $\langle H \rangle$  est supérieure à 20 m.

### 4.3 Exemples

Lorsque la hauteur moyenne des bâtiments le long de la route  $h_s$ , l'angle de la route  $\Theta$  et la largeur de la rue  $W$  ont respectivement pour valeurs 10 m, 0 degré et 20 m, et  $\langle R \rangle$  et  $\gamma$  ont respectivement pour valeurs 0,3 ( $-5$  dB) et  $-15$  dB, le profils de la puissance en fonction de l'angle d'arrivée au niveau de la station mobile  $AOA_{LoS,pow}(\varphi', d)$  dans le cas de la Fig. 16 pour des environnements LoS sont illustrés à la Fig. 17, suivant la valeur du paramètre  $d$  (distance par rapport à la station de base).

FIGURE 17

Profil d'angle d'arrivée au niveau de la station mobile pour des environnements LoS



(a) Station de base faisant face au côté gauche ou droit de la rue

(b) Station de base faisant face à l'extrémité de la rue  
P.1816-17