

## RECOMMANDATION UIT-R P.833-4

**Affaiblissement dû à la végétation**

(Question UIT-R 202/3)

(1992-1994-1999-2001-2003)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

a) que la végétation peut causer un affaiblissement important dans plusieurs applications pratiques,

*recommande*

1 d'utiliser les données de l'Annexe 1 pour évaluer l'affaiblissement dû à la végétation entre 30 MHz et 60 GHz.

**Annexe 1****1 Introduction**

L'affaiblissement imputable à la végétation peut dans certaines circonstances être important aussi bien pour les systèmes de Terre que pour les systèmes Terre-espace. Toutefois, en raison de la grande diversité des configurations et des types de végétation, il est difficile d'établir une procédure de prévision d'application générale. Par ailleurs, on manque de données expérimentales convenablement regroupées.

Les modèles décrits dans les lignes qui suivent s'appliquent à certaines gammes de fréquences et à divers types de géométrie de trajet.

**2 Trajet de Terre, avec un équipement en zone boisée**

Dans le cas d'un trajet radioélectrique de Terre avec un équipement situé en zone boisée ou dans une zone largement couverte par de la végétation, l'affaiblissement additionnel dû à la végétation peut être caractérisé par deux paramètres:

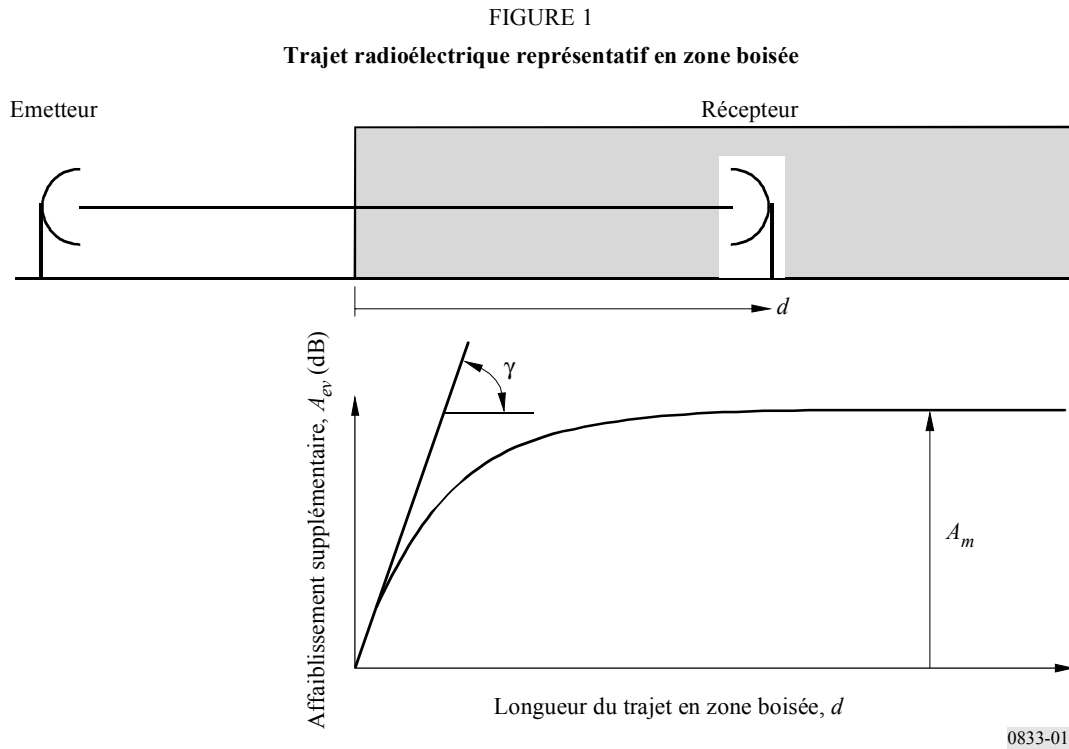
- le taux d'affaiblissement linéique (dB/m) résultant essentiellement de la dispersion de l'énergie sur le trajet radioélectrique, analogue à ce que l'on pourrait mesurer sur un trajet très court;
- l'affaiblissement supplémentaire maximal total dû à la végétation sur le trajet radioélectrique (dB) limité par l'effet d'autres phénomènes, notamment par la propagation de l'onde de surface au-dessus de la couverture végétale et la diffusion vers l'avant dans le milieu végétal.

Dans la Fig. 1, l'émetteur est extérieur à la zone boisée, et le récepteur est situé dans cette zone, à une certaine distance,  $d$ , par rapport au début de la zone. L'affaiblissement supplémentaire  $A_{ev}$  dû à la présence de la végétation est donné par:

$$A_{ev} = A_m [ 1 - \exp (- d \gamma / A_m) ] \quad (1)$$

où:

- $d$ : longueur du trajet à l'intérieur de la zone boisée (m)
- $\gamma$ : affaiblissement linéique pour de très courts trajets dans le milieu végétal (dB/m)
- $A_m$ : affaiblissement maximal pour un terminal, dans une végétation de type et de profondeur caractéristiques (dB).



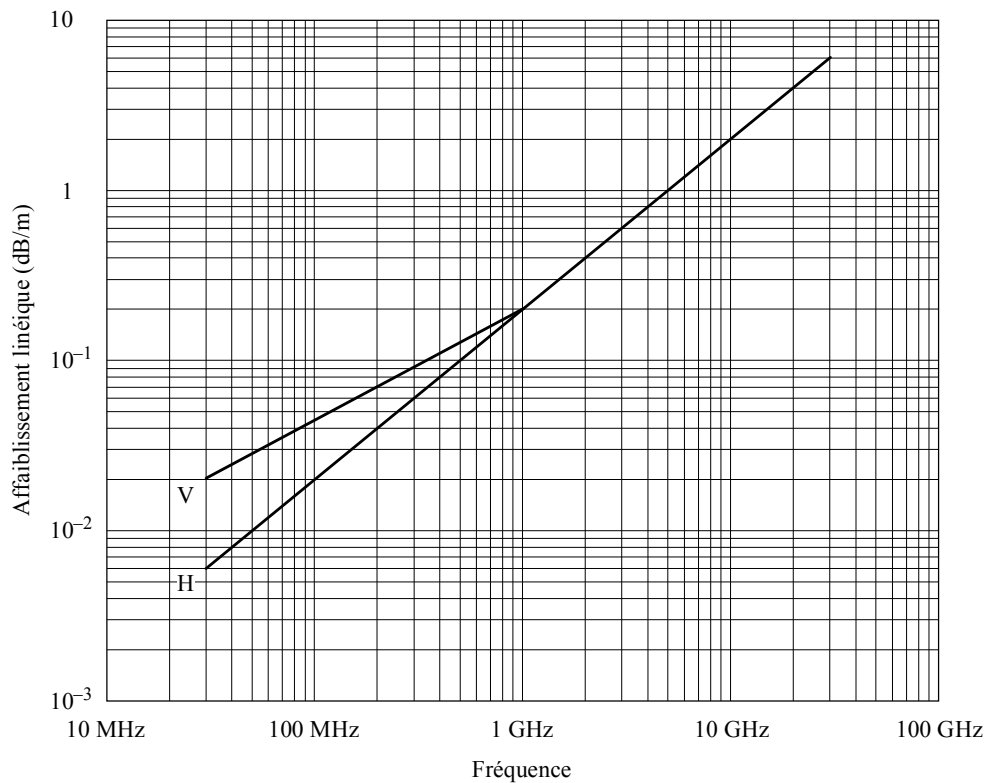
Il importe de noter que l'affaiblissement supplémentaire  $A_{ev}$  s'ajoute à toutes les autres composantes et non pas seulement à l'affaiblissement en espace libre. Ainsi, à supposer que la configuration géométrique du trajet radioélectrique de la Fig. 1 exclut un dégagement de Fresnel intégral,  $A_{ev}$  s'ajouterait à l'affaiblissement en espace libre et à l'affaiblissement de diffraction. De même, si la fréquence est suffisamment élevée pour rendre l'absorption gazeuse significative,  $A_{ev}$  s'ajoute à l'absorption gazeuse.

Notons également que  $A_m$  équivaut à l'affaiblissement dû aux signaux parasites que subit souvent un terminal en raison de la couverture de terrain.

La valeur de l'affaiblissement linéique dû à la végétation,  $\gamma$  dB/m, dépend des espèces végétales considérées et de leur densité. La Fig. 2 donne les valeurs approximatives de cet affaiblissement en fonction de la fréquence.

La Fig. 2 donne les valeurs types de l'affaiblissement linéique, valeurs établies dans le cadre d'une série de mesures effectuées dans la gamme de fréquences allant de 30 MHz à environ 30 GHz, en zone boisée. Au-dessous d'environ 1 GHz, on observe que les signaux à polarisation verticale ont tendance à s'affaiblir davantage que les signaux à polarisation horizontale, phénomène que l'on attribue à la diffusion provoquée par les troncs d'arbre.

FIGURE 2  
Affaiblissement linéique en zone boisée



V: polarisation verticale  
H: polarisation horizontale

0833-02

Soulignons que l'affaiblissement dû à la végétation est très variable, en raison de l'hétérogénéité du milieu, et de la grande diversité des essences, de la densité et de la teneur en eau observée dans la pratique. Les valeurs de la Fig. 2 sont simplement représentatives.

A des fréquences de l'ordre de 1 GHz, l'affaiblissement linéique en zone boisée semble augmenter de 20% (dB/m) lorsque les arbres sont en feuilles. On observe également que l'affaiblissement varie en fonction des mouvements du feuillage (vent).

La valeur de l'affaiblissement maximal  $A_m$ , limité par la diffusion de l'onde de surface, dépend des essences végétales et de la densité de la végétation ainsi que du diagramme de rayonnement de l'antenne du terminal situé dans la végétation et de la distance verticale entre l'antenne et le sommet de la couverture végétale.

La relation entre  $A_m$  (dB) et la fréquence de la forme:

$$A_m = A_1 f^\alpha \quad (2)$$

où  $f$  est la fréquence (MHz) a été calculée grâce à diverses expériences:

- des mesures effectuées dans la gamme de fréquences 900-1 800 MHz, dans un parc planté d'arbres tropicaux d'une hauteur moyenne de 15 m à Rio de Janeiro (Brésil) ont permis d'établir une valeur de 0,18 dB pour  $A_1$  et de 0,752 pour  $\alpha$ . La hauteur de l'antenne de réception était de 2,4 m;
- des mesures effectuées dans la gamme de fréquences 900-2 200 MHz, dans une forêt à proximité de Mulhouse (France) sur des trajets dont la longueur variait de quelques centaines de mètres à 6 km au milieu de différentes essences d'arbres d'une hauteur

moyenne de 15 m ont permis d'établir une valeur de 1,15 dB pour  $A_1$  et de 0,43 pour  $\alpha$ . L'antenne de réception en zone boisée était une antenne unipolaire  $\lambda/4$  d'une hauteur de 1,6 m placée sur un véhicule et l'antenne de transmission était un doublet  $\lambda/2$  d'une hauteur de 25 m. L'écart type des mesures était de 8,7 dB. On a observé des variations saisonnières de 2 dB à 900 MHz et de 8,5 dB à 2 200 MHz.

### 3 Obstruction unique due à la végétation

#### 3.1 Jusqu'à 3 GHz

L'équation (1) ne s'applique pas à un trajet radioélectrique obstrué par un obstacle végétal unique lorsque les deux terminaux sont en dehors de la couverture végétale (cas d'un trajet traversant le feuillage d'un arbre unique). Aux ondes métriques et décimétriques, domaine dans lequel on observe des valeurs d'affaiblissement linéique relativement faibles, et tout particulièrement lorsque la couverture végétale n'occupe qu'une partie relativement peu importante du trajet radioélectrique, cette situation peut être représentée de façon approximative par un modèle fondé d'une part sur l'affaiblissement linéique et d'autre part sur une limite maximale de l'affaiblissement supplémentaire total:

$$A_{et} = d \gamma \quad (3)$$

où:

$d$ : longueur du trajet occupé par la zone végétale (m)

$\gamma$ : affaiblissement linéique pour de très courts trajets en milieu végétal (dB/m)

et  $A_{et} \leq$  affaiblissement supplémentaire pour d'autres trajets (dB).

La restriction concernant une valeur maximale de  $A_{et}$  est nécessaire du fait que, lorsque l'affaiblissement linéique est suffisamment important, il existe un trajet de moindre affaiblissement qui contourne la végétation. On peut calculer la valeur approximative de l'affaiblissement minimal pour d'autres trajets en supposant que la voûte végétale constituée par les arbres constitue un écran de diffraction fin, de largeur finie, avec la méthode de la Recommandation UIT-R P.526, § 4.2.

Soulignons que l'équation (3) ainsi que la limite maximale de  $A_{et}$  qui lui est associée, ne représente qu'une approximation. Cette formule donnera en général des valeurs surestimées du surcroît d'affaiblissement dû à la végétation. Elle est donc surtout utile lorsqu'il s'agit de procéder à des évaluations approximatives de l'affaiblissement supplémentaire, lors de la planification d'un service. Utilisée pour les signaux brouilleurs, elle peut conduire à d'importantes sous-estimations des brouillages résultants.

#### 3.2 Au-dessus de 5 GHz

L'affaiblissement imputable à la végétation revêt une grande importance pour les systèmes d'accès hertziens large bande, présentant généralement une configuration en étoile avec une station de base bien positionnée desservant un grand nombre de particuliers qui ont installé une antenne sur le toit de leur habitation. Dans de nombreux cas, les signaux sont occultés par la végétation proche de l'antenne de l'utilisateur. Pour plus de simplicité, l'antenne de la station de base sera désignée émetteur et celle de l'utilisateur récepteur.

On a établi un modèle empirique de la propagation par la végétation pour les fréquences supérieures à 5 GHz; dans ce modèle, l'affaiblissement dû à la végétation est donné en fonction de la profondeur de la couverture végétale, et l'on tient compte par ailleurs du fait que les courbes représentatives de l'affaiblissement mesuré en fonction de la profondeur de la végétation présentent un point d'inflexion.

Le modèle prévoit le surcroît d'affaiblissement dû à la présence d'une masse de végétation qui sera perçue par le signal la traversant. Dans des situations concrètes, le signal reçu au-delà de cette masse subira un affaiblissement imputable à la fois à la propagation à travers la végétation et à la diffraction. Le signal diffracté peut être estimé au moyen de la méthode présentée dans la Recommandation UIT-R P.526, § 4.2. La forme dominante de ces deux mécanismes de propagation limitera alors l'affaiblissement total dû à la végétation.

Le modèle a été établi à partir d'une base de données de mesures rassemblées pour des fréquences comprises entre 9,6 et 57,6 GHz, et tient compte également de la configuration du site, exprimée par le niveau d'illumination de la végétation, défini par la zone d'illumination minimale,  $A_{min}$ . Ainsi, pour une profondeur de végétation donnée,  $d$  (m), l'affaiblissement (en plus de l'affaiblissement en espace libre) s'écrit:

$$A_{scat} = R_{\infty}d + k \left( 1 - \exp \left\{ \frac{-(R_0 - R_{\infty})}{k} d \right\} \right) \quad (4)$$

Dans ce cas, la pente initiale est:

$$R_0 = af \quad (5)$$

et la pente finale:

$$R_{\infty} = \frac{b}{f^c} \quad (6)$$

où  $f$  est la fréquence (GHz) et la valeur de l'affaiblissement à partir de laquelle la composante diffusée du champ reçu devient du même ordre que la composante cohérente affaiblie:

$$k = k_0 - 10 \log_{10} \left( A_0 \left( 1 - \exp \left\{ \frac{-A_{min}}{A_0} \right\} \right) \left( 1 - \exp \{ -R_f f \} \right) \right) \quad (7)$$

et les paramètres  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $k_0$ ,  $R_f$  et  $A_0$  sont donnés au Tableau 1.

TABLEAU 1

| Paramètre | Arbres avec feuilles | Arbres sans feuilles |
|-----------|----------------------|----------------------|
| $a$       | 0,2                  | 0,16                 |
| $b$       | 1,27                 | 2,59                 |
| $c$       | 0,63                 | 0,85                 |
| $k_0$     | 6,57                 | 12,6                 |
| $R_f$     | 0,0002               | 2,1                  |
| $A_0$     | 10                   | 10                   |

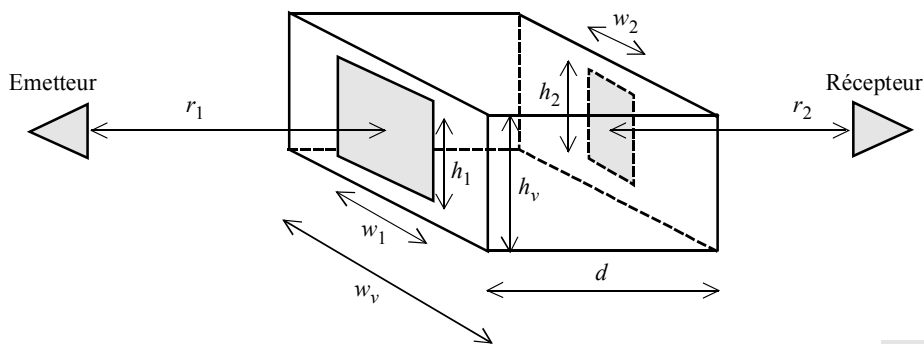
$A_{min}$ , représente la zone d'illumination minimale définie comme étant le produit de la largeur minimale,  $\min(w_1, w_2, w_v)$  et de la hauteur minimale de la végétation illuminée,  $\min(h_1, h_2, h_v)$  qui correspond à la plus petite des deux zones de couverture ponctuelles de l'antenne sur les faces avant et arrière de la végétation. Ces hauteurs et largeurs sont déterminées par les ouvertures de faisceau en élévation et en azimut à 3 dB des antennes d'émission ainsi que par la largeur,  $w_v$ , et la hauteur

physiques de la végétation,  $h_v$ , représentées à la Fig. 3, pour lesquelles on suppose que la végétation représente un bloc rectangulaire. Si l'antenne d'émission présente une ouverture de faisceau en élévation de  $\varphi_T$  et une ouverture de faisceau en azimut de  $\theta_T$ , et l'antenne de réception une ouverture de faisceau en élévation de  $\varphi_R$  et une ouverture de faisceau en azimut de  $\theta_R$ , la zone d'illumination minimale est définie par la formule:

$$A_{min} = \min(h_1, h_2, h_v) \times \min(w_1, w_2, w_v)$$

$$A_{min} = \min\left(2r_1 \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_T}{2}\right), 2r_2 \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_R}{2}\right), h_v\right) \times \min\left(2r_1 \operatorname{tg}\left(\frac{\theta_T}{2}\right), 2r_2 \operatorname{tg}\left(\frac{\theta_R}{2}\right), w_v\right) \quad (8)$$

FIGURE 3  
Configuration permettant de déterminer la zone de végétation illuminée minimale,  $A_{min}$   
(voir la formule (8))



0833-03

Dans la pratique,  $r_1 \gg r_2$  et l'ouverture de faisceau du récepteur,  $B_{rx}$ , est normalement de quelques degrés à peine. Dans ces conditions, les éléments de l'équation (8) qui contiennent  $r_1$  ne sont pas normalement requis.

L'affaiblissement pour deux arêtes isolées en lame de couteau,  $A_{difw}$ , dû à la diffraction autour des côtés de la végétation et l'affaiblissement,  $A_{difh}$ , dû à la diffraction au-dessus du sommet de la végétation sont calculés conformément aux prescriptions de la Recommandation UIT-R P.526, § 4. On obtient alors l'affaiblissement dû à la végétation,  $A$ , qui est la valeur minimale de  $A_{difw}$ ,  $A_{difh}$  et  $A_{scat}$ .

La Fig. 4 illustre le modèle pour deux cas de zone d'illumination minimale (0,5 et 2 m<sup>2</sup>) et trois fréquences, 5, 10 et 40 GHz, pour des arbres avec feuilles et des arbres sans feuilles.

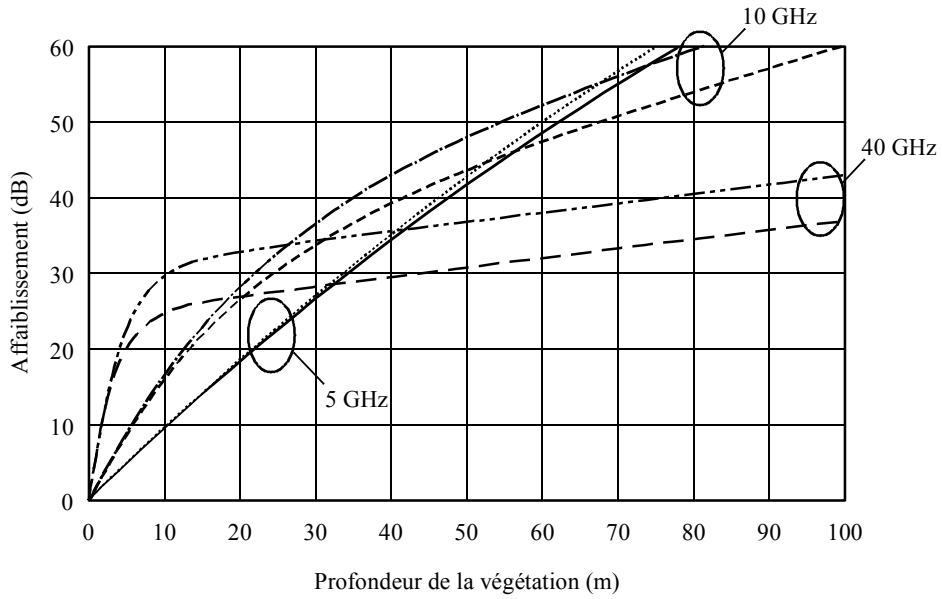
Ce modèle d'affaiblissement dû à la végétation exprimé en fonction de la profondeur du trajet dans la végétation pourra être incorporé dans des modèles déterministes (tels que les modèles à rayons, avec base de données tridimensionnelle des habitations locales et des zones boisées) pour parvenir à une prédiction plus réaliste de la couverture à partir d'un site d'émission donné.

#### 4 Transpolarisation

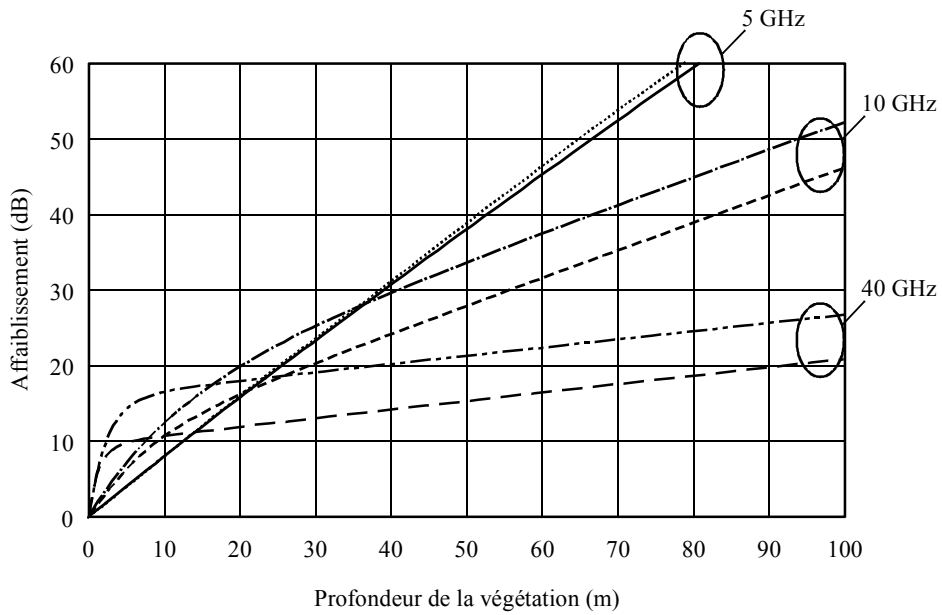
Des mesures précédemment effectuées à 38 GHz donnent à penser que le phénomène de transpolarisation dans la végétation peut être assez important, c'est-à-dire que le signal contrapolaire émis peut être de même ordre que le signal copolaire. Toutefois, pour les profondeurs importantes de végétation requises pour que ce phénomène se produise, le phénomène d'affaiblissement serait si important que les deux composantes – copolaire et contrapolaire – seraient situées au-dessous de la dynamique du récepteur.

FIGURE 4

Affaiblissement pour des zones d'illumination de 0,5 m<sup>2</sup> et 2 m<sup>2</sup>, a) arbres avec feuilles, b) arbres sans feuilles\*



a)



b)

- |           |                            |           |                            |
|-----------|----------------------------|-----------|----------------------------|
| .....     | 5 GHz, 0,5 m <sup>2</sup>  | -----     | 10 GHz, 2 m <sup>2</sup>   |
| ————      | 5 GHz, 2 m <sup>2</sup>    | - · - · - | 40 GHz, 0,5 m <sup>2</sup> |
| - · - · - | 10 GHz, 0,5 m <sup>2</sup> | -----     | 40 GHz, 2 m <sup>2</sup>   |

\* Les courbes illustrent le surcroît d'affaiblissement dû à la présence d'une masse de végétation qui sera perçue par le signal la traversant. Dans des situations concrètes, le signal reçu au-delà de cette masse subira un affaiblissement imputable à la fois à la propagation à travers la végétation et à la diffraction. Le mécanisme de propagation dominant limitera alors l'affaiblissement