

RECOMMANDATION UIT-R P.833-2

AFFAIBLISSEMENT DÛ À LA VÉGÉTATION

(Question UIT-R 202/3)

(1992-1994-1999)

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:

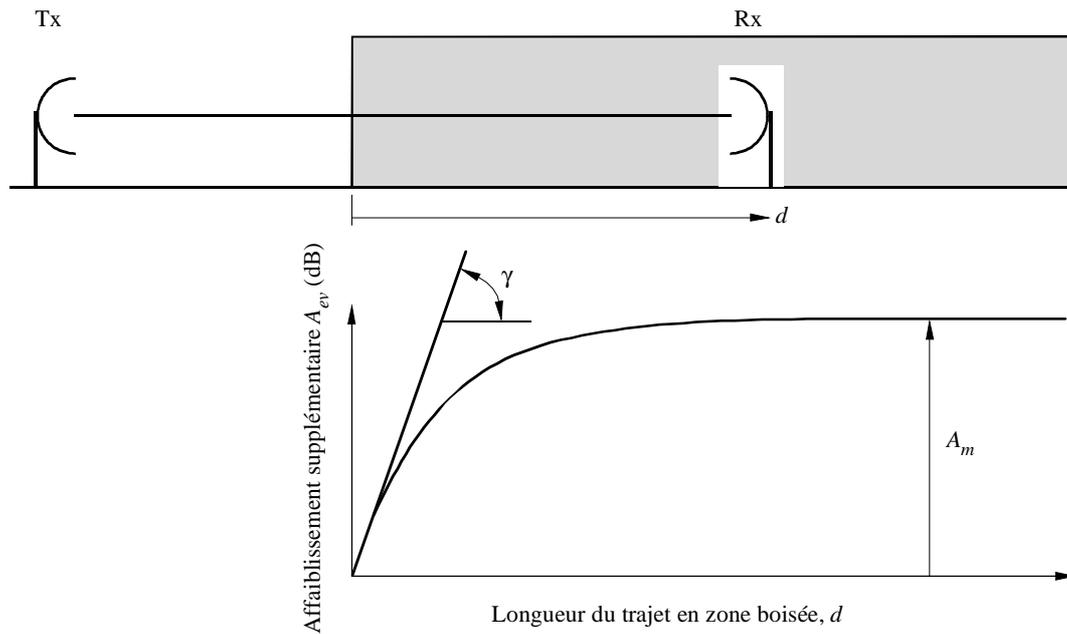
d : longueur du trajet à l'intérieur de la zone boisée (m)

γ : 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).

FIGURE 1

Trajet radioélectrique représentatif en zone boisée



0833-01

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, γ 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.

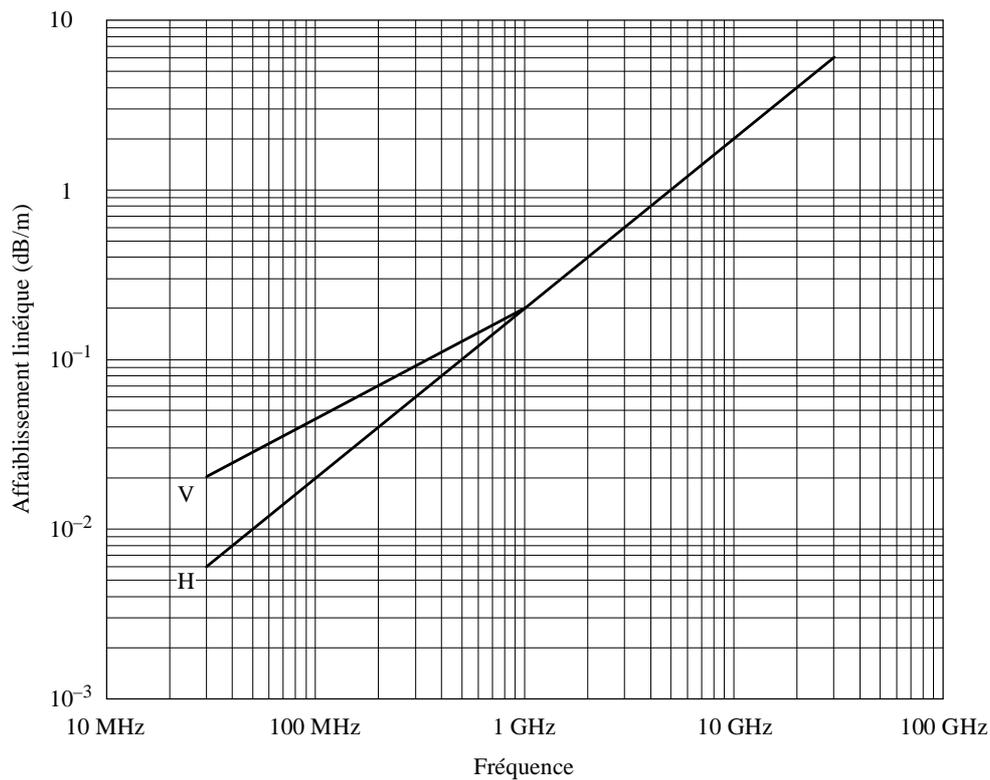
La valeur de l'affaiblissement maximal A_m dB, limité par la diffusion de l'onde de surface, dépend des essences végétales et de la densité de la végétation ainsi que du diagramme de rayonnement de l'antenne du terminal situé dans la végétation et de la distance verticale entre l'antenne et le sommet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

La 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.

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).

FIGURE 2
Affaiblissement linéique en zone boisée



V: polarisation verticale
H: polarisation horizontale

0833-02

Des mesures effectuées dans la gamme de fréquences 900-1 800 MHz, dans un parc planté d'arbres tropicaux à Rio de Janeiro (Brésil) ont fait apparaître que la relation entre A_m et la fréquence est de la forme:

$$A_m = 0,18 f^{0,752} \quad (2)$$

où f est la fréquence (MHz).

Dans ces mesures, la hauteur moyenne des arbres était de 15 m, et la hauteur de l'antenne de réception de 2,4 m.

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)

γ : 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 3 GHz

L'affaiblissement imputable à la végétation revêt une grande importance pour les systèmes d'accès radioélectriques large bande, typiquement conçus en réseaux en étoile, une station de base bien positionnée desservant un grand nombre d'utilisateurs disposant d'antennes montées sur le toit de leur habitation. Dans de nombreux cas, les signaux sont obstrués 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 l'antenne de l'utilisateur sera désignée «récepteur».

Le modèle ne tient compte que de la propagation dans la végétation. L'affaiblissement observé sera le niveau minimal déterminé à l'aide du modèle suivant du signal diffracté par la végétation, qui peut être estimé par référence à la Recommandation UIT-R P.526, § 4.2.

On a établi un modèle empirique de la propagation dans la végétation pour les fréquences supérieures à 3 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 a été établi à l'aide d'une base de données de mesures rassemblées pour la gamme de fréquences 9,6-57,6 GHz, et il tient compte également de la configuration du site, exprimée par le niveau d'illumination de la végétation (largeur d'illumination W). Ainsi, pour une profondeur de végétation donnée, d (m), l'affaiblissement s'écrit:

$$A = \frac{R_{\infty}}{f^a W^b} d + \frac{k}{W^c} \left(1 - \exp \left(- \frac{(R_0 - R_{\infty}) W^c}{k} d \right) \right) \quad (4)$$

dans laquelle f est la fréquence du signal en GHz, et a , b , c , k , R_0 et R_{∞} correspondent aux constantes du Tableau 1.

TABLEAU 1

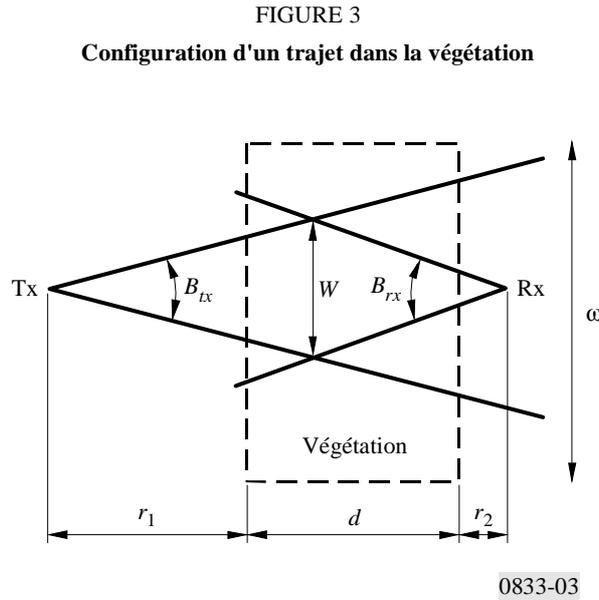
Valeurs des constantes de l'équation (4)

Constante	Arbres en feuilles	Arbres sans feuilles
a	0,7	0,64
b	0,81	0,43
c	0,37	0,97
k	68,8	114,7
R_0	16,7	6,59
R_{∞}	8,77	3,89

Pour tenir compte de la configuration du site, on doit considérer l'étendue d'illumination de la végétation, que l'on peut caractériser par la largeur d'illumination W de la Fig. 3. W correspond à la dimension horizontale maximale, dans la végétation, commune aux faisceaux d'émission et de réception. Comme le modèle résulte d'un lissage empirique de données de mesures, son application sera limitée aux valeurs de W suivantes:

$$1 \text{ m} < W < 50 \text{ m}$$

La dimension verticale n'est pas actuellement prise en compte dans le modèle: on suppose que la végétation remplit la dimension verticale de l'antenne du récepteur.



B_{tx} et B_{rx} sont les ouvertures à 3 dB respectivement du faisceau de l'antenne émettrice et du faisceau de l'antenne réceptrice, ω est la largeur physique de la végétation, d la profondeur de la végétation et r_1 et r_2 respectivement les distances émetteur-végétation et récepteur-végétation. On suppose par hypothèse que c'est le récepteur qui est le plus proche de la végétation.

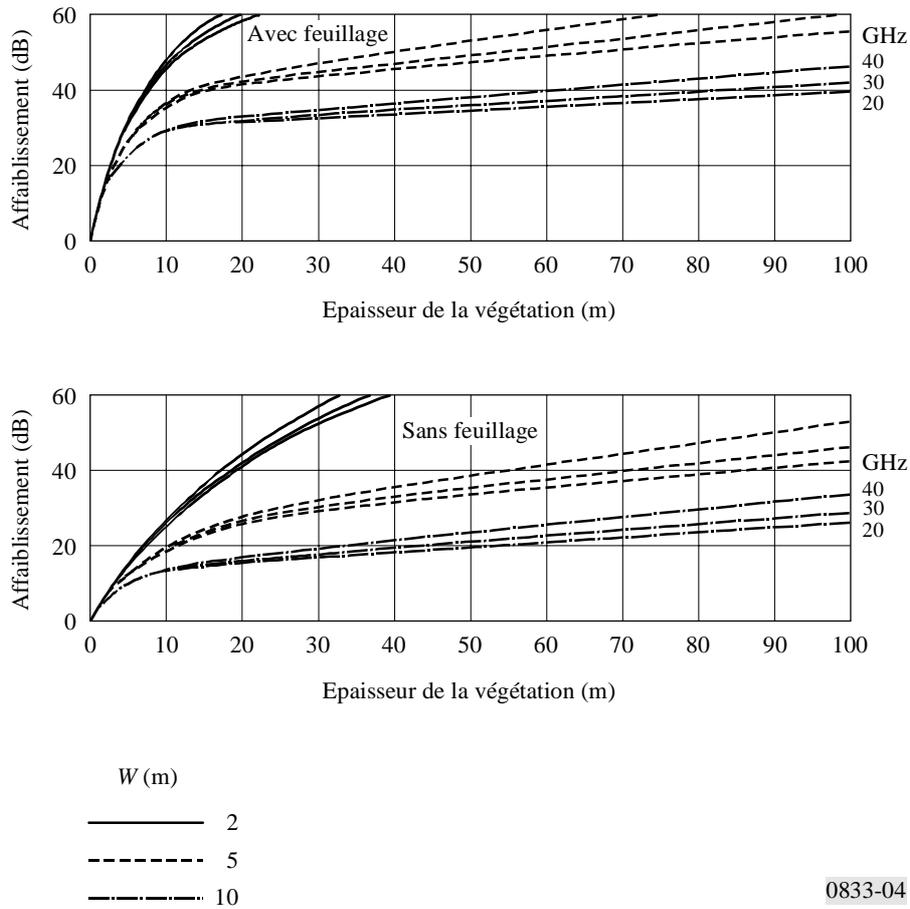
W correspond à la largeur de couplage effective maximale entre les antennes d'émission et de réception dans la végétation (valeur obtenue à la plus grande profondeur de végétation mesurée) selon l'équation suivante:

$$W = \min \left[\begin{array}{l} \frac{(r_1 + d + r_2) \operatorname{tg}(B_{tx}) \operatorname{tg}(B_{rx})}{\operatorname{tg}(B_{tx}) + \operatorname{tg}(B_{rx})} \\ (r_1 + d) \operatorname{tg}(B_{tx}) \\ (d + r_2) \operatorname{tg}(B_{rx}) \\ \omega \end{array} \right] \quad (5)$$

Dans la pratique, $r_1 \gg r_2$, et l'ouverture du faisceau du récepteur, B_{rx} , est normalement de quelques degrés à peine. Dans ces conditions, les éléments de l'équation (5) qui contiennent r_2 ne sont pas normalement requis.

La Fig. 4 illustre le modèle pour trois largeurs de végétation W , trois fréquences, 20, 30 et 40 GHz, dans le cadre d'arbres avec feuilles et d'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 tridimensionnelles 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.

FIGURE 4
 Modèle d'affaiblissement dû à la végétation à 20, 30 et 40 GHz
 pour les paramètres du Tableau 1



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 importantes profondeurs 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.