

Union internationale des télécommunications

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.640

(03/2006)

SÉRIE G: SYSTÈMES ET SUPPORTS DE
TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX
NUMÉRIQUES

Caractéristiques des supports de transmission – Câbles
sous-marins

**Interfaces pour systèmes de transmission
optique en espace libre colocalisés
compatibles longitudinalement**

Recommandation UIT-T G.640

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE G
SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX NUMÉRIQUES

CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX	G.100–G.199
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES SYSTÈMES ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	G.200–G.299
CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX À COURANTS PORTEURS SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.300–G.399
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX HERTZIENS OU À SATELLITES ET INTERCONNEXION AVEC LES SYSTÈMES SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.400–G.449
COORDINATION DE LA RADIOTÉLÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES	G.450–G.499
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.600–G.699
Généralités	G.600–G.609
Paires symétriques en câble	G.610–G.619
Câbles terrestres à paires coaxiales	G.620–G.629
Câbles sous-marins	G.630–G.649
Câbles à fibres optiques	G.650–G.659
Caractéristiques des composants et sous-systèmes optiques	G.660–G.699
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.700–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999
QUALITÉ DE SERVICE ET DE TRANSMISSION – ASPECTS GÉNÉRIQUES ET ASPECTS LIÉS À L'UTILISATEUR	G.1000–G.1999
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.6000–G.6999
DONNÉES SUR COUCHE TRANSPORT – ASPECTS GÉNÉRIQUES	G.7000–G.7999
ASPECTS RELATIFS AUX PROTOCOLES EN MODE PAQUET SUR COUCHE TRANSPORT	G.8000–G.8999
RÉSEAUX D'ACCÈS	G.9000–G.9999

Pour plus de détails, voir la Liste des Recommandations de l'UIT-T.

Recommandation UIT-T G.640

Interfaces pour systèmes de transmission optique en espace libre colocalisés compatibles longitudinalement

Résumé

La présente Recommandation fournit une procédure permettant de s'assurer qu'il n'y aura pas de brouillage entre deux systèmes de transmission optique en espace libre (systèmes FSO) colocalisés. Elle comprend également des exemples de calcul des conditions requises pour empêcher les brouillages entre systèmes FSO colocalisés.

Source

La Recommandation UIT-T G.640 a été approuvée le 29 mars 2006 par la Commission d'études 15 (2005-2008) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

AVANT-PROPOS

L'UIT (Union internationale des télécommunications) est une institution spécialisée des Nations Unies dans le domaine des télécommunications. L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) est un organe permanent de l'UIT. Il est chargé de l'étude des questions techniques, d'exploitation et de tarification, et émet à ce sujet des Recommandations en vue de la normalisation des télécommunications à l'échelle mondiale.

L'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (AMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'étude à traiter par les Commissions d'études de l'UIT-T, lesquelles élaborent en retour des Recommandations sur ces thèmes.

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

Dans certains secteurs des technologies de l'information qui correspondent à la sphère de compétence de l'UIT-T, les normes nécessaires se préparent en collaboration avec l'ISO et la CEI.

NOTE

Dans la présente Recommandation, l'expression "Administration" est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue.

Le respect de cette Recommandation se fait à titre volontaire. Cependant, il se peut que la Recommandation contienne certaines dispositions obligatoires (pour assurer, par exemple, l'interopérabilité et l'applicabilité) et considère que la Recommandation est respectée lorsque toutes ces dispositions sont observées. Le futur d'obligation et les autres moyens d'expression de l'obligation comme le verbe "devoir" ainsi que leurs formes négatives servent à énoncer des prescriptions. L'utilisation de ces formes ne signifie pas qu'il est obligatoire de respecter la Recommandation.

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

L'UIT attire l'attention sur la possibilité que l'application ou la mise en œuvre de la présente Recommandation puisse donner lieu à l'utilisation d'un droit de propriété intellectuelle. L'UIT ne prend pas position en ce qui concerne l'existence, la validité ou l'applicabilité des droits de propriété intellectuelle, qu'ils soient revendiqués par un membre de l'UIT ou par une tierce partie étrangère à la procédure d'élaboration des Recommandations.

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT n'avait pas été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux développeurs de consulter la base de données des brevets du TSB sous <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2007

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.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1	Domaine d'application 1
2	Références..... 1
2.1	Références normatives..... 1
2.2	Références informatives 1
3	Termes et définitions 1
3.1	Définitions 1
3.2	Termes définis dans d'autres Recommandations 2
4	Abréviations..... 2
5	Points de référence..... 3
6	Compatibilité longitudinale pour deux systèmes colocalisés 3
6.1	Diaphonie entre deux systèmes FSO 5
6.2	Effet des conditions météorologiques sur la diaphonie..... 9
6.3	Cas A – Brouillage entre deux systèmes pouvant utiliser la même longueur d'onde 10
6.4	Cas B – Brouillage entre deux systèmes ne pouvant pas utiliser la même longueur d'onde 11
6.5	Procédure permettant de déterminer si les conditions de compatibilité longitudinale pour deux systèmes colocalisés sont réunies..... 12
7	Considérations sur la sécurité optique 13
Appendice I – Exemples de calcul de la diaphonie 14	
I.1	Exemple 1 14
I.2	Exemple 2 15
I.3	Exemple 3 16

Recommandation UIT-T G.640

Interfaces pour systèmes de transmission optique en espace libre colocalisés compatibles longitudinalement

1 Domaine d'application

La présente Recommandation définit les interfaces optiques associées à des systèmes de transmission optique en espace libre "colocalisés compatibles longitudinalement", afin que plusieurs systèmes de transmission optique en espace libre point à point puissent fonctionner en un même lieu sans brouillage.

La présente Recommandation définit également des paramètres pertinents caractérisant ces systèmes.

Les systèmes de transmission optique en espace libre sont souvent appelés systèmes "FSO".

2 Références

2.1 Références normatives

La présente Recommandation se réfère à certaines dispositions des Recommandations UIT-T et textes suivants qui, de ce fait, en sont partie intégrante. Les versions indiquées étaient en vigueur au moment de la publication de la présente Recommandation. Toute Recommandation ou tout texte étant sujet à révision, les utilisateurs de la présente Recommandation sont invités à se reporter, si possible, aux versions les plus récentes des références normatives suivantes. La liste des Recommandations de l'UIT-T en vigueur est régulièrement publiée. La référence à un document figurant dans la présente Recommandation ne donne pas à ce document, en tant que tel, le statut d'une Recommandation.

- Recommandation UIT-T G.957 (2006), *Interfaces optiques pour les équipements et les systèmes relatifs à la hiérarchie numérique synchrone.*
- CEI 60825-1 (2001), *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur.*
- CEI 60825-2 (2005), *Sécurité des appareils à laser – Partie 2: Sécurité des systèmes de télécommunication par fibres optiques (STFO).*
- CEI 60825-12 (2005), *Sécurité des appareils à laser – Partie 12: Sécurité des systèmes de communications optiques en espace libre utilisés pour la transmission d'informations.*

2.2 Références informatives

- Recommandations UIT-T de la série G – Supplément 39 (2006), *Considérations sur la conception et l'ingénierie des systèmes optiques.*

3 Termes et définitions

3.1 Définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

3.1.1 angle d'admission: l'angle d'admission (d'un récepteur FSO) est l'angle entre des directions suivant lesquelles la puissance détectée par le récepteur diminue d'un facteur $1/e^2$. Ce paramètre est également appelé champ de vision (FOV, *field of vision*) d'un récepteur FSO et on le définit souvent comme le lieu où la densité de puissance diminue d'un facteur $1/e^2$, $1/e$ ou de 50%.

3.1.2 divergence du faisceau: la divergence du faisceau est l'angle entre des directions suivant lesquelles la densité de puissance d'un faisceau FSO diminue d'un facteur $1/e^2$.

NOTE 1 – Ce paramètre est également souvent défini comme le lieu où la densité de puissance diminue d'un facteur $1/e$ ou de 50%.

NOTE 2 – La divergence du faisceau devrait être mesurée à une distance, depuis la lentille, égale à au moins cinq fois la distance de Rayleigh (voir le § 3.1.8) pour garantir une mesure en conditions de champ lointain.

3.1.3 diaphonie intercanaux: rapport de la puissance optique brouilleuse sur la puissance optique utile détectée par le récepteur, les signaux utile et brouilleur ayant des longueurs d'onde différentes.

3.1.4 dégradation due à la diaphonie intercanaux: dégradation incluse dans le bilan de puissance du système pour prendre en compte la diaphonie intercanaux.

3.1.5 diaphonie interférométrique: rapport de la puissance optique brouilleuse sur la puissance optique utile détectée par le récepteur, les signaux utile et brouilleur pouvant avoir la même longueur d'onde.

3.1.6 dégradation due à la diaphonie interférométrique: dégradation incluse dans le bilan de puissance du système pour prendre en compte la diaphonie interférométrique.

3.1.7 erreur de pointage de l'émetteur (ou du récepteur): angle maximal entre l'axe de l'émetteur (ou du récepteur) et une droite reliant l'émetteur au récepteur.

3.1.8 distance de Rayleigh: elle est définie comme suit:

$$\text{distance de Rayleigh} = \frac{2D^2}{\lambda}$$

où:

D est le diamètre de la lentille de l'émetteur

λ est la longueur d'onde

3.2 Termes définis dans d'autres Recommandations

La présente Recommandation utilise les termes suivants définis dans la Rec. UIT-T G.957:

– taux d'extinction.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

FOV champ de vision (*field of view*)

FSO transmission optique en espace libre (*free space optical*)

R_{fso} plan de référence situé immédiatement avant la lentille d'entrée du récepteur optique (*reference plane just before the optical receiver input lens*)

Rx récepteur (*receiver*)

S_{fso} plan de référence situé immédiatement après la lentille de sortie de l'émetteur optique (*reference plane just after the optical transmitter output lens*)

Tx émetteur (*transmitter*)

5 Points de référence

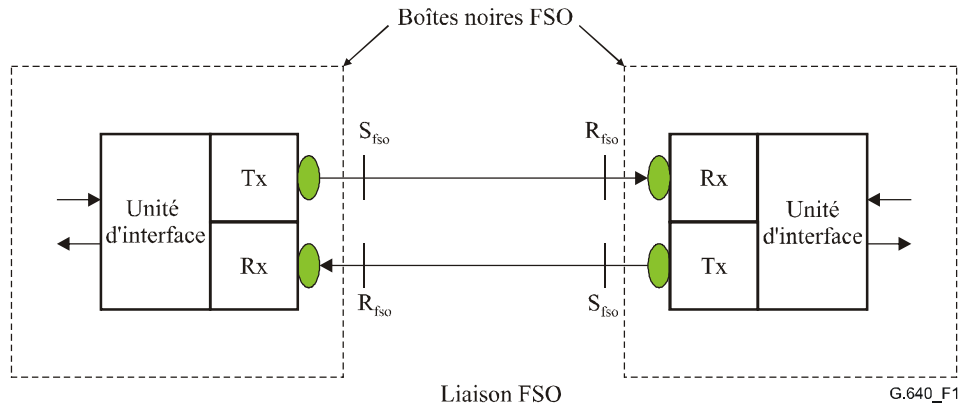


Figure 5-1/G.640 – Diagramme de référence de liaison optique en espace libre

Les plans de référence de la Figure 5-1 sont définis comme suit:

- S_{fso} est un plan de référence situé immédiatement après la lentille de sortie de l'émetteur optique;
- R_{fso} est un plan de référence situé immédiatement avant la lentille d'entrée du récepteur optique;

6 Compatibilité longitudinale pour deux systèmes colocalisés

L'espace libre entre les plans de référence S_{fso} et R_{fso} d'un système FSO est un milieu partagé qu'utilisent de nombreux autres utilisateurs à diverses fins. Pour établir des critères relatifs à la colocalisation de systèmes FSO, on décrit au § 6.1 la diaphonie C au brouillage d'un système par un autre système et on étudie au § 6.2 l'effet des conditions météorologiques sur cette grandeur. La dégradation de puissance optique due à la diaphonie est alors définie dans deux cas:

- cas A – les deux systèmes peuvent utiliser la même longueur d'onde (§ 6.3);
- cas B – les deux systèmes **ne** peuvent **pas** utiliser la même longueur d'onde (§ 6.4).

La différence entre ces deux cas est illustrée sur la Figure 6-1.

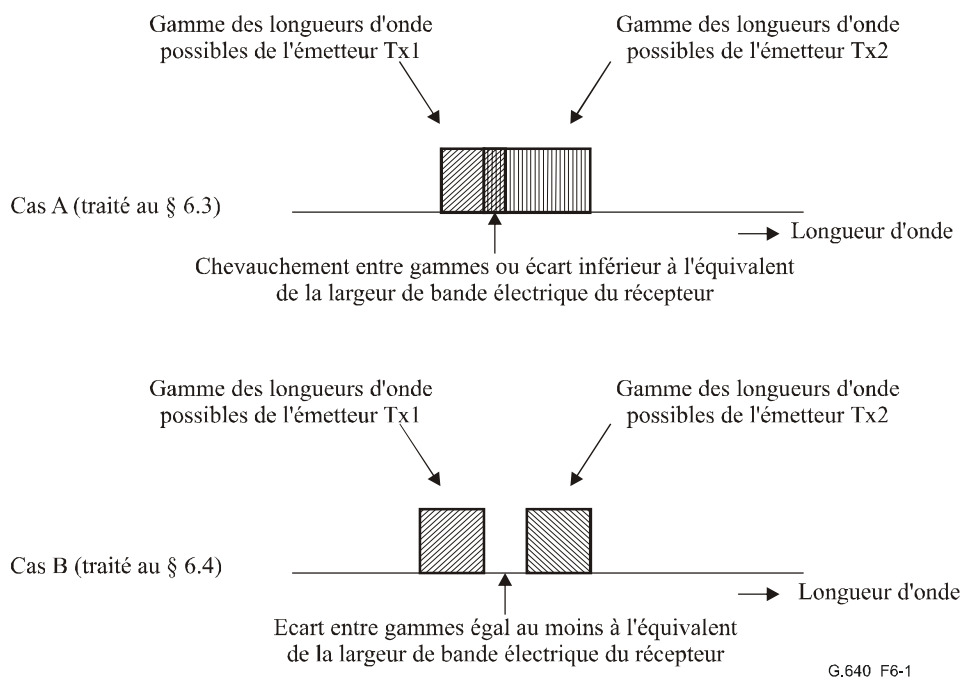


Figure 6-1/G.640 – Illustration de la différence entre les cas traités aux paragraphes 6.3 et 6.4

Dans le cas de systèmes bidirectionnels, les deux directions doivent être considérées séparément.

NOTE 1 – Pour certains systèmes FSO, la cohérence de la source est suffisamment faible (en particulier pour des systèmes à diode électroluminescente) pour que l'on n'observe pas de diaphonie interférométrique même si les longueurs d'onde peuvent être identiques. En cas de colocalisation de tels systèmes FSO, le cas B s'applique toujours.

NOTE 2 – Même pour certains systèmes FSO à laser, l'hypothèse d'une diaphonie interférométrique peut être pessimiste car l'atmosphère peut fortement dégrader la cohérence du laser à certaines longueurs d'onde.

6.1 Diaphonie entre deux systèmes FSO

La Figure 6-2 donne le diagramme de référence d'un émetteur FSO type. On suppose que le faisceau généré par l'émetteur peut être approximativement représenté par un faisceau gaussien.

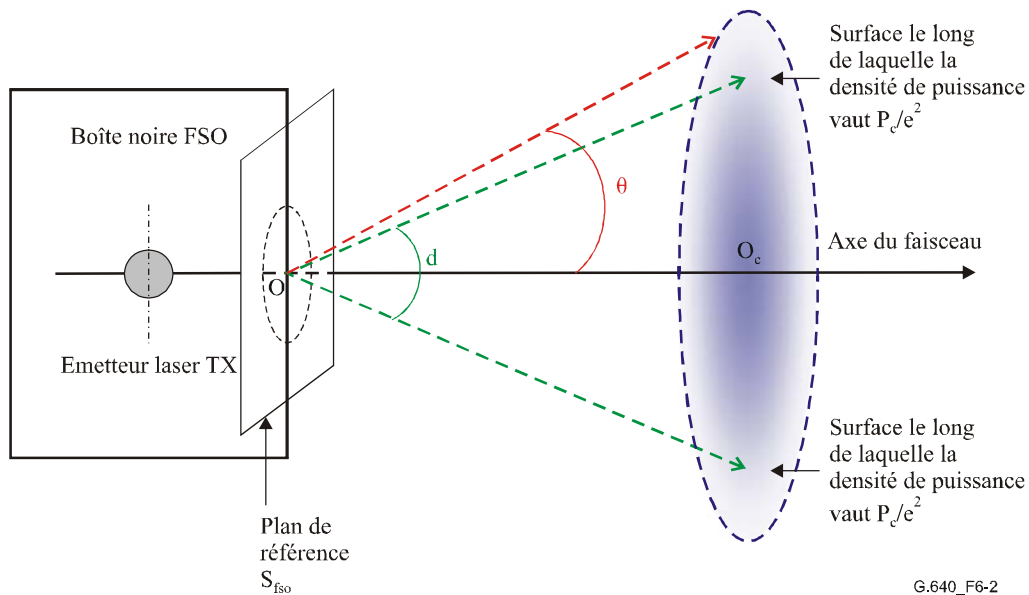


Figure 6-2/G.640 – Diagramme de référence pour un émetteur FSO dans l'hypothèse d'un faisceau gaussien

La densité de puissance optique du faisceau suivant un angle θ par rapport à l'axe est donnée par la relation suivante:

$$O = O_c e^{-\frac{8\theta^2}{d^2}} \quad (6-1)$$

où:

O_c est la densité de puissance optique au centre du faisceau

d est la divergence du faisceau (l'angle entre des directions suivant lesquelles la densité de puissance diminue d'un facteur $1/e^2$)

θ est l'angle entre l'axe du faisceau et le point de mesure

Si l'on connaît pour un système FSO particulier la courbe de la densité de puissance optique en fonction de l'angle, il faudrait utiliser les valeurs de cette courbe plutôt que l'approximation donnée par l'équation 6-1. La Figure 6-3 donne un exemple de courbe de valeurs mesurées.

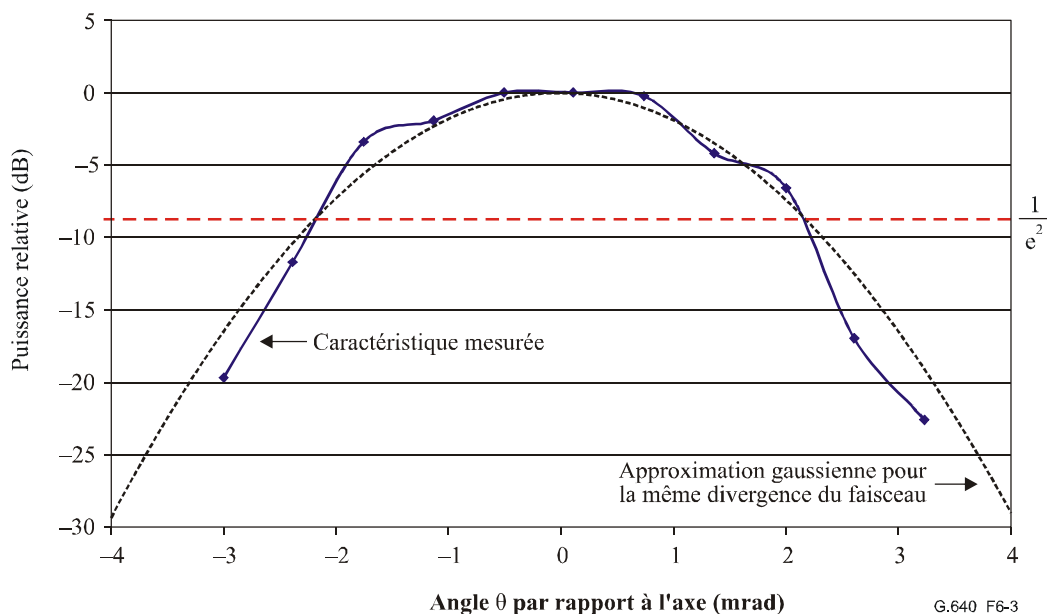


Figure 6-3/G.640 – Exemple de courbe de valeurs mesurées représentant la densité de puissance en fonction de l'angle

Le diagramme de référence correspondant pour un récepteur FSO est donné sur la Figure 6-4.

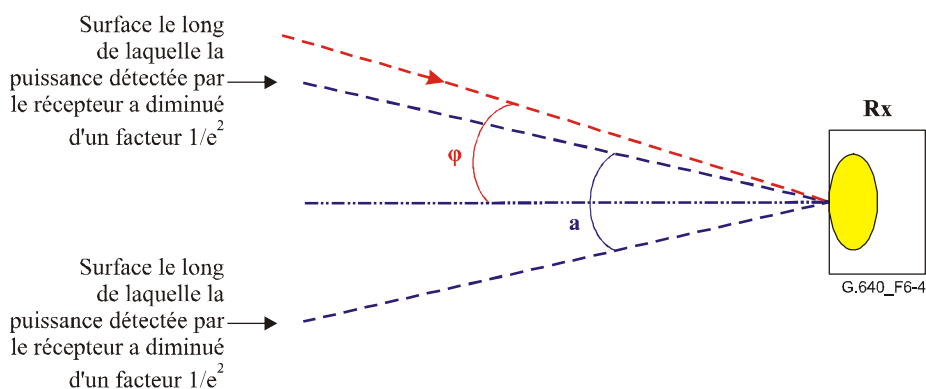


Figure 6-4/G.640 – Diagramme de référence pour un récepteur FSO

La courbe caractéristique représentant pour un récepteur FSO la puissance détectée en fonction de l'angle dépend d'un certain nombre de paramètres, dont la distance focale de la lentille, la qualité de la lentille et le diamètre du détecteur.

Si le diamètre de la tâche formée par la lentille est inférieur au diamètre du détecteur, la caractéristique est à peu près rectangulaire. Cependant, si les diamètres de la tâche et du détecteur sont à peu près identiques, la caractéristique est approximativement celle d'une courbe gaussienne pour laquelle la puissance optique (suivant un angle incident φ par rapport à l'axe du récepteur) détectée par le récepteur est donnée par:

$$R = R_a e^{\frac{-8\varphi^2}{a^2}} \quad (6-2)$$

où:

R_a est la puissance optique détectée par le récepteur suivant son axe

α est l'angle d'admission (l'angle entre des directions suivant lesquelles la puissance détectée par le récepteur diminue d'un facteur $1/e^2$)

φ est l'angle entre le rayon lumineux incident et l'axe du récepteur

Les deux cas définis plus haut sont illustrés sur les Figures 6-5 et 6-6.

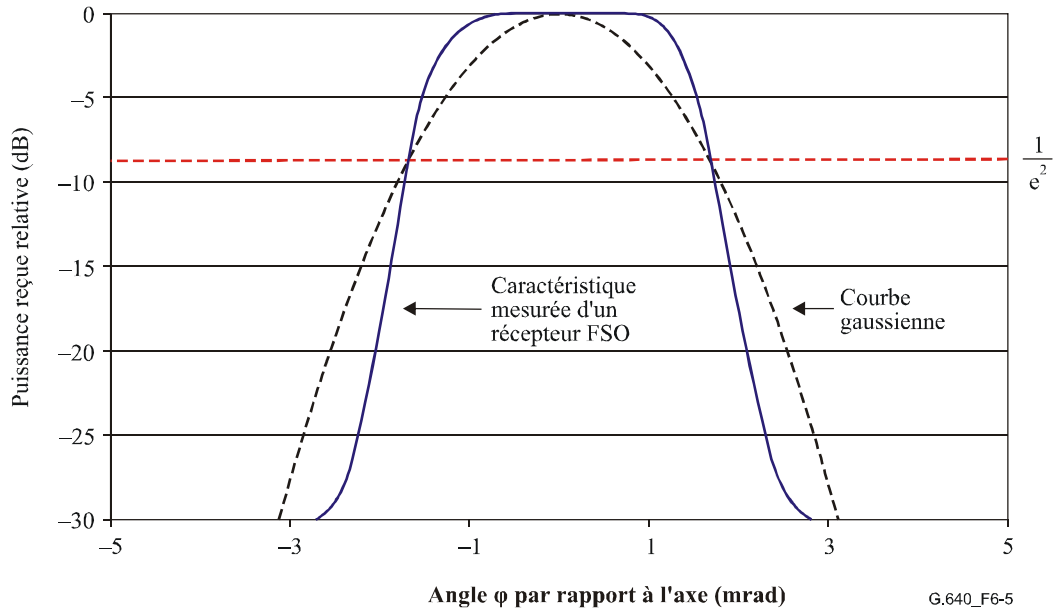


Figure 6-5/G.640 – Exemple de courbe de valeurs mesurées, de forme rectangulaire, représentant la puissance reçue en fonction de l'angle

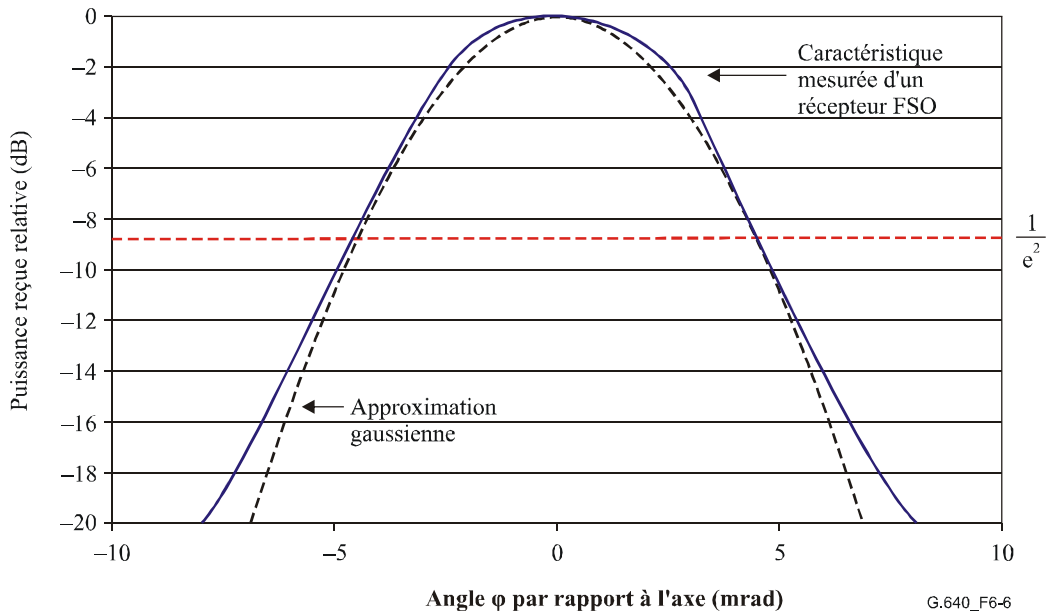


Figure 6-6/G.640 – Exemple de courbe de valeurs mesurées, de forme gaussienne, représentant la puissance reçue en fonction de l'angle

Comme on peut le voir sur la Figure 6-5, la correspondance entre la caractéristique mesurée et la courbe gaussienne n'est pas très bonne dans le cas d'une caractéristique de forme rectangulaire.

Par conséquent, si on connaît pour un système FSO particulier la courbe de la puissance optique détectée par le récepteur en fonction de l'angle, il faudrait utiliser les valeurs de cette courbe plutôt que l'approximation donnée par l'équation 6-2.

Dans le cas où les deux systèmes considérés ne peuvent pas utiliser la même longueur d'onde, le filtrage optique au niveau du récepteur peut permettre de réduire encore la proportion, par rapport à la puissance utile, de puissance brouilleuse détectée. Ce mécanisme est illustré sur la Figure 6-7.

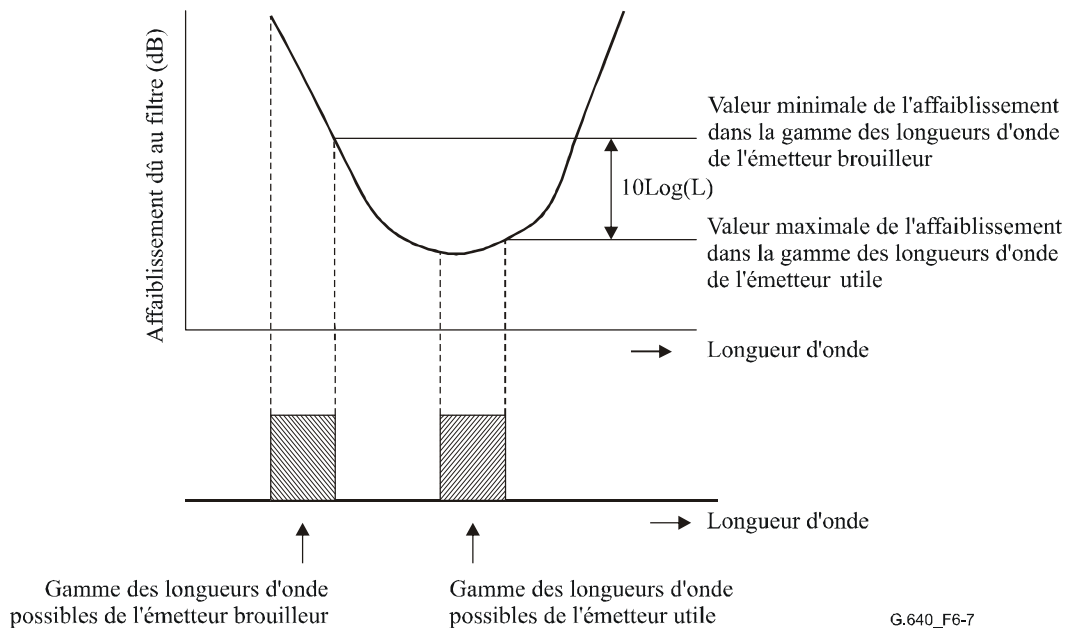


Figure 6-7/G.640 – Illustration de la réduction de la puissance brouilleuse grâce à l'utilisation d'un filtrage optique

La Figure 6-8 illustre le cas général d'un système FSO brouillant un autre système FSO.

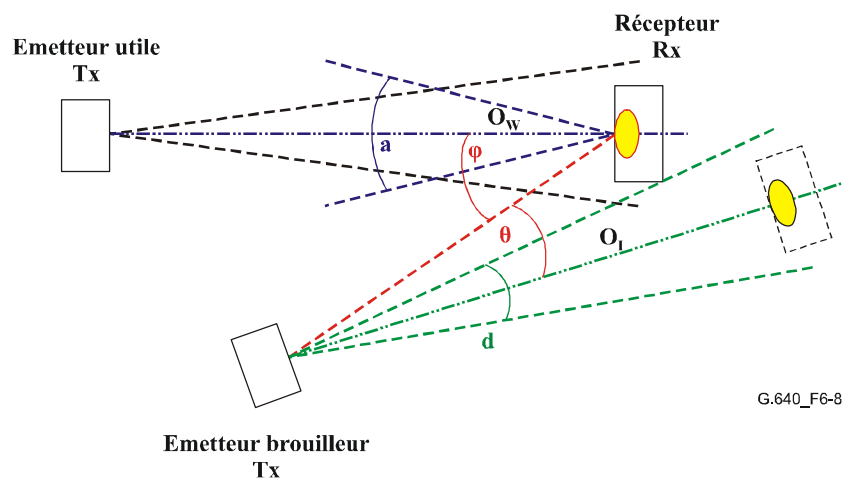


Figure 6-8/G.640 – Diagramme de référence illustrant le phénomène de diaphonie entre deux systèmes FSO

Les considérations qui précèdent conduisent à l'équation suivante donnant la diaphonie C:

$$C = L \frac{O_I}{O_W} e^{-\frac{8\theta^2}{d^2}} e^{-\frac{8\phi^2}{a^2}} \quad (6-3)$$

où:

- L est le rapport des valeurs d'affaiblissement dû au filtre optique entre les gammes de longueurs d'onde des émetteurs utile et brouilleur, comme l'illustre la Figure 6-7 (il serait égal à 1 si les gammes se chevauchent (cas A) ou si celles-ci correspondent à une partie plate de la caractéristique du filtre)
- O_W est la densité de puissance minimale au centre du faisceau utile
- O_I est la densité de puissance maximale au centre du faisceau brouilleur à la même distance de l'émetteur brouilleur que le récepteur
- θ est l'angle entre l'axe du faisceau brouilleur et une droite reliant le faisceau brouilleur au le récepteur
- d est la divergence du faisceau (angle entre des directions suivant lesquelles la densité de puissance diminue d'un facteur $1/e^2$) de l'émetteur brouilleur
- ϕ est l'angle entre l'axe du récepteur et la droite reliant l'émetteur brouilleur au récepteur
- a est l'angle d'admission du récepteur (angle entre des directions suivant lesquelles la puissance détectée par le récepteur diminue d'un facteur $1/e^2$)

Si la courbe de la densité de puissance optique en fonction de l'angle est connue pour l'émetteur brouilleur, le terme $e^{-\frac{8\theta^2}{d^2}}$ de l'équation 6-3 devrait être remplacé par la valeur lue sur la courbe des valeurs mesurées.

De même, si la courbe de la puissance optique détectée par le récepteur en fonction de l'angle est connue, le terme $e^{-\frac{8\phi^2}{a^2}}$ de l'équation 6-3 devrait être remplacé par la valeur lue sur la courbe des valeurs mesurées.

6.2 Effet des conditions météorologiques sur la diaphonie

Les systèmes FSO réels sont généralement conçus de manière à pouvoir adapter leur fonctionnement à une grande diversité de conditions météorologiques. La divergence du faisceau et l'affaiblissement sont les deux principaux effets de la météorologie à prendre en compte pour calculer la diaphonie.

6.2.1 Variation de l'affaiblissement

Lors du calcul de la diaphonie grâce à l'équation 6-3, il faut s'assurer, lorsque l'on évalue le facteur $\frac{O_I}{O_W}$, que la valeur utilisée correspond au cas le plus défavorable quelles que soient les conditions météorologiques que la liaison utile doit tolérer. Plus précisément, lorsque l'émetteur brouilleur est plus proche du récepteur que l'émetteur utile, le cas le plus défavorable du rapport de la densité de puissance brouilleuse sur la densité de puissance utile au centre des faisceaux respectifs se produit lorsque l'affaiblissement sur la liaison utile est maximal (c'est-à-dire dans les pires conditions météorologiques que la liaison doit tolérer). L'exemple 3 de l'Appendice I illustre cette situation.

6.2.2 Variation de la divergence du faisceau

Second effet de la météorologie sur les liaisons FSO, la divergence effective du faisceau peut s'accroître notamment à cause de conditions météorologiques défavorables. Cet effet devrait être pris en compte lorsque l'on attribue une valeur à la variable d utilisée dans l'équation 6-3 pour calculer la diaphonie.

Lorsque les deux liaisons colocalisées utilisent des longueurs d'onde différentes, l'affaiblissement dû aux conditions météorologiques peut être différent suivant que l'on considère le faisceau utile ou le faisceau brouilleur. L'ampleur de cette différence dépend toutefois d'un certain nombre de paramètres, tels que la taille des gouttelettes d'eau.

6.3 Cas A – Brouillage entre deux systèmes pouvant utiliser la même longueur d'onde

Lorsque deux systèmes FSO colocalisés peuvent utiliser la même longueur d'onde, un certain espacement doit les séparer pour éviter des brouillages mutuels. L'espace à respecter autour d'un système FSO dépend du niveau de diaphonie interférométrique généré par le système brouilleur.

La dégradation due à la diaphonie interférométrique (effet du taux d'extinction imparfait compris) est, conformément au Supplément 39 aux Recommandations UIT-T de la série G, donnée par:

$$P_I = 10 \log_{10} \left(\frac{\frac{r-1}{r+1}}{\frac{r-1}{r+1} + 10^{\frac{C_I}{10}} - 4 \sqrt{\frac{r}{r+1}} 10^{\frac{C_I}{10}}} \right) \quad [\text{dB}] \quad (6-4)$$

pour un seuil moyen de décision concernant la puissance, et par:

$$P_I = -10 \log_{10} \left(1 - 2 \left(\frac{(1 + \sqrt{r}) \sqrt{10^{\frac{C_I}{10}} (r+1)}}{r-1} \right) \right) \quad [\text{dB}] \quad (6-5)$$

pour un seuil optimisé de décision.

où:

P_I est la dégradation due à la diaphonie interférométrique (dB)

$C_I = \log_{10}(C)$ est la diaphonie interférométrique (dB), c'est-à-dire le rapport de la puissance brouilleuse sur la puissance utile détectée par le récepteur

r est le taux d'extinction linéaire du signal utile

Les courbes de dégradation due à la diaphonie interférométrique sont représentées sur la Figure 6-9 pour un signal utile idéal et pour un signal utile ayant un taux d'extinction de 6 dB.

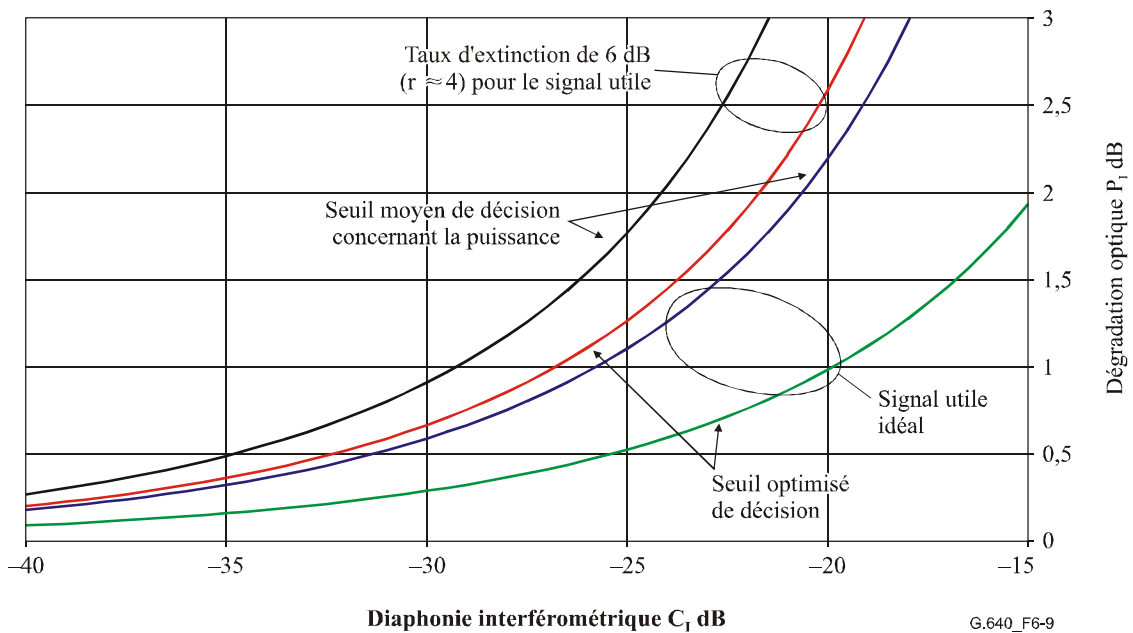


Figure 6-9/G.640 – Dégradation optique en fonction de la diaphonie interférométrique pour un signal brouilleur unique (modèle borné)

6.4 Cas B – Brouillage entre deux systèmes ne pouvant pas utiliser la même longueur d'onde

Lorsque deux systèmes FSO colocalisés **ne peuvent pas** utiliser la même longueur d'onde (voir le cas B sur la Figure 6-1), la diaphonie générée par le signal brouilleur est de type intercanaux.

La dégradation due à la diaphonie intercanaux (effet du taux d'extinction imparfait compris) est, conformément au Supplément 39 aux Recommandations UIT-T de la série G, donnée par:

$$P_C = 10 \log_{10} \left(1 - 10^{\frac{C_C}{10}} \frac{r+1}{r-1} \right) \quad [\text{dB}] \quad (6-6)$$

où:

P_C est la dégradation due à la diaphonie intercanaux (dB)

$C_C = \log_{10}(C)$ est la diaphonie intercanaux (dB), c'est-à-dire le rapport de la puissance brouilleuse sur la puissance utile détectée par le récepteur

r est le taux d'extinction linéaire du signal utile

Les courbes de dégradation due à la diaphonie intercanaux sont représentées sur la Figure 6-10 pour un signal utile idéal et pour un signal utile ayant un taux d'extinction de 6 dB.

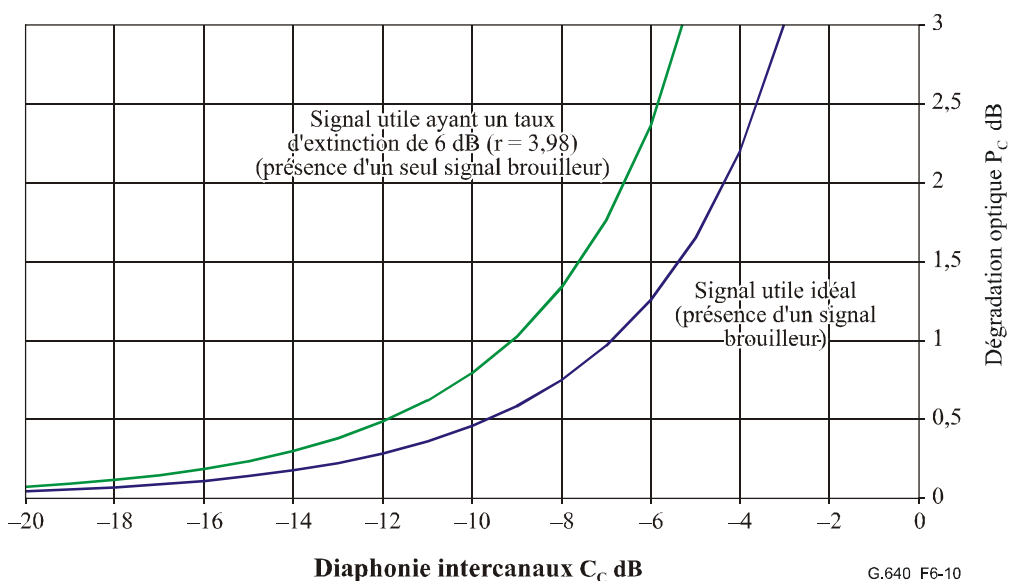


Figure 6-10/G.640 – Dégradation optique en fonction de la diaphonie intercanaux pour un signal brouilleur unique

6.5 Procédure permettant de déterminer si les conditions de compatibilité longitudinale pour deux systèmes colocalisés sont réunies

Lorsque deux systèmes FSO doivent être placés très proches l'un de l'autre, la procédure décrite ci-après suivante permet d'évaluer si l'un d'eux génère vers l'autre un brouillage inacceptable. La procédure doit être appliquée à deux reprises pour chaque paire de systèmes FSO, chaque système étant à tour de rôle utile ou brouilleur.

- 1) Déterminer la dégradation optique due à la diaphonie que permet le bilan de puissance du système utile (par exemple 0,5 dB).
- 2) Déterminer lequel des deux cas de la Figure 6-1 s'applique. Si l'écart entre les gammes de longueur d'onde possibles des deux émetteurs est au moins égal à l'équivalent de la largeur de bande électrique du récepteur, le cas B s'applique et la diaphonie est de type intercanaux. Sinon, le cas A s'applique et la diaphonie est de type interférométrique.
- 3) Calculer l'écart diaphonique. La procédure à suivre dépend du résultat de l'étape 2.
 - a) Cas A. Dans le cas d'une diaphonie interférométrique, utiliser l'équation 6-4 ou 6-5 (suivant que le seuil de décision du récepteur est ou non optimisé) pour calculer la diaphonie qui générerait la dégradation maximale déterminée à l'étape 1. Par exemple, un émetteur utile ayant un rapport d'extinction de 6 dB et un récepteur utilisant un seuil moyen de décision concernant la puissance présenteront une dégradation optique de 0,5 dB pour une valeur C_1 d'environ -35 dB (voir la Figure 6-9).
 - b) Cas B. Dans le cas d'une diaphonie intercanaux, utiliser l'équation 6-6 pour calculer la diaphonie qui générerait la dégradation maximale déterminée à l'étape 1. Par exemple, un émetteur utile ayant un rapport d'extinction de 6 dB présentera une dégradation optique de 0,5 dB pour une valeur C_c d'environ -12 dB (voir la Figure 6-10).

- 4) En utilisant l'équation 6-3 et les valeurs des paramètres physiques des deux systèmes FSO, calculer si les emplacements physiques proposés pour les deux systèmes permettront de ne pas dépasser, en toutes circonstances, le niveau maximal de diaphonie déterminé lors de l'étape 3. Les informations fournies au § 6.2 devraient être prises en compte pour s'assurer que les valeurs de paramètre utilisées correspondent au cas le plus défavorable susceptible d'être rencontré quelles que soient les conditions météorologiques dans lesquelles le système utile est censé fonctionner de façon satisfaisante.

On trouvera dans l'Appendice I des exemples d'utilisation de cette procédure pour des systèmes FSO réels.

7 Considérations sur la sécurité optique

On trouvera dans les normes CEI 60825-1, CEI 60825-2 et CEI 60825-12 des informations sur la sécurité optique pour les systèmes FSO.

La norme CEI 60825-12 (*Sécurité des systèmes de communications optiques en espace libre utilisés pour la transmission d'informations*) donne notamment des détails sur la classification des emplacements sur lesquels les systèmes FSO pourraient être exploités et spécifie les prescriptions relatives au matériel exploité sur chacun de ces emplacements.

Appendice I

Exemples de calcul de la diaphonie

I.1 Exemple 1

Deux systèmes FSO de conception identique doivent être installés entre la même paire de bâtiments, donnant ainsi lieu à deux liaisons parallèles en espace libre. Les caractéristiques de chaque système sont les suivantes:

- distance entre l'émetteur et le récepteur: 400 m;
- valeurs maximale et minimale de la puissance globale émise: 8 mW et 5 mW;
- valeur maximale de la divergence du faisceau de l'émetteur dans les conditions météorologiques les plus défavorables (d): 4 mrad;
- valeur minimale du taux d'extinction de l'émetteur: 8,2 dB;
- valeur maximale de l'angle d'admission du récepteur (a): 5 mrad;
- le récepteur utilise un seuil moyen de décision concernant la puissance;
- précision de pointage de l'émetteur et du récepteur: 1 mrad;
- valeur maximale de la dégradation due à la diaphonie: 0,5 dB.

Quelle est la distance de séparation minimale entre les deux systèmes? La Figure I.1 donne un diagramme de référence pour cet exemple.

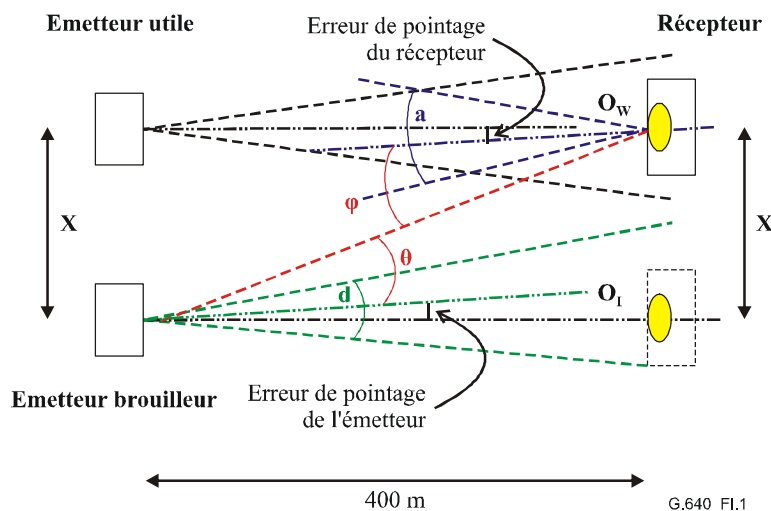


Figure I.1/G.640 – Diagramme de référence pour le calcul de la diaphonie (exemple 1)

L'application de la procédure du § 6.5 donne ce qui suit:

- 1) la valeur maximale de la dégradation optique due à la diaphonie est de 0,5 dB;
- 2) étant de conception identique, les deux systèmes peuvent utiliser la même longueur d'onde: le cas A (diaphonie interférométrique) s'applique;

- 3) calculer la diaphonie pour le cas A:
- a) cas A. Dans le cas d'une diaphonie interférométrique avec utilisation d'un seuil moyen de décision concernant la puissance, l'équation 6-4 permet de calculer que $C_1 = -33,3$ dB générerait une dégradation de 0,5 dB pour un taux d'extinction de 8,2 dB. En valeur linéaire, $C_1 = 0,000463$;
- 4) comme dans cet exemple les liaisons sont parallèles et que les erreurs de pointage sont identiques pour l'émetteur et pour le récepteur, les angles θ et φ sont identiques quelle que soit la valeur de la distance de séparation X. Les deux liaisons étant de longueur identique, le rapport O_1 sur O_w est égal au rapport de la puissance émise maximale sur la puissance émise minimale (puisque la puissance de l'émetteur brouilleur pourrait être maximale et celle de l'émetteur utile minimale). On a de plus $L = 1$, car les longueurs d'onde sont identiques. L'équation 6-3 devient donc:

$$0,000463 = \frac{8}{5} e^{\frac{-8\theta^2}{4^2}} e^{\frac{-8\theta^2}{5^2}}$$

Cette équation est satisfaite lorsque θ (et donc φ) est égal à 3,06 mrad.

D'après la géométrie des liaisons:

$$\tan\left(\frac{1 + 3,06}{1000}\right) = \frac{X}{200}$$

ce qui donne comme distance de séparation $X = 1,6$ m.

I.2 Exemple 2

Cet exemple est identique à l'exemple 1, si ce n'est qu'on utilise la courbe (Figure I.2) des caractéristiques du faisceau d'émission dans le cas le plus défavorable et la courbe (Figure I.3) de la puissance optique détectée en fonction de l'angle dans le cas le plus défavorable.

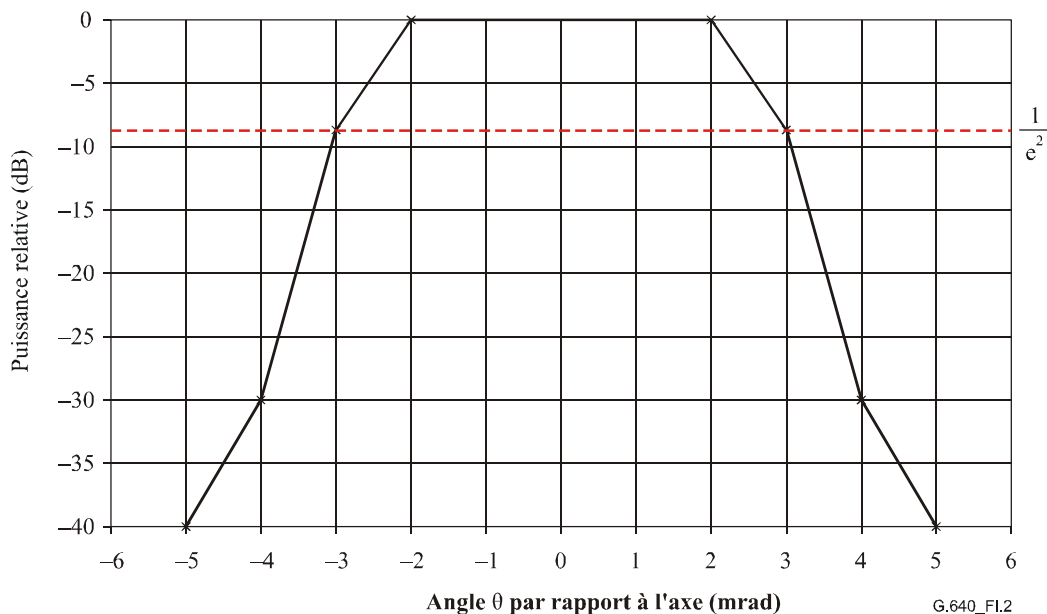


Figure I.2/G.640 – Courbe de la densité de puissance d'émission en fonction de l'angle dans le cas le plus défavorable

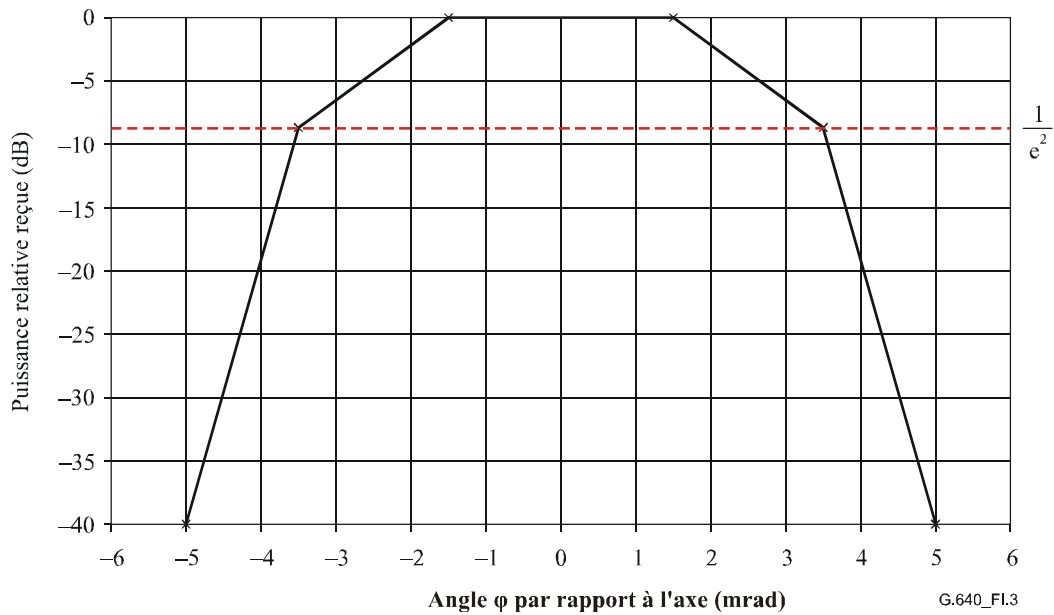


Figure I.3/G.640 – Courbe de la densité de puissance optique détectée par le récepteur en fonction de l'angle dans le cas le plus défavorable

La procédure appliquée pour cet exemple est identique jusqu'à l'étape 4 à celle de l'exemple 1. L'équation 6-3 devient alors:

$$0,000463 = \frac{8}{5} \text{ valeur relevée sur la Figure I.2} \times \text{valeur relevée sur la Figure I.3}$$

Cette équation est satisfaite lorsque θ (et donc ϕ) vaut 3,82 mrad.

D'après la géométrie des liaisons:

$$\tan\left(\frac{1 + 3,82}{1000}\right) = \frac{X}{200}$$

ce qui donne comme distance de séparation: $X = 1,9$ m.

I.3 Exemple 3

Deux systèmes FSO de conception identique doivent être installés suivant la configuration illustrée sur la Figure I.4.

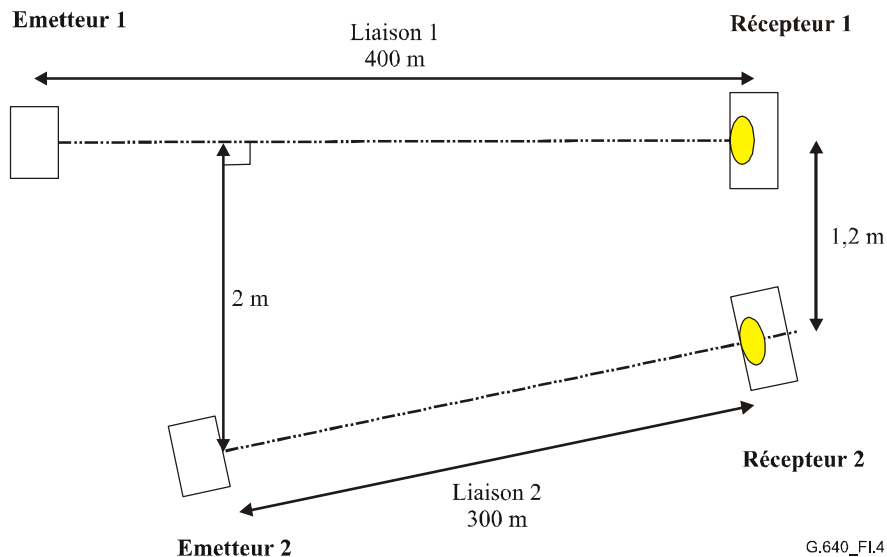


Figure I.4/G.640 – Configuration de l'exemple 3

Les caractéristiques de deux systèmes sont les suivantes:

- valeurs maximale et minimale de la puissance globale émise: 8 mW et 5 mW;
- valeur maximale de la divergence du faisceau de l'émetteur dans les conditions météorologiques les plus défavorables (d): 4 mrad;
- valeur minimale du taux d'extinction de l'émetteur: 10 dB;
- valeur maximale de l'angle d'admission du récepteur (a): 6 mrad;
- le récepteur utilise un seuil moyen de décision concernant la puissance;
- précision de pointage de l'émetteur et du récepteur: 1 mrad;
- valeur maximale de la dégradation due à la diaphonie: 0,5 dB;
- distance entre l'émetteur et le récepteur de la liaison 1: 400 m;
- affaiblissement dû à l'atmosphère dans le bilan de la liaison 1: 25 dB;
- distance entre l'émetteur et le récepteur de la liaison 2: 300 m.

La dégradation due à la diaphonie sera-t-elle acceptable pour les deux systèmes?

La Figure I.5 donne le diagramme de référence lorsque la liaison utile est la liaison 1.

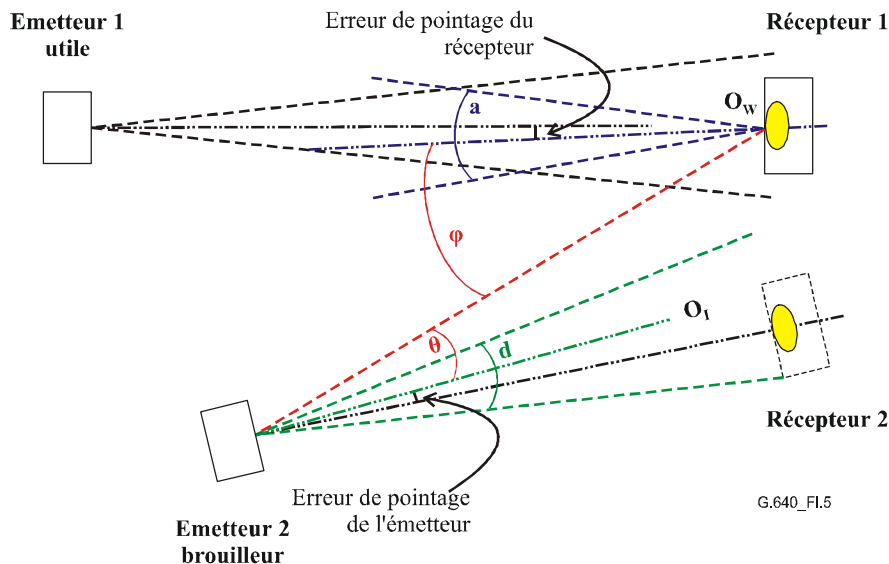


Figure I.5/G.640 – Diagramme de référence pour le calcul de la diaphonie dans l'exemple 3 lorsque la liaison utile est la liaison 1

L'application de la procédure du § 6.5 lorsque le signal utile est celui de l'émetteur 1 et le signal brouilleur est celui de l'émetteur 2 donne ce qui suit:

- 1) la valeur maximale de la dégradation optique due à la diaphonie est de 0,5 dB;
- 2) étant de conception identique, les deux systèmes peuvent utiliser la même longueur d'onde: le cas A (diaphonie interférométrique) s'applique;
- 3) calculer la diaphonie pour le cas A:
 - a) cas A. Dans le cas d'une diaphonie interférométrique avec utilisation d'un seuil moyen de décision concernant la puissance, l'équation 6-4 permet de calculer que $C_1 = -32,6$ dB générerait une dégradation de 0,5 dB pour un taux d'extinction de 10 dB. En valeur linéaire, $C_1 = 0,000545$;
- 4) d'après la géométrie définie sur la Figure I.4, $\varphi \approx 1000 \times \arctan(2/300) - 1$ mrad (c'est-à-dire 5,67 mrad) et $\theta \approx 1000 \times \arctan(1,2/300) - 1$ mrad (c'est-à-dire 3,0 mrad). Comme la liaison 2 est plus courte que la liaison 1, le rapport O_I sur O_W dépend du carré des longueurs des liaisons, des conditions météorologiques et du rapport de la puissance émise maximale sur la puissance émise minimale (puisque la puissance de l'émetteur brouilleur pourrait être maximale et celle de l'émetteur utile minimale). Ce rapport est donc le suivant:

$$\frac{O_I}{O_W} = \frac{8}{5} \frac{400^2}{300^2} 10^{\frac{(25-25\frac{300}{400})}{10}} = 12$$

où le dernier terme tient compte de l'affaiblissement atmosphérique sur la liaison 2 lorsque cet affaiblissement est de 25 dB sur la liaison 1. Les longueurs d'onde étant identiques, $L = 1$. L'équation 6-3 devient donc:

$$C = 12 e^{\frac{-8 \times 3,0^2}{4^2}} e^{\frac{-8 \times 5,67^2}{6^2}} = 0,0000106 = -39,7 \text{ dB}$$

Ce niveau de diaphonie étant inférieur à $-32,6$ dB (valeur maximale que le récepteur peut tolérer), la géométrie de liaisons proposée est acceptable du point de vue de la liaison 1.

La Figure I.6 donne le diagramme de référence lorsque la liaison utile est la liaison 2.

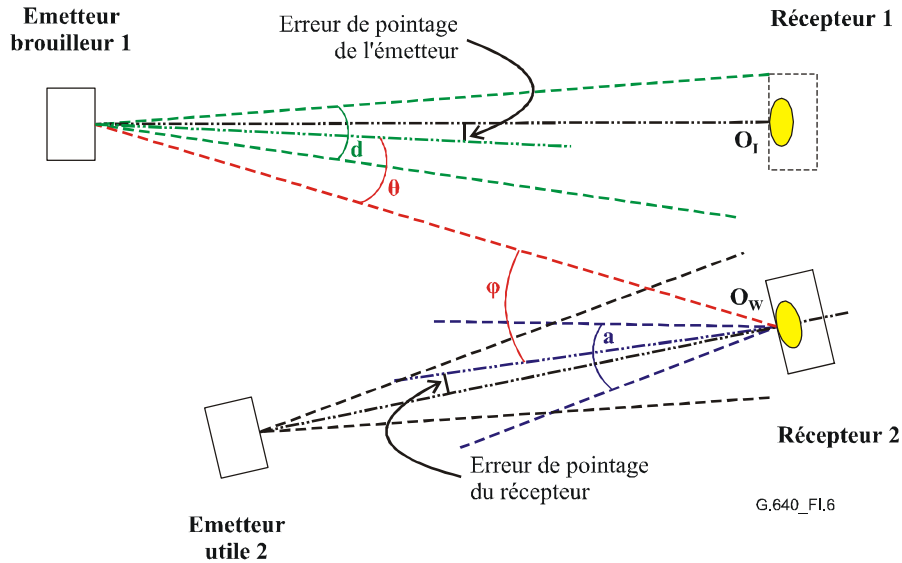


Figure I.6/G.640 – Diagramme de référence pour le calcul de la diaphonie dans l'exemple 3 lorsque la liaison utile est la liaison 2

L'application de la procédure du § 6.5 lorsque le signal utile est celui de l'émetteur 2 et le signal brouilleur est celui de l'émetteur 1 donne ce qui suit:

- 1) la valeur maximale de la dégradation optique due à la diaphonie est de 0,5 dB;
- 2) étant de conception identique, les deux systèmes peuvent utiliser la même longueur d'onde: le cas A (diaphonie interférométrique) s'applique;
- 3) calculer la diaphonie pour le cas A:
 - a) dans le cas d'une diaphonie interférométrique avec utilisation d'un seuil moyen de décision concernant la puissance, l'équation 6-4 permet de calculer que $C_1 = -32,6$ dB générerait une dégradation de 0,5 dB pour un taux d'extinction de 10 dB. En valeur linéaire, $C_1 = 0,000545$;
- 4) d'après la géométrie définie sur la Figure I.4, $\varphi \approx 1000 \times (\arctan(0,8/300) + \arctan(1,2/400)) - 1$ mrad (c'est-à-dire 4,67 mrad) et $\theta \approx 1000 \times \arctan(1,2/400) - 1$ mrad (c'est-à-dire 2,0 mrad).

Comme la liaison 2 est plus courte que la liaison 1, le rapport P_I sur P_W dépend du carré des longueurs des liaisons, des conditions météorologiques et du rapport de la puissance émise maximale sur la puissance émise minimale (puisque la puissance de l'émetteur brouilleur pourrait être maximale et celle de l'émetteur utile minimale). La diaphonie étant la plus grande par temps clair, le rapport P_I sur P_W dans le cas le plus défavorable est donc le suivant:

$$\frac{P_I}{P_W} = \frac{8\ 300^2}{5\ 400^2} = 0,9$$

Les longueurs d'onde étant identiques, $L = 1$. L'équation 6-3 devient donc:

$$C = 0,9 e^{\frac{-8 \times 2,0^2}{4^2}} e^{\frac{-8 \times 4,67^2}{6^2}} = 0,000964 = -30,2 \text{ dB}$$

Ce niveau de diaphonie étant supérieur à $-32,6$ dB (valeur maximale que le récepteur peut tolérer), la géométrie de liaisons proposée doit être modifiée pour éviter que la liaison 1 entraîne le dépassement de la valeur maximale de dégradation due à la diaphonie. On peut pour cela accroître la distance entre les récepteurs, pour obtenir une distance de séparation d'au moins 1,4 m.

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série D	Principes généraux de tarification
Série E	Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques
Série H	Systèmes audiovisuels et multimédias
Série I	Réseau numérique à intégration de services
Série J	Réseaux câblés et transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	Gestion des télécommunications y compris le RGT et maintenance des réseaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Réseaux de données, communication entre systèmes ouverts et sécurité
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information, protocole Internet et réseaux de prochaine génération
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication