



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.661

(10/98)

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

Caractéristiques des supports de transmission –
Caractéristiques des composants et sous-systèmes
optiques

**Définition et méthodes de mesure des
paramètres génériques relatifs aux dispositifs et
sous-systèmes amplificateurs optiques**

Recommandation UIT-T G.661

(Antérieurement Recommandation du CCITT)

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
SYSTÈMES INTERNATIONAUX ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	
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
EQUIPEMENTS DE TEST	
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	
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
SYSTÈMES DE TRANSMISSION NUMÉRIQUES	
EQUIPEMENTS TERMINAUX	G.700–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999

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

RECOMMANDATION UIT-T G.661

DEFINITION ET METHODES DE MESURE DES PARAMETRES GENERIQUES RELATIFS AUX DISPOSITIFS ET SOUS-SYSTEMES AMPLIFICATEURS OPTIQUES

Résumé

Le but de la présente Recommandation est d'indiquer les définitions des paramètres pertinents communs aux différents types d'amplificateurs optiques et les méthodes de mesure de ces paramètres qu'il convient d'appliquer, autant que possible, aux dispositifs et sous-systèmes amplificateurs optiques visés par les Recommandations de l'UIT-T.

Source

La Recommandation UIT-T G.661, révisée par la Commission d'études 15 de l'UIT-T (1997-2000), a été approuvée le 13 octobre 1998 selon la procédure définie dans la Résolution n° 1 de la CMNT.

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.

La Conférence mondiale de normalisation des télécommunications (CMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'études 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 n° 1 de la CMNT.

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, le terme *exploitation reconnue (ER)* désigne tout particulier, toute entreprise, toute société ou tout organisme public qui exploite un service de correspondance publique. Les termes *Administration*, *ER* et *correspondance publique* sont définis dans la *Constitution de l'UIT (Genève, 1992)*.

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 avait 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 responsables de la mise en œuvre de consulter la base de données des brevets du TSB.

© UIT 1999

Droits de reproduction réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'UIT.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1	Domaine d'application..... 1
2	Références normatives 1
3	Abréviations 1
4	Définitions 2
5	Méthodes de mesure..... 7
Appendice I – Principales différences entre amplificateurs à fibres optiques et amplificateurs optiques à semi-conducteurs 8	
I.1	Remarques générales..... 8
I.2	Comparaison de performances entre amplificateurs SOA et OFA..... 9
I.3	Applications 10

Recommandation G.661

DÉFINITION ET MÉTHODES DE MESURE DES PARAMÈTRES GÉNÉRIQUES RELATIFS AUX DISPOSITIFS ET SOUS-SYSTÈMES AMPLIFICATEURS OPTIQUES

(révisée en 1998)

1 Domaine d'application

La présente Recommandation s'applique aux dispositifs et sous-systèmes amplificateurs optiques (OA, *optical amplifier*) à utiliser dans les réseaux de transmission. Elle s'applique aussi bien aux amplificateurs à fibres optiques (OFA, *optical fibre amplifier*) qu'aux amplificateurs optiques à semi-conducteurs (SOA, *semiconductor optical amplifier*).

La présente Recommandation vise à définir les paramètres communs aux différents types d'amplificateurs optiques. Ces paramètres sont énumérés dans le paragraphe 4 et les méthodes d'essai relatives à ces paramètres sont décrites dans le paragraphe 5, qui doit être observé, dans la mesure du possible pour les dispositifs et sous-systèmes amplificateurs optiques visés par des Recommandations UIT-T.

2 Références normatives

Les Recommandations UIT-T et autres références suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Recommandation. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute Recommandation ou autre référence est sujette à révision; tous les utilisateurs de la présente Recommandation sont donc invités à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des Recommandations et autres références indiquées ci-après. Une liste des Recommandations UIT-T en vigueur est publiée régulièrement.

- Recommandation UIT-T G.662 (1998), *Caractéristiques génériques des dispositifs et sous-systèmes amplificateurs à fibres optiques*.
- Recommandation UIT-T G.663 (1996), *Aspects relatifs aux applications des dispositifs et des sous-systèmes amplificateurs à fibre optique*.
- Publication CEI de la série 61290 (Toutes les parties – certaines encore à paraître), *Amplificateurs à fibres optiques – Spécification de base – Méthodes d'essai*.

3 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

ASE	émission spontanée amplifiée (<i>amplified spontaneous emission</i>)
Bsp-sp	largeur de bande spontanée-spontanée (<i>spontaneous-spontaneous optical bandwidth</i>)
EDFA	amplificateur à fibre silicium dopée à l'erbium (<i>erbium-doped fibre amplifier</i>)
F	bruit (<i>noise factor</i>)
NF	facteur de bruit (moyen) (<i>noise figure</i>)
OA	amplificateur optique (<i>optical amplifier</i>)

OFA	amplificateur à fibre optique (<i>optical fibre amplifier</i>)
PDG	gain fonction de la polarisation (<i>polarization-dependent gain</i>)
PHB	perforation par combustion due à la polarisation (<i>polarization hole burning</i>)
PMD	mode de dispersion de polarisation (<i>polarization mode dispersion</i>)
SOA	amplificateur optique à semi-conducteur (<i>semiconductor optical amplifier</i>)
TM	méthode d'essai (<i>test method</i>)

4 Définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

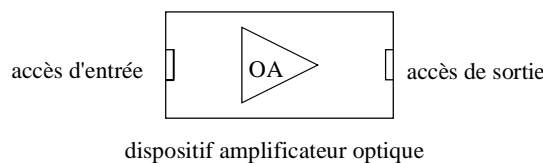
amplificateurs optiques (OA, *optical amplifier*): dispositifs dans lesquels des signaux optiques peuvent être amplifiés par émission stimulée intervenant dans un milieu actif approprié. On réalise dans celui-ci une inversion de population ayant pour objet de faciliter l'émission stimulée en terme d'absorption. Cette inversion est maintenue au moyen d'un système de pompage approprié.

Les amplificateurs optiques visés par la présente Recommandation sont les OFA et les SOA.

amplificateurs à fibre optique (OFA, *optical fibre amplifier*): amplificateurs optiques dont le milieu actif est constitué d'une fibre optique dopée avec des ions de terres rares et dont le système de pompage est optique. Actuellement, les amplificateurs OFA les plus au point sont à fibre (de silicium) dopée (ou codopée) à l'erbium [EDFA, *erbium-doped fibre amplifier*].

amplificateurs optiques à semi-conducteur (SOA, *semiconductor optical amplifier*): amplificateurs optiques dont le milieu actif est constitué d'un matériau semi-conducteur et dont le système de pompage est électrique.

L'OA doit être considéré comme une boîte noire, selon la Figure 1 pour un dispositif OA, avec deux accès optiques et des connexions électriques pour l'alimentation. Les accès optiques, généralement différenciés en accès d'entrée et accès de sortie, peuvent être constitués de fibres amorces ou de connecteurs optiques.



T1520590-96

Figure 1/G.661 – Dispositif amplificateur optique

Il sera fait généralement référence, dans la suite, à deux types de conditions de fonctionnement différentes: les conditions de fonctionnement nominales, pour une utilisation normale de l'amplificateur optique, et les conditions de fonctionnement limites dans lesquelles tous les paramètres réglables (température, gain, courant d'injection du laser de pompage pour les amplificateurs à fibre ou courant de pompage pour les amplificateurs à semi-conducteur, etc.) sont à leurs valeurs maximales, conformément aux caractéristiques limites indiquées.

NOTE 1 – Si l'un de ces paramètres est spécifié pour un amplificateur optique particulier, il sera généralement nécessaire d'assurer certaines conditions de fonctionnement appropriées telles que la température, le courant de polarisation, la puissance de pompage, etc.

NOTE 2 – L'OA amplifie les signaux dans une région spectrale autour de la longueur d'onde nominale de fonctionnement. En outre, d'autres signaux n'appartenant pas à cette bande spectrale peuvent, dans certaines applications, traverser le dispositif. L'objet de ces signaux hors bande, leur longueur d'onde ou leur région spectrale peuvent être spécifiés explicitement cas par cas. Pour les amplificateurs à fibre optique décrits dans la présente Recommandation, la longueur d'onde de fonctionnement se situera dans la région de 1550 nm.

NOTE 3 – Tous les gains sont mesurés sous la forme du rapport en décibels, du signal de sortie sur le signal d'entrée dans une fibre amorcée. Si on utilise des connecteurs, les signaux sont mesurés dans des fibres amorcées raccordées aux connecteurs, eux-mêmes reliés aux accès de l'amplificateur optique. Les niveaux de puissance optiques d'entrée et de sortie mesurés concernent le seul signal et écartent le rayonnement dû au pompage ou à l'émission spontanée.

NOTE 4 – Les numéros attribués aux paramètres dans le présent paragraphe correspondent à ceux des méthodes de mesure correspondantes du paragraphe 5.

NOTE 5 – Sauf indication contraire, les puissances optiques mentionnées sont des puissances moyennes.

NOTE 6 – Certaines définitions complémentaires concernant des types particuliers d'amplificateurs optiques (dispositifs amplificateurs optiques tels qu'amplificateurs de puissance, préamplificateurs et amplificateurs de ligne, ainsi que sous-systèmes amplificateurs optiques tels qu'émetteurs et récepteurs à amplification optique) sont données dans la Recommandation G.662.

NOTE 7 – Pour ce qui concerne les amplificateurs OFA, la présente Recommandation a été établie à partir de l'expérience acquise avec des amplificateurs à fibre de silice dopée à l'erbium fonctionnant autour de 1550 nm. Les futurs amplificateurs utilisant des fibres actives différentes et fonctionnant éventuellement dans d'autres régions spectrales ne sont pas exclus de la présente Recommandation, et peuvent conduire à l'inclusion de définitions et de méthodes de mesure supplémentaires ainsi qu'à la modification de celles qui existent déjà.

4.1 gain pour les signaux faibles (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): gain de l'amplificateur, lorsque celui-ci fonctionne en régime linéaire, où il est assez indépendant de la puissance optique du signal d'entrée, pour une longueur d'onde de signal donnée et un niveau de puissance optique de pompage donnés pour les amplificateurs OFA, ou un courant de pompage donné pour les amplificateurs SOA.

NOTE – Cette propriété peut être décrite pour une longueur d'onde donnée ou en fonction de la longueur d'onde.

4.2 gain inverse pour les signaux faibles (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): gain pour les signaux faibles mesuré avec inversion des accès d'entrée et de sortie.

4.3 gain maximal pour les signaux faibles (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): gain le plus élevé qui puisse être obtenu pour les signaux faibles dans des conditions nominales de fonctionnement.

4.4 longueur d'onde de gain maximal pour les signaux faibles (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): longueur d'onde à laquelle est obtenu le gain maximal pour les signaux faibles.

4.5 variation du gain maximal pour les signaux faibles en fonction de la température (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): modification du gain pour les signaux faibles en fonction des variations de la température dans des limites spécifiées.

4.6 bande de longueur d'onde (gain pour les signaux faibles), applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): intervalle de longueur d'onde dans lequel le gain pour les signaux faibles est supérieur à une valeur de coupure de N dB au-dessous du gain maximal pour les signaux faibles.

NOTE – Une valeur de N = 3 a été proposée.

4.7 variation du gain avec la longueur d'onde pour les signaux faibles (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): variation de crête à crête du gain pour les signaux faibles dans une gamme de longueurs d'onde donnée.

4.8 stabilité du gain pour les signaux faibles (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): degré de fluctuation du gain pour les signaux faibles exprimée par le rapport (en dB) du gain maximal et minimal pour les signaux faibles, pendant une certaine période de mesure spécifiée dans des conditions nominales de fonctionnement.

4.9 stabilité de sortie pour les signaux forts (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): degré de fluctuation de la puissance optique de sortie exprimée par le rapport (en dB) des puissances optiques maximales et minimales du signal de sortie, pendant une certaine période de mesure spécifiée, dans des conditions de fonctionnement nominales et de puissance optique spécifiée pour les signaux d'entrée forts.

4.10 variation du gain en fonction de la polarisation (PDG, *polarization-dependent gain*) (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): variation maximale du gain due à une variation de l'état de polarisation du signal d'entrée dans des conditions nominales de fonctionnement.

4.11 puissance de sortie à saturation (puissance de compression du gain) (non applicable aux récepteurs à amplification optique): puissance optique du signal de sortie correspondant à une diminution du gain de 3 dB pour les amplificateurs OFA ou de 1 dB pour les amplificateurs SOA, par rapport au gain pour les signaux faibles à la longueur d'onde du signal.

NOTE 1 – La longueur d'onde à laquelle le paramètre est spécifié doit être indiquée.

NOTE 2 – La puissance de pompage optique pour les amplificateurs OFA (ou le courant de pompage pour les amplificateurs SOA) doit être indiquée le cas échéant.

4.12 puissance nominale du signal de sortie (non applicable aux récepteurs à amplification optique): puissance optique minimale du signal de sortie pour une puissance optique du signal d'entrée spécifiée dans des conditions nominales de fonctionnement.

4.13 facteur de bruit (NF, *noise figure*) (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): Diminution du rapport signal-bruit (SNR, *signal-to-noise ratio*), à la sortie d'un détecteur optique à rendement quantique unitaire, due à la propagation, à travers l'amplificateur optique, d'un signal limité par le bruit de grenaille et exprimée en dB.

NOTE 1 – Les conditions de fonctionnement auxquelles le facteur de bruit est spécifié doivent être indiquées.

NOTE 2 – Cette propriété peut être décrite pour une longueur d'onde discrète ou en fonction de la longueur d'onde.

NOTE 3 – La dégradation du bruit due à l'amplificateur optique est imputable à différents facteurs par exemple bruit de battement spontané-signal, bruit de battement spontané-spontané, bruit de réflexion interne, bruit de grenaille du signal, bruit de grenaille spontané. Chacune de ces contributions dépend de diverses conditions qui doivent être spécifiées pour une évaluation correcte du facteur de bruit.

NOTE 4 – Par convention, le facteur de bruit est un nombre positif.

4.14 niveau de puissance de l'émission spontanée amplifiée vers l'avant (ASE, *amplified spontaneous emission*) (non applicable aux récepteurs à amplification optique): puissance optique dans une largeur de bande spécifiée associée à l'ASE émanant de l'accès de sortie dans des conditions nominales de fonctionnement.

NOTE 1 – Ce paramètre est particulièrement important pour les amplificateurs optiques utilisés comme préamplificateurs ou amplificateurs de ligne et il dépend essentiellement du filtre utilisé.

NOTE 2 – Les conditions de fonctionnement (par exemple, gain et puissance optique du signal d'entrée) auxquelles le niveau ASE est spécifié doivent être indiquées.

4.15 niveau de puissance de l'émission spontanée amplifiée inverse (non applicable aux émetteurs à amplification optique): puissance optique dans une largeur de bande spécifiée associée à l'émission spontanée amplifiée émanant de l'accès d'entrée dans des conditions de fonctionnement nominales.

4.16 facteur de réflexion à l'entrée (non applicable aux émetteurs à amplification optique): fraction exprimée en dB de la puissance optique incidente à la longueur d'onde de fonctionnement réfléchi par l'accès d'entrée de l'amplificateur optique dans des conditions nominales de fonctionnement.

4.17 facteur de réflexion à la sortie (non applicable aux récepteurs à amplification optique): fraction exprimée en dB de la puissance optique incidente à la longueur d'onde de fonctionnement réfléchi par l'accès de sortie de l'amplificateur optique dans des conditions nominales de fonctionnement.

4.18 facteur de réflexion maximal admissible à l'entrée (non applicable aux émetteurs à amplification optique): réflexion maximale vue de l'accès d'entrée pour laquelle l'appareil est encore conforme aux spécifications.

NOTE – La mesure est effectuée avec une puissance optique donnée pour le signal d'entrée.

4.19 facteur de réflexion maximal admissible à la sortie (non applicable aux récepteurs à amplification optique): réflexion maximale vue de l'accès de sortie pour laquelle l'appareil est encore conforme aux spécifications.

NOTE – La mesure est effectuée avec une puissance optique donnée pour le signal d'entrée.

4.20 fuite de pompage à la sortie (applicable seulement aux amplificateurs OFA et non applicable aux récepteurs à amplification optique): puissance optique de pompage émise par l'accès de sortie de l'amplificateur à fibre optique.

NOTE – La mesure est effectuée avec une puissance optique donnée pour le signal d'entrée.

4.21 fuite de pompage à l'entrée (applicable seulement aux amplificateurs OFA et non applicable aux émetteurs à amplification optique): puissance optique de pompage émise par l'accès d'entrée de l'amplificateur à fibre optique.

NOTE – La mesure est effectuée avec une puissance optique donnée pour le signal d'entrée.

4.22 affaiblissement d'insertion hors bande (applicable seulement aux amplificateurs optiques): affaiblissement d'insertion de l'amplificateur optique pour un signal à la longueur (ou aux longueurs) d'onde hors bande spécifiée(s).

NOTE – Ce paramètre est fortement dépendant de la longueur d'onde dans les SOA.

4.23 affaiblissement d'insertion hors bande inverse (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): affaiblissement d'insertion de l'amplificateur optique pour un signal à la longueur (ou aux longueurs) d'onde hors bande spécifiée(s), mesuré avec l'accès d'entrée de l'amplificateur à fibre optique utilisé comme accès de sortie et vice versa.

NOTE – Ce paramètre est fortement dépendant de la longueur d'onde dans les SOA.

4.24 consommation maximale de puissance: puissance électrique nécessaire et absorbée par l'amplificateur optique fonctionnant dans les limites de puissance maximales absolues spécifiées.

4.25 puissance maximale totale de sortie (non applicable aux récepteurs à amplification optique): niveau de puissance optique maximal à l'accès de sortie de l'amplificateur optique dans les limites maximales de puissance spécifiées.

4.26 température de fonctionnement: intervalle de températures dans lequel l'amplificateur optique peut fonctionner en se conformant à toutes ses valeurs de paramètre spécifiées.

4.27 connexions optiques: connecteur ou type de fibre utilisés comme accès d'entrée et de sortie de l'amplificateur optique.

NOTE – Les connexions optiques ne doivent pas nécessairement être spécifiées.

4.28 limites de puissance d'entrée (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): limites de niveaux de puissance optique telle que, pour toute puissance de signal d'entrée de l'amplificateur optique comprise dans ces limites, la puissance optique de signal de sortie correspondante se situe dans les limites de puissance de sortie spécifiées où la qualité de fonctionnement de l'amplificateur optique est assurée.

4.29 limites de puissance de sortie (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): limites de niveaux de puissance optique dans lesquelles la puissance optique de signal de sortie de l'amplificateur optique doit être comprise lorsque la puissance de signal d'entrée correspondante se situe dans les limites de puissance d'entrée où la qualité de fonctionnement de l'amplificateur optique est assurée.

4.30 perforation par combustion due à la polarisation (PHB, *polarization hole burning*) (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): à l'étude.

4.31 dispersion des modes due à la polarisation (PMD, *polarization mode dispersion*) (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): différence maximale de temps de propagation de groupe entre des états de polarisation quelconques lors de la propagation à travers l'amplificateur optique.

4.32 gain (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): dans un amplificateur optique relié extérieurement à une fibre jarretière d'entrée, augmentation exprimée en dB de la puissance optique du signal entre l'extrémité de sortie de la jarretière et l'accès de sortie de l'amplificateur optique.

NOTE 1 – Le gain inclut l'affaiblissement de connexion entre la fibre de connexion d'entrée et l'accès d'entrée de l'amplificateur optique.

NOTE 2 – On admet implicitement que les fibres de connexion sont du même type que les fibres utilisées comme accès d'entrée et de sortie de l'amplificateur optique.

NOTE 3 – Il faut veiller à exclure la puissance d'émission spontanée amplifiée de la puissance optique du signal.

4.33 facteur de bruit (F, *noise factor*) (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): facteur de bruit exprimé sous forme linéaire.

4.34 facteur de bruit spontané du signal (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): contribution au bruit total du bruit de battement spontané du signal au facteur de bruit.

4.35 largeur de bande optique spontanée-spontanée (équivalente) (B_{sp-sp}) (non applicable aux récepteurs à amplification optique): largeur de bande optique équivalente par laquelle il faut multiplier le carré de la densité de puissance spectrale de l'émission spontanée amplifiée, ρ_{ase} , à la fréquence optique du signal, ν_{sig} , pour obtenir l'intégrale de la densité de puissance spectrale quadratique de l'émission spontanée amplifiée dans toute la largeur de bande de l'émission spontanée amplifiée, B_{ase} , c'est-à-dire:

$$B_{sp-sp} = \rho_{ase}^{-2}(\nu_{sig}) \cdot \int_{B_{ase}} \rho_{ase}^2(\nu) d\nu$$

NOTE 1 – On peut réduire la largeur de bande optique spontanée-spontanée équivalente en utilisant un filtre optique à la sortie de l'amplificateur optique.

NOTE 2 – Ce paramètre est lié à la production de bruit de battement spontané-spontané et nécessite donc l'utilisation de la densité de puissance spectrale quadratique de l'émission spontanée amplifiée.

4.36 largeur de bande de l'émission spontanée amplifiée (non applicable aux récepteurs à amplification optique): intervalle entre les deux longueurs d'onde auxquelles on observe une diminution spécifiée de l'émission spontanée amplifiée de sortie par rapport à la valeur crête du spectre de l'émission spontanée amplifiée de sortie.

NOTE 1 – Une diminution de 30 à 40 dB est jugée adéquate.

NOTE 2 – Compte tenu de la distorsion éventuelle du spectre mesuré causée, par exemple, par la fuite de pompage, une extrapolation appropriée peut être nécessaire.

4.37 affaiblissement d'insertion dans la bande (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): dans un état hors tension, affaiblissement d'insertion du signal pour l'amplificateur optique à une longueur d'onde de signal d'entrée donnée et un niveau de puissance de signal faible donné.

NOTE 1 – Cette propriété peut être décrite pour une longueur d'onde donnée ou en fonction de la longueur d'onde.

NOTE 2 – Il convient d'exclure la contribution de l'émission spontanée amplifiée de sortie dans la mesure de ce paramètre.

4.38 facteur de réflexion maximal admissible à l'entrée et à la sortie (applicable seulement aux dispositifs amplificateurs optiques): facteur de réflexion maximal de deux réflecteurs identiques placés simultanément aux accès d'entrée et de sortie d'un amplificateur optique, pour lequel l'amplificateur optique est encore conforme à ses spécifications.

NOTE 1 – La mesure est effectuée avec une puissance optique donnée de signal d'entrée.

NOTE 2 – Le facteur de bruit est le paramètre le plus sensible au facteur de réflexion énergétique.

4.39 ondulation du gain (applicable seulement aux dispositifs SOA): variation crête à crête du gain pour les signaux faibles dans une fenêtre de longueurs d'ondes donnée, avec une résolution spectrale subnanométrique.

4.40 dynamique de gain (applicable seulement aux dispositifs SOA): caractéristiques temporelles et rigidité des non-linéarités du support de gain.

NOTE – Cette définition est à l'étude.

5 Méthodes de mesure

Conformément à un accord conclu avec le GT 3 du SC86C de la CEI, les directives à suivre pour la mesure de la plupart des paramètres définis au paragraphe 4 sont indiquées de façon générale dans les Publications CEI 61290: Amplificateurs à fibres optiques – Spécification de base – Méthodes d'essai. Le Tableau 1 indique les méthodes de mesure recommandées en rassemblant les paramètres de mesure par groupes homogènes et en citant, pour chaque groupe, le ou les numéros de Spécification de base pertinents de la CEI.

NOTE 1 – L'évaluation comparative des méthodes d'essai indiquées dans les Spécifications de base de la CEI est en cours d'élaboration. Lorsqu'elle sera disponible, les méthodes d'essai de référence, ainsi que les méthodes d'essai en variante, choisies pour chaque paramètre défini dans la présente Recommandation, seront indiquées.

NOTE 2 – Les méthodes d'essai indiquées dans les Spécifications de base de la CEI n'ont été élaborées que pour les amplificateurs OFA. L'extrapolation de ces méthodes aux amplificateurs SOA est à l'étude.

Tableau 1/G.661 – Méthodes de mesure recommandées pour les paramètres définis au paragraphe 4

Groupe de paramètres de mesure	Paramètres du paragraphe 4 intéressés	Méthode de test (TM, test method) – Numéro de la Spécification de base de la CEI
paramètres de gain	4.1 à 4.8, 4.10, 4.32, 4.39, 4.40	61290-1-1: TM d'analyseur de spectre optique 61290-1-2: TM d'analyseur de spectre électrique 61290-1-3: TM d'appareil de mesure de puissance optique
paramètres de puissance optique	4.9, 4.11, 4.12, 4.25, 4.28, 4.29	61290-2-1: TM d'analyseur de spectre optique 61290-2-2: TM d'analyseur de spectre électrique 61290-2-3: TM d'appareil de mesure de puissance optique
paramètres de bruit	4.13 à 4.15, 4.33 à 4.36	61290-3-1: TM d'analyseur de spectre optique 61290-3-2: TM d'analyseur de spectre électrique 61290-3-3: TM à impulsion optique (à l'étude)
paramètres de facteur de réflexion énergétique	4.16 à 4.19, 4.38	61290-5-1: TM d'analyseur de spectre optique 61290-5-2: TM d'analyseur de spectre électrique 61290-5-3: TM d'analyseur de spectre électrique (pour la tolérance sur le facteur de réflexion énergétique)
paramètres de fuite de pompage	4.20, 4.21	61290-6-1: TM de démultiplexeur optique
paramètres d'affaiblissement d'insertion	4.22, 4.23, 4.37	61290-7-1: TM d'appareil de mesure de puissance optique filtrée

APPENDICE I

Principales différences entre amplificateurs à fibres optiques et amplificateurs optiques à semi-conducteurs

I.1 Remarques générales

Le mécanisme physique produisant le gain dans les amplificateurs optiques à semi-conducteurs (SOA) diffère à plusieurs égards de celui des amplificateurs à fibres optiques. Fondamentalement, les amplificateurs SOA sont des lasers à semi-conducteur sans rétroaction dans la cavité optique (les facettes de la puce possèdent un revêtement antiréfléchissant). L'inversion des populations est réalisée dans la région active par un courant électrique. L'émission stimulée de photons se produit par des processus de recombinaison des lacunes électroniques induits par les photons du signal (à des longueurs d'onde appartenant à la bande d'amplification du matériau semi-conducteur). Le gain linéique des matériaux semi-conducteurs est beaucoup plus grand que celui des fibres actives dopées aux terres rares (REDF, *rare-earth doped active fibres*), ce qui explique les très courtes longueurs de ces dispositifs: 0,5 mm contre des dizaines de mètres pour les fibres REDF. Ce fait, associé au pompage direct par le courant de polarisation, rend les amplificateurs SOA très simples et très compacts par rapport aux amplificateurs OFA, qui nécessitent de longues fibres actives, des sources de rayonnement laser pour le pompage optique et divers composants optiques pour fibres.

Par ailleurs, les amplificateurs SOA sont flexibles en termes de longueur d'onde de fonctionnement et, en fonction de la composition du matériau semi-conducteur, peuvent être utilisés dans la deuxième (1310 nm) ou dans la troisième (1550 nm) fenêtre de longueur d'onde alors qu'actuellement les amplificateurs OFA de qualité élevée fonctionnent normalement aux alentours de 1550 nm.

Une autre différence importante est que la dynamique de gain des amplificateurs SOA est beaucoup plus rapide que celle des amplificateurs OFA. Le temps caractéristique nécessaire pour un rétablissement complet du gain est normalement de 200 ps dans un SOA contre 0,5 à 10 ms dans un OFA. Par conséquent, les SOA ne sont pas aussi insensibles que les OFA aux brouillages par saturation transversale et par distorsion de la forme d'onde à cause de la saturation.

L'élasticité de leur dynamique de gain implique également que les SOA ont une forte non-linéarité lorsqu'ils fonctionnent en régime de saturation, contrairement aux OFA qui ont un comportement linéaire dans presque toutes les conditions de fonctionnement intéressant les télécommunications optiques. Cette caractéristique, qui peut être préjudiciable aux applications des SOA comme amplificateurs de ligne dans les systèmes à multiplexage spectral (WDM), peut être tournée à l'avantage de la mise en œuvre de certaines importantes fonctions de système comme la conversion de longueur d'onde, la commutation optique et le démultiplexage.

En dernier lieu, la géométrie de guidage actif des amplificateurs à semi-conducteurs ne correspond pas à celle des fibres optiques, ce qui produit des pertes élevées lors d'un couplage avec les fibres de la ligne et, en raison de la symétrie rectangulaire, un gain pouvant dépendre fortement de la polarisation (PDG, *polarization-dependent gain*).

Ces différences structurelles entre amplificateurs SOA et OFA se répercutent évidemment sur la performance de ces dispositifs. L'objet du présent appendice est de comparer les caractéristiques des deux types d'amplificateurs optiques. La liste des principaux paramètres optiques à prendre en considération pour caractériser et comparer la performance optique des SOA et des EDFA est donnée au I.2. Quelques indications sont données ci-après au sujet des valeurs qui peuvent être associées aux paramètres de SOA mentionnés, comparativement aux valeurs correspondantes pour les OFA, ces valeurs étant typiques des amplificateurs EDFA.

En fait, les amplificateurs EDFA représentent le stade le plus avancé de la technique des amplificateurs OFA. La technologie des amplificateurs EDFA est très bien étayée et ces dispositifs sont largement offerts sur le marché depuis plusieurs années. Ils sont produits à l'échelle mondiale par divers constructeurs. En revanche, les amplificateurs SOA en sont encore au stade de la recherche appliquée. Actuellement, très peu de constructeurs en fabriquent et la production est très faible. Bien que la technique des amplificateurs à optiques à semi-conducteurs soit fondée sur la technique très bien étayée des lasers à semi-conducteurs, plusieurs problèmes importants n'ont pas encore trouvé de solutions satisfaisantes pour une production en grande série: fermeture, épissurage des amorces, revêtement antiréfléchissant et sensibilité à la polarisation.

Par ailleurs, des essais sur site d'amplificateurs SOA ont été récemment entrepris et l'on ne dispose actuellement que de données expérimentales limitées sur l'utilisation des SOA sur site [1].

Dans le présent appendice, seules les caractéristiques d'amplification des SOA sont prises en considération car la possibilité de les utiliser pour la mise en œuvre d'autres fonctions est hors du domaine d'application du présent appendice.

I.2 Comparaison de performances entre amplificateurs SOA et OFA

Les valeurs des paramètres d'amplificateurs SOA indiquées dans la comparaison ci-dessous ne sont qu'indicatives et reflètent l'état actuel de la technique des amplificateurs SOA; elles peuvent être soumises à des modifications en fonction de l'évolution de la technique des SOA.

- *Gain pour les signaux faibles*
Le gain des amplificateurs SOA pour les signaux faibles est affecté par l'affaiblissement de couplage des amplificateurs à fibre (négligeable dans le cas des amplificateurs EDFA). Les valeurs normales sont d'environ 30 dB pour les prototypes de laboratoire, sans tenir compte de l'affaiblissement de couplage, et de 10 à 15 dB de fibre à fibre pour les composants du commerce à sorties épissurées. Pour les amplificateurs EDFA, le gain en signaux faibles est normalement supérieur à 30 dB.
- *Largeur de fenêtre spectrale*
La largeur de fenêtre spectrale des SOA est normalement de 40 nm ou plus, contre 35 nm pour les EDFA. Les SOA peuvent être utilisés dans la deuxième (1310 nm) ou dans la troisième (1550 nm) région spectrale, selon la composition du matériau semi-conducteur. De récentes expériences, effectuées sur des amplificateurs SOA à puits quantiques multiples ont démontré la possibilité d'obtenir une largeur de fenêtre spectrale pouvant atteindre 120 nm.
- *Variation du gain pour les signaux faibles en fonction de la longueur d'onde*
L'utilisation de revêtements antiréfléchissants très efficaces sur les facettes de la puce a permis de réduire, dans les SOA du commerce, la variation crête à crête du gain pour les signaux faibles en fonction de la longueur d'onde à moins de 1 dB dans la largeur de fenêtre spectrale.
- *Puissance de sortie à saturation*
La puissance de sortie à saturation peut atteindre en laboratoire +15 dBm pour des prototypes d'amplificateurs SOA (fibre à fibre). Les valeurs obtenues pour ce paramètre commencent à se rapprocher de celles des éléments EDFA du commerce (au moins de +17 à +20 dBm).
- *Facteur de bruit (NF, noise figure)*
Le facteur de bruit des amplificateurs SOA est affecté par l'affaiblissement particulièrement élevé du couplage avec les fibres. Des valeurs d'environ 5 à 6 dB ont été obtenues avec des modules SOA expérimentaux, alors que des valeurs de 7 à 9 dB sont courantes pour des éléments du commerce épissurés. Les valeurs normales des EDFA du commerce sont de 5 à 6 dB pour les éléments à pompage sur 980 nm et de 6 à 7 dB pour les éléments à pompage sur 1480 nm.
- *Gain en fonction de la polarisation (PDG)*
Dans les SOA de laboratoire, le gain en fonction de la polarisation a été réduit à des valeurs négligeables (0,2 dB). Dans les SOA du commerce, les valeurs normales sont de 2 à 5 dB. Le gain en fonction de la polarisation est négligeable dans les amplificateurs EDFA (0,2 dB).
- *Diaphonie dynamique en fonction du gain*
A l'étude.

I.3 Applications

Au stade actuel de la technique des amplificateurs SOA, leurs applications les plus appropriées comme blocs de gain dans les systèmes optiques point à point semblent être les suramplificateurs intégrés dans l'émetteur à laser, bien qu'il y ait quelques limitations en termes de puissance de sortie.

Les problèmes relatifs aux applications d'amplificateur de ligne et de préamplificateur (comme la sensibilité à la polarisation et le facteur de bruit relativement élevé) sont sur le point d'être résolus (par exemple grâce à l'utilisation d'amplificateurs SOA à calage de gain [2]). On a récemment utilisé avec succès des SOA comme amplificateurs de ligne lors d'essais en vraie grandeur à 10 Gbit/s [3]. Lors de cette expérience de transmission, le système optique était exploité à 1310 nm, soit dans une

fenêtre spectrale pour laquelle aucun amplificateur OFA de qualité élevée n'avait encore été mis au point.

Par ailleurs, les amplificateurs SOA possèdent de grandes possibilités en tant que dispositifs fonctionnels dans des commutateurs optiques (afin de remplir des fonctions simultanées de gain et de portillonnage rapide) ainsi que dans d'autres dispositifs de traitement de signal (convertisseurs de longueur d'onde, multiplexeurs/démultiplexeurs optiques), grâce à la réponse nettement non linéaire qu'ils offrent en régime de saturation. Ces dispositifs peuvent également être intégrés dans des matrices de commutation optique afin de compenser les pertes internes de ces matrices.

Bibliographie

- [1] REID (J.J.) *et al.*: Proceedings of 11th International Conference on Integrated Optics and Optical Fibre Communications (IOOC) and of the 23rd European Conference on Optical Communications (ECOC), Vol. 1, page 83, Edinburgh (UK), 22-25 septembre 1997.
- [2] VAN DEN HOVEN (G.N.), TIEMEIJER (L.F.): Technical Digest of Optical Amplifiers and their Applications (OAA), Invited Paper TuC1, Victoria (BC, Canada), 21-23 juillet 1997.
- [3] KUINDERSMA (P.I.) *et al.*, Proceedings of the 11th International Conference on Integrated Optics and Optical Fibre Communications (IOOC) and of the 23rd European Conference on Optical Communications (ECOC), Vol. 1, page 79, Edinburgh (UK), 22-25 septembre 1997.

SERIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série B	Moyens d'expression: définitions, symboles, classification
Série C	Statistiques générales des télécommunications
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	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	RGT et maintenance des réseaux: systèmes de transmission, de télégraphie, de télécopie, circuits téléphoniques et circuits loués internationaux
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 pour données et communication entre systèmes ouverts
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information
Série Z	Langages de programmation