

Union internationale des télécommunications

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.697

(02/2012)

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

Caractéristiques des supports de transmission et des
systèmes optiques – Caractéristiques des systèmes
optiques

**Surveillance optique des systèmes de
multiplexage par répartition dense en
longueur d'onde**

Recommandation UIT-T G.697

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 ET DES SYSTÈMES OPTIQUES	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.639
Systèmes optiques en espace libre	G.640–G.649
Câbles à fibres optiques	G.650–G.659
Caractéristiques des composants et sous-systèmes optiques	G.660–G.679
Caractéristiques des systèmes optiques	G.680–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 MULTIMÉDIA – 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.697

Surveillance optique des systèmes de multiplexage par répartition dense en longueur d'onde

Résumé

La Recommandation UIT-T G.697 définit la surveillance optique (OM, *optical monitoring*) permettant de mener à bien les activités ci-après associées aux systèmes de multiplexage par répartition dense en longueur d'onde (DWDM, *dense wavelength division multiplexing*):

- gestion de la configuration aux fins de l'activation de systèmes ou de canaux, de l'adjonction de nouveaux canaux, etc.;
- gestion des dérangements aux fins de leur détection et de leur isolement;
- gestion de la dégradation aux fins d'assurer le fonctionnement du système et de détecter d'éventuelles dégradations avant l'apparition d'un dérangement.

La technologie DWDM progresse à un rythme soutenu, repoussant sans cesse les limites du nombre des canaux, de la vitesse de transmission des canaux et de la portée atteignable. Grâce aux systèmes DWDM longue distance constitués de plusieurs sections, il est possible de transmettre un signal optique à des milliers de kilomètres sans recourir à des terminaisons électriques ou à une régénération.

Ces progrès continus accroissent sans cesse l'importance de la surveillance optique qui fait l'objet de la présente Recommandation.

Cette édition de la présente Recommandation donne des informations sur les modifications de la puissance dans le canal optique dues à des variations de gain, les mesures du rapport signal optique sur bruit (OSNR, *optical signal-to-noise ratio*), et contient de nouveaux appendices sur les positions possibles des équipements de surveillance et le codage des paramètres.

Historique

Edition	Recommandation	Approbation	Commission d'études
1.0	ITU-T G.697	2004-06-13	15
2.0	ITU-T G.697	2009-11-13	15
2.1	ITU-T G.697 (2009) Cor. 1	2011-02-25	15
3.0	ITU-T G.697	2012-02-13	15

AVANT-PROPOS

L'Union internationale des télécommunications (UIT) est une institution spécialisée des Nations Unies dans le domaine des télécommunications et des technologies de l'information et de la communication (ICT). Le Secteur de la normalisation des télécommunications (UIT-T) 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 2013

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
3	Termes et définitions 2
3.1	Termes définis ailleurs 2
3.2	Termes définis dans la présente Recommandation 2
4	Abréviations et acronymes 3
5	Généralités relatives à la surveillance optique..... 4
6	Classification des méthodes de surveillance..... 5
6.1	Surveillance du signal..... 5
6.2	Méthodes indirectes de surveillance des équipements 6
6.3	Équipements de surveillance intégrés 6
6.4	Équipements de surveillance externes..... 7
7	Perturbations optiques 7
8	Paramètres de surveillance optique 9
9	Corrélation entre les effets dus aux perturbations et paramètres de surveillance optique 9
9.1	Variation de l'affaiblissement..... 9
9.2	Ecart par rapport à la fréquence (ou à la longueur d'onde) nominale..... 9
9.3	Modifications de la puissance dans le canal optique dues à des variations de gain 9
10	Applications..... 10
11	Considérations relatives à la sécurité optique..... 10
	Appendice I – Gravité des perturbations optiques 11
	Appendice II – Valeur X de la pénalité..... 13
	Appendice III – Caractéristiques de la surveillance optique..... 14
	III.1 Mesure du rapport OSNR..... 16
	III.2 Mesure du facteur Q 20
	Appendice IV – Positions possibles et fonctions des équipements de surveillance dans plusieurs éléments de réseau optique..... 23
	IV.1 Introduction 23
	IV.2 Points de surveillance intégrés 24
	IV.3 Points de surveillance externes..... 26

	Page
Appendice V – Codage des paramètres	28
V.1 Identificateur de longueur d'onde (32 bits).....	28
V.2 Source de l'identificateur de paramètre (8 bits).....	29
V.3 Identificateur de paramètre (8 bits)	29
V.4 Valeur des paramètres (32 bits).....	29
Bibliographie.....	30

Introduction

Les réseaux optiques avec régénération complète étaient par le passé dotés à tous les éléments du réseau de dispositifs de conversion optique-électrique. La qualité de la transmission était mesurée au niveau de la couche électrique au moyen de paramètres de performance tels que les secondes avec erreur (ES, *errored second*) ou les secondes avec beaucoup d'erreurs (SES, *severely errored second*). Depuis que la structure de trame de la hiérarchie numérique synchrone (SDH, *synchronous digital hierarchy*) contient des bits supplémentaires permettant de mesurer les caractéristiques d'erreur au niveau des couches section, ligne et conduit, il est relativement facile d'évaluer la qualité de tous les éléments d'un réseau SDH avec régénération complète. Les réseaux optiques actuels contiennent généralement de nombreux éléments de réseau optique transparents situés entre des points de régénération électrique. Il faut par conséquent assurer la surveillance de la qualité du domaine optique afin d'évaluer l'état du canal optique (OCh, *optical channel*).

Par ailleurs, la technologie DWDM progresse à un rythme soutenu, repoussant sans cesse les limites du nombre des canaux, de la vitesse des canaux et de la portée atteignable. Grâce aux systèmes DWDM longue distance composés de plusieurs sections, il est possible de transmettre un signal optique à des milliers de kilomètres sans recourir à des terminaisons électriques ou à une régénération, ce qui permet de réduire le nombre de points de surveillance électrique.

La Recommandation UIT-T G.697 constitue le premier jalon nécessaire pour répondre aux besoins en matière de surveillance optique.

Recommandation UIT-T G.697

Surveillance optique des systèmes de multiplexage par répartition dense en longueur d'onde

1 Domaine d'application

La présente Recommandation a pour objet de définir un ensemble minimal, mais non exhaustif, de paramètres optiques pouvant être utilisés pour exécuter les fonctions de surveillance optique (OM) dans des systèmes de multiplexage par répartition dense en longueur d'onde (DWDM) et des éléments de réseau optique (par exemple, multiplexeurs optiques d'insertion-extraction reconfigurables (ROADM)), notamment en ce qui concerne les éléments de réseau dépourvus de dispositifs de conversion optique-électrique-optique. A cette fin, la présente Recommandation contient:

- 1) la liste des méthodes permettant de mesurer la dégradation du signal optique;
- 2) un classement de ces méthodes par type;
- 3) la définition des paramètres optiques propres à détecter la dégradation du signal optique;
- 4) la description des applications ou conditions dans lesquelles ces paramètres optiques peuvent s'avérer pertinents.

La présente Recommandation s'applique aux systèmes DWDM et aux éléments de réseau optique dont les canaux optiques ont un débit binaire atteignant approximativement 10 Gbit/s et qui utilisent un codage de ligne sans retour à zéro (NRZ) ou avec retour à zéro (RZ). Un complément d'étude sera mené ultérieurement pour les débits binaires supérieurs à 10 Gbit/s et les systèmes employant d'autres formats de modulation.

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.

- [UIT-T G.650.2] Recommandation UIT-T G.650.2 (2007), *Définitions et méthodes de test applicables aux attributs se rapportant aux caractéristiques statistiques et non linéaires des fibres et câbles optiques monomodes.*
- [UIT-T G.652] Recommandation UIT-T G.652 (2005), *Caractéristiques des câbles et fibres optiques monomodes.*
- [UIT-T G.653] Recommandation UIT-T G.653 (2006), *Caractéristiques des fibres et câbles optiques monomodes à dispersion décalée.*
- [UIT-T G.655] Recommandation UIT-T G.655 (2006), *Caractéristiques des fibres et câbles optiques monomodes à dispersion décalée non nulle.*
- [UIT-T G.663] Recommandation UIT-T G.663 (2000), *Aspects relatifs aux applications des sous-systèmes et dispositifs amplificateurs optiques.*

- [UIT-T G.664] Recommandation UIT-T G.664 (2006), *Procédures et prescriptions de sécurité optique applicables aux systèmes de transport optiques*.
- [UIT-T G.692] Recommandation UIT-T G.692 (1998), *Interfaces optiques pour systèmes multicanaux avec amplificateurs optiques*.
- [UIT-T O.201] Recommandation UIT-T O.201 (2003), *Équipement de test du facteur Q pour l'évaluation des performances de transmission des canaux optiques*.

3 Termes et définitions

3.1 Termes définis ailleurs

La présente Recommandation utilise le terme suivant défini dans [UIT-T G.650.2]:

- diffusion Brillouin stimulée (SBS, *stimulated Brillouin scattering*).

La présente Recommandation utilise les termes suivants définis dans [UIT-T G.663]:

- dispersion des modes de polarisation (PMD, *polarization mode dispersion*) (1er ordre et ordres supérieurs);
- mélange de quatre ondes (FWM, *four-wave mixing*);
- bruit dû aux émissions spontanées amplifiées (ASE, *amplified spontaneous emission*) dans l'amplificateur optique;
- dispersion chromatique;
- réflexions (voir réflectance);
- modulation transphase (XPM, *cross-phase modulation*);
- modulation autophase (SPM, *self-phase modulation*);
- diffusion Raman stimulée (SRS, *stimulated Raman scattering*).

La présente Recommandation utilise le terme suivant défini dans [UIT-T G.692]:

- écart par rapport à la fréquence (ou à la longueur d'onde) nominale (voir écart par rapport à la fréquence centrale).

La présente Recommandation utilise le terme suivant défini dans [UIT-T O.201]:

- facteur Q.

La présente Recommandation utilise les termes suivants définis dans [b-UIT-T G.Sup39]:

- rapport signal optique/bruit (OSNR, *optical signal-to-noise ratio*);
- diaphonie intercanaux;
- diaphonie interférométrique.

3.2 Termes définis dans la présente Recommandation

La présente Recommandation définit les termes suivants:

3.2.1 pente de dispersion chromatique: pente de la courbe du coefficient de dispersion chromatique en fonction de la longueur d'onde.

3.2.2 réseaux optiques à régénération complète: réseaux optiques dans lesquels la conversion optique-électrique-optique est réalisée dans chaque élément de réseau au moyen d'une régénération avec réamplification, reconformation et resynchronisation (3R).

3.2.3 élément de réseau optique transparent: élément de réseau optique pour lequel il n'existe pas de conversion optique-électrique-optique du signal optique.

4 Abréviations et acronymes

La présente Recommandation utilise les abréviations et acronymes suivants:

3R	réamplification, reformation et resynchronisation (<i>re-amplification, reshaping and retiming</i>)
ASE	émission spontanée amplifiée (<i>amplified spontaneous emission</i>)
BER	taux d'erreurs sur les bits (<i>bit error ratio</i>)
DCM	module de compensation de dispersion (<i>dispersion compensation module</i>)
Demux	démultiplexeur
DWDM	multiplexage par répartition dense en longueur d'onde (<i>dense wavelength division multiplexing</i>)
EME	équipement de surveillance intégré (<i>embedded monitoring equipment</i>)
EMP	point de surveillance externe (<i>external monitoring point</i>)
ES	seconde avec erreur (<i>errored second</i>)
ESR	taux de secondes avec erreur (<i>errored second ratio</i>)
FWM	mélange de quatre ondes (<i>four-wave mixing</i>)
Mux	multiplexeur
NOC	centre d'exploitation de réseau (<i>network operations centre</i>)
NRZ	non-retour à zéro (<i>non-return to zero</i>)
OA	amplification optique (<i>optical amplification</i>)
OADM	multiplexeur optique d'insertion-extraction (<i>optical add-drop multiplexer</i>)
OD	démultiplexage optique (<i>optical demultiplexing</i>)
OLA	amplificateur de ligne optique (<i>optical line amplifier</i>)
OM	surveillance optique (<i>optical monitoring</i>)
ONE	élément de réseau optique (<i>optical network element</i>)
OSA	analyseur de spectre optique (<i>optical spectrum analyser</i>)
OSNR	rapport signal optique/bruit (<i>optical signal to noise ratio</i>)
OTN	réseau optique de transport (<i>optical transport network</i>)
PDL	affaiblissement dû à la polarisation (<i>polarization-dependent loss</i>)
PMD	dispersion des modes de polarisation (<i>polarization mode dispersion</i>)
ROADM	multiplexeur optique d'insertion-extraction reconfigurable (<i>reconfigurable optical add-drop multiplexer</i>)
RZ	retour à zéro (<i>return to zero</i>)
SBS	diffusion Brillouin stimulée (<i>stimulated Brillouin scattering</i>)
SDH	hiérarchie numérique synchrone (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SES	seconde avec beaucoup d'erreurs (<i>severely errored second</i>)
SESR	taux de secondes avec beaucoup d'erreurs (<i>severely errored second ratio</i>)
SLA	accord de niveau de service (<i>service level agreement</i>)

SPM	modulation autophase (<i>self-phase modulation</i>)
SRS	diffusion Raman stimulée (<i>stimulated Raman scattering</i>)
XPM	modulation transphase (<i>cross-phase modulation</i>)

5 Généralités relatives à la surveillance optique

La gestion des réseaux SDH existants passe par la surveillance de paramètres numériques tels que le taux d'erreurs sur les bits (BER), le taux de secondes avec erreur (ESR) ou le taux de secondes avec beaucoup d'erreurs (SESR), qui sont mesurés au niveau de la couche électrique (aux points de régénération 3R) (voir la référence [b-UIT-T G.826]).

Une approche analogue est adoptée dans le réseau optique de transport (au moyen d'une mise en trame UIT-T G.709) pour la surveillance des connexions de bout en bout et des connexions optiques au niveau électrique.

Ces méthodes donnent certes une mesure fiable des caractéristiques de bout en bout d'un canal optique, mais ne peuvent pas être appliquées dans le cas d'un domaine optique transparent dans lequel aucun régénérateur 3R n'est disponible pour supprimer les données de service de trame. Ainsi, des informations peuvent manquer pour isoler la cause première de problèmes apparaissant dans des réseaux DWDM complexes.

Par ailleurs, les progrès rapides enregistrés dans le domaine de la technologie optique se traduisent par une augmentation constante du nombre de canaux et de la vitesse de transmission ainsi que par un allongement des connexions tout optiques à l'intérieur d'un domaine optique.

Il en résulte une influence croissante des distorsions linéaires et non linéaires, ce qui rend la question de la mise en service des systèmes toujours plus complexe.

Une solution optimale pour un réseau optique de transport passe par:

- la conception correcte des réseaux afin de limiter les sources de bruit ainsi que les effets de dispersion et d'intermodulation;
- l'utilisation d'alarmes appropriées pour les éléments optiques actifs du réseau afin de détecter et d'isoler les dérangements;
- la mise en œuvre d'une surveillance optique appropriée dans l'ensemble du réseau afin de surveiller les paramètres optiques essentiels.

Individuellement, ces trois actions ne peuvent garantir une qualité optique convenable. En revanche, lorsqu'elles sont combinées, elles offrent une solution adaptée à la gestion des réseaux optiques de transport.

Un niveau suffisant de surveillance optique assure une certaine visibilité des réseaux optiques et ainsi une configuration correcte des conduits de canaux et l'application de paramètres optiques appropriés pour la fourniture fiable de services. L'ensemble des données de surveillance optique d'un centre d'exploitation de réseau (NOC) facilite la gestion des réseaux DWDM les plus complexes.

La surveillance optique vise à détecter les anomalies, défauts, dégradations ou dérangements influant sur la qualité de la couche optique. Il convient d'élaborer et de définir les paramètres optiques à surveiller en fonction de critères particuliers.

La possibilité d'améliorer la surveillance de bout en bout par la surveillance optique répartie peut présenter des avantages à la fois en termes de fiabilité et de coût pour la gestion de la configuration et la gestion des dérangements/dégradations, étant donné que certains défauts, dérangements ou certaines dégradations influant sur la qualité de la couche optique sont plus facilement détectés et isolés dans le cadre d'une surveillance optique.

Les effets du vieillissement, les changements du niveau de bruit en fonction de la température et l'humidité sont des perturbations susceptibles de dégrader sérieusement la qualité de la transmission du signal. La surveillance optique permet de détecter ces dégradations d'une manière fiable.

La surveillance optique est un processus préventif permettant de gérer des accords de niveau de service et de limiter les coûts d'exploitation (moyennant toutefois une augmentation des coûts des équipements). La surveillance optique revêt une importance croissante du fait de l'augmentation constante de la complexité des réseaux qui exige le maintien d'un niveau élevé de fiabilité des équipements et la capacité de détecter rapidement les dégradations ou défaillances et d'identifier et de résoudre les problèmes liés au réseau.

La surveillance optique constitue un moyen important de compléter les techniques de surveillance appliquées aux couches client numériques du réseau de couche optique.

Elle joue un rôle important dans la gestion des réseaux optiques étant donné que l'on ne peut gérer que ce que l'on peut mesurer.

Même si la surveillance optique est implémentée (et en service) dans de nombreux systèmes actuels de transmission optique, il existe de grandes différences entre ces systèmes en termes d'exigences de surveillance optique. Cela est dû à la diversité des systèmes de transmission et de contrôle, et des stratégies de gestion des problèmes employées pour ces différents systèmes. Pour cette raison, on ne peut définir des critères généraux permettant d'établir quelle valeur de paramètre et quel degré de précision particulier constituent un indicateur fiable de la condition d'exploitation d'un tel système. Dans un même système, les paramètres considérés comme importants peuvent varier en fonction de l'élément de réseau. C'est également le cas des critères de surveillance qui diffèrent suivant les éléments de réseau, même s'il s'agit d'un contrôle interne. En conséquence, des critères généraux applicables à la surveillance de paramètres particuliers conduiront en principe à une solution sous-optimale (et donc non rentable). Ainsi, une méthode de surveillance optique appropriée sera toujours fonction du modèle de transmission et de contrôle, des règles d'ingénierie et de l'implémentation de la gestion des perturbations, propres au système en question. Toutefois, comme il est décrit dans la présente Recommandation, il est possible, en fonction de ce qui est réalisable d'un point de vue technologique et des besoins des opérateurs de réseaux, de faire des choix concernant la surveillance.

6 Classification des méthodes de surveillance

Les paragraphes qui suivent décrivent deux méthodes différentes de surveillance du signal, à savoir la méthode fondée sur le domaine temporel et la méthode fondée sur le domaine fréquentiel, et précisent les différences qui existent, d'une part, entre la surveillance du signal et la surveillance des équipements et, d'autre part, entre les dispositifs de surveillance intégrés et les dispositifs de surveillance externes.

6.1 Surveillance du signal

La présente Recommandation se limite aux mesures sans intrusion permettant la surveillance en service de la qualité du signal optique.

Les mesures définies dans la présente Recommandation ne visent pas à mesurer chacune des perturbations énumérées dans le Tableau 1, mais les effets de ces perturbations sur les paramètres pouvant être mesurés.

Une distinction peut être faite entre les méthodes de mesure fondées sur le domaine fréquentiel et les méthodes de mesure fondées sur le domaine temporel.

6.1.1 Méthodes fondées sur le domaine temporel

Les méthodes permettant d'analyser le comportement du signal optique dans le domaine temporel ont tendance à donner une valeur du taux BER plus proche de la réalité que celles permettant d'analyser le comportement du signal optique dans le domaine fréquentiel. En effet, elles tiennent compte aussi bien des effets dus aux bruits que des effets dus aux distorsions. L'utilisation d'oscilloscopes d'échantillonnage et d'équipements de mesure du facteur Q, décrits dans la référence [b-UIT-T O.201], est représentative des méthodes d'échantillonnage (méthodes synchrones). Toutefois, les méthodes fondées sur le domaine temporel passent généralement par un démultiplexage optique, par une conversion optique-électrique et – dans le cas de méthodes d'échantillonnage – par une synchronisation du débit binaire. Il convient par ailleurs d'examiner les différences qui existent entre les caractéristiques du récepteur de référence et celles du récepteur du système considéré, ainsi que l'effet de la dispersion résiduelle au point de mesure considéré (voir paragraphe III.2).

6.1.2 Méthodes fondées sur le domaine des fréquences ou des longueurs d'onde

Les méthodes de surveillance optique fondées sur le domaine des fréquences ou des longueurs d'onde consistent à analyser les caractéristiques spectrales du signal optique. Ces méthodes ont en commun de ne pas exiger un échantillonnage du signal ou une synchronisation sur ce dernier, ce qui permet de ne pas du tout recourir au récepteur de référence. En règle générale, elles font appel à un analyseur du spectre, dont la résolution peut varier, et peuvent ou non permettre l'évaluation simultanée de tous les canaux.

Le moyen le plus simple de procéder à une analyse spectrale consiste à surveiller simplement la puissance de chaque canal. Cela peut être réalisé par exemple au moyen d'un réseau de diffraction ou d'un réseau de détecteurs afin de mesurer simultanément toutes les puissances des canaux. Cette méthode permet aussi, au moyen de dispositifs plus sophistiqués et de plus grande résolution, d'examiner la forme précise de la fréquence du signal.

Ces méthodes spectrales sont fondamentalement des méthodes d'établissement de moyennes qui, par définition, ne mesurent pas la distorsion des impulsions. Cela signifie que le contrôle de la qualité au moyen de méthodes spectrales ne tient pas du tout compte des effets dus aux distorsions.

6.2 Méthodes indirectes de surveillance des équipements

Les méthodes indirectes font appel à une corrélation empirique entre les défaillances des équipements et la qualité du signal. Les défaillances des équipements, concernant par exemple l'alimentation ou la température laser, peuvent être détectées au moyen de fonctions autotest intégrées. Il est probable que ces indicateurs dépendent fortement du système et de l'implémentation.

Les méthodes indirectes permettent essentiellement d'indiquer qu'un système est en fonctionnement. En fait, on part du principe que la qualité du signal est dégradée lorsque la valeur du paramètre d'équipement considéré se trouve à l'extérieur de la gamme de valeurs spécifiée.

Toutefois, une valeur correcte de paramètre d'équipement ne garantit pas l'intégrité du signal étant donné que d'autres perturbations peuvent dégrader la qualité du signal (par exemple, l'affaiblissement dans la fibre).

6.3 Equipements de surveillance intégrés

L'équipement de surveillance intégré est en général étroitement lié aux fonctions de gestion d'un élément de réseau optique. Pour des raisons financières, la surveillance intégrée est en principe limitée à quelques paramètres de base.

Différents points de mesure placés dans le même élément de réseau peuvent être communs à un même équipement de surveillance intégré.

6.3.1 Précision des équipements de surveillance intégrés

Il est souhaitable que les dispositifs de surveillance intégrés soient suffisamment précis pour donner des résultats significatifs permettant, le cas échéant, de prendre des décisions de gestion automatisée. Cela peut souvent être réalisé assez facilement (en comparaison avec des instruments d'essai universels), étant donné que dans la plupart des cas, seul l'écart par rapport à une valeur nominale connue est pertinent et que l'intervalle de fonctionnement normal des éléments de réseau est étroit.

6.4 Équipements de surveillance externes

Les objectifs des équipements de surveillance externes sont généralement différents de ceux des équipements de surveillance intégrés. Les équipements de surveillance externes sont en principe utilisés lorsqu'il faut mesurer des paramètres de performance supplémentaires plus sophistiqués ou lorsqu'une valeur plus précise de certains de ces paramètres est requise.

Les principales applications de ce type d'équipement sont les suivantes: localisation des défaillances difficiles à détecter qui ne peuvent être isolées par les dispositifs de surveillance intégrés, essais de fonctionnement et mesures précises de paramètres lors de l'installation, de la mise en service ou de la réparation.

Contrairement aux équipements de surveillance intégrés, les équipements de surveillance externes ne sont généralement pas installés en permanence, mais sont connectés sur demande à des segments de réseau essentiels. Ils sont utilisés dans un mode interactif et sont souvent commandés à distance à partir d'un centre d'exploitation de réseau.

6.4.1 Précision des équipements de surveillance externes

Les équipements de surveillance externes présentent généralement une plus grande précision et une gamme de mesures plus large que les dispositifs de surveillance intégrés étant donné qu'ils doivent fournir des mesures absolues fiables sur l'intervalle entier de fonctionnement d'un système de transmission optique, les coûts plus élevés qu'ils imposent pouvant être répartis entre un grand nombre d'éléments de réseau optique.

7 Perturbations optiques

Le présent paragraphe énumère et classe les principales perturbations que subissent des systèmes au niveau de la couche optique et qui limitent la capacité de ces derniers à transmettre des informations.

Le Tableau 1 énumère les principales perturbations que peuvent subir des systèmes.

Tableau 1 – Perturbations optiques

Variation de la perturbation	Fréquence relative d'apparition	Description
Affaiblissement	Elevée	
Modifications de la puissance dans le canal optique dues à des variations de gain	Elevée	
Ecart par rapport à la fréquence (ou à la longueur d'onde) nominale	Elevée	[UIT-T G.692]
Dispersion des modes de polarisation (PMD) (premier ordre et ordres supérieurs)	Moyenne	Appendice II de [UIT-T G.663]
Mélange de quatre ondes (FWM)	Moyenne	Appendice II de [UIT-T G.663]
Bruit dû aux émissions spontanées amplifiées (ASE) dans l'amplificateur optique	Moyenne	Appendice II de [UIT-T G.663]
Dispersion chromatique	Moyenne	Appendice II de [UIT-T G.663]
Pente de dispersion chromatique	Moyenne	[UIT-T G.652], [UIT-T G.653], [UIT-T G.655]
Réflexions	Moyenne	Appendice III de [UIT-T G.663]
Bruit de laser	Moyenne	
Diaphonie intercanaux	Moyenne	[b-UIT-T G-Sup.39]
Diaphonie interférométrique	Moyenne	[b-UIT-T G-Sup.39]
Modulation transphase (XPM)	Faible	Appendice II de [UIT-T G.663]
Modulation autophase (SPM)	Faible	Appendice II de [UIT-T G.663]
Diffusion Brillouin stimulée (SBS)	Faible	Appendice II de [UIT-T G.650.2], Appendice II de [UIT-T G.663]
Diffusion Raman stimulée (SRS)	Faible	Appendice II de [UIT-T G.663]

Toutes ces perturbations peuvent être suffisamment graves pour causer une dégradation importante d'un signal optique au point que le récepteur ne soit plus en mesure de détecter les données avec un taux d'erreurs acceptable. A chacune de ces perturbations correspond une courbe de pénalité en fonction de la probabilité d'apparition par unité de temps (voir l'Appendice I).

Les niveaux de fréquence relative d'apparition figurant dans le Tableau 1 sont les suivants:

- faible: lorsque la probabilité pour que l'effet soit suffisamment grave pour causer une pénalité de X dB est de l'ordre de 1 événement tous les 10 ans;
- moyen: lorsque la probabilité pour que l'effet soit suffisamment grave pour causer une pénalité de X dB est de l'ordre de 1 événement par an;
- élevé: lorsque la probabilité pour que l'effet soit suffisamment grave pour causer une pénalité de X dB est de l'ordre de 10 événements par an.

NOTE 1 – Les chiffres ci-dessus renvoient à la période de stabilité des systèmes. Un événement peut causer une pénalité de X dB sur un seul canal optique ou sur un système multicanal. On trouvera dans l'Appendice II des valeurs indicatives pour une pénalité de X dB.

NOTE 2 – La fréquence relative d'apparition des perturbations optiques donnée dans le Tableau 1 concerne les canaux optiques dont le débit binaire va jusqu'à environ 10 Gbit/s. Pour le moment, les données d'expérience ne sont pas suffisantes pour élaborer un tableau analogue pour les canaux optiques dont le débit va jusqu'à 40 Gbit/s; on peut toutefois s'attendre à ce que les éventuelles perturbations dues à la dispersion chromatique et à la dispersion PMD à ce débit aient peut-être une incidence différente de celle observée dans

le cas des canaux optiques ayant un débit de 10 Gbit/s. Cette éventuelle incidence est également fonction du format de modulation adopté.

8 Paramètres de surveillance optique

On trouvera ci-après la liste des paramètres optiques pouvant être mesurés dans des systèmes de transmission optique au moyen de la technologie actuelle:

- puissance dans le canal;
- puissance totale;
- rapport signal optique/bruit (OSNR) sans mise en forme significative du bruit;
- longueur d'onde dans le canal;
- facteur Q.

L'Appendice III contient des informations concernant la qualité que l'on peut atteindre au moyen de techniques de surveillance actuellement disponibles.

9 Corrélation entre les effets dus aux perturbations et paramètres de surveillance optique

Tableau 2 – Corrélation entre perturbations et paramètres de surveillance

Paramètre	Puissance totale	Puissance dans le canal	Longueur d'onde dans le canal	OSNR	Facteur Q
Variation de l'affaiblissement	X	X		X	X
Ecart par rapport à la fréquence (ou à la longueur d'onde) nominale		X	X	X	X
Modifications de la puissance dans le canal optique dues à des variations de gain		X		X	X

9.1 Variation de l'affaiblissement

Pour complément d'étude.

9.2 Ecart par rapport à la fréquence (ou à la longueur d'onde) nominale

Il existe une corrélation directe entre la perturbation de type "écart par rapport à la fréquence nominale" et le paramètre de surveillance optique "longueur d'onde dans le canal". La précision de mesure requise pour la longueur d'onde dans le canal dépend de "l'écart maximal par rapport à la fréquence centrale" associée au canal. Dans la référence [UIT-T G.692], une valeur de $n/5$ (où n est l'espacement des canaux) est donnée pour ce paramètre, pour des applications avec espacement des canaux supérieur ou égal à 200 GHz, mais aucune valeur n'est donnée pour un espacement des canaux inférieur à cette valeur.

9.3 Modifications de la puissance dans le canal optique dues à des variations de gain

Il existe une corrélation directe entre la perturbation de type "modifications de la puissance dans le canal optique dues à des variations de gain" et le paramètre de surveillance optique "puissance dans le canal". Pour les variations lentes du gain de canal, la surveillance de la puissance dans le canal optique fournira les informations nécessaires pour déterminer l'emplacement de la variation de gain. Toutefois, les systèmes DWDM peuvent faire intervenir de nombreuses boucles de contrôle

intégrées – par exemple réglage de longueur d'onde laser et contrôle de puissance de sortie, contrôle de puissance pour l'égalisation de canal, contrôle de gain d'amplificateur et contrôle des transitoires, et contrôle de puissance de réception dans le canal et de dispersion – pour maintenir la qualité de transmission de bout en bout. Ces boucles de commande pourront fonctionner sur une durée de l'ordre de la milliseconde voire de la microseconde, et réagiront à des événements photoniques de moins d'une seconde ou créeront des événements de ce type qui pourront avoir une incidence sur la qualité de transmission de bout en bout. Comme il est difficile de surveiller la puissance dans le canal avec une granularité temporelle suffisamment petite pour détecter ces événements, il est utile d'acquérir les valeurs maximale et minimale des paramètres d'entrée et de sortie des fonctions de commande avec une granularité temporelle plus grossière.

10 Applications

Dans les systèmes DWDM, la surveillance optique peut être utile pour mener à bien les activités suivantes:

- i) gestion de la configuration aux fins de l'activation de systèmes ou de canaux, de l'adjonction de nouveaux canaux, etc.;
- ii) gestion des dérangements aux fins de leur détection et de leur isolement;
- iii) gestion des dégradations aux fins d'assurer le fonctionnement du système et de détecter d'éventuelles dégradations avant l'apparition d'un dérangement.

Pour atteindre les objectifs ci-dessus, une ou plusieurs des options de surveillance suivantes peuvent être envisagées pour la surveillance interne des systèmes DWDM, les données ainsi obtenues étant disponibles aussi bien localement qu'à distance. Le choix de l'option dépend des caractéristiques propres au système DWDM (par exemple, longueur et nombre de tronçons, nombre de canaux, inaccessibilité des emplacements) et de considérations relatives aux coûts/avantages.

- a) Puissance totale à l'entrée des différents étages d'amplification optique.
- b) Puissance totale à la sortie des différents étages d'amplification optique.
- c) Puissance dans le canal à la sortie de l'émetteur DWDM avant le multiplexeur.
- d) Puissance dans le canal à l'entrée du récepteur DWDM après le démultiplexeur.
- e) Puissance dans le canal à la sortie des différents étages d'amplification optique.
- f) Rapport OSNR du canal à la sortie des différents étages d'amplification optique.
- g) Ecart par rapport à la longueur d'onde dans le canal au moins en un point le long du trajet optique.

L'installation d'un dérivateur à la sortie des différents étages d'amplification optique permet de réaliser une analyse plus détaillée de l'état du canal optique au moyen d'équipements de mesure externes. L'utilisation ou non de ce dérivateur dépend des caractéristiques propres au système DWDM considéré, et de considérations relatives aux coûts/avantages.

11 Considérations relatives à la sécurité optique

Se reporter à [UIT-T G.664].

Appendice I

Gravité des perturbations optiques

(Cet appendice ne fait pas partie intégrante de la présente Recommandation.)

Les perturbations optiques énumérées dans le Tableau 1 sont toutes susceptibles de causer une dégradation grave d'un signal optique au point que le récepteur ne soit plus en mesure de détecter les données avec un taux d'erreurs acceptable. Pour chacune des perturbations, il est possible de tracer une courbe du niveau de pénalité en fonction de la fréquence d'apparition (la probabilité d'apparition par unité de temps). Dans le cas de l'affaiblissement, la courbe peut prendre la forme suivante.

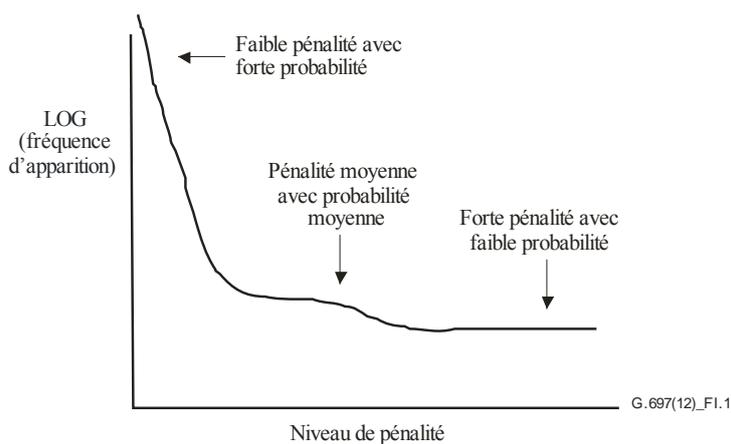


Figure I.1 – Exemple de courbe du niveau de pénalité en fonction de la fréquence d'apparition, dû à la variation de l'affaiblissement

La forme de la courbe et les niveaux de probabilité différeront évidemment suivant la perturbation. La courbe relative à l'affaiblissement montre qu'une faible pénalité de l'ordre de 0,1 dB est très probable et qu'une forte pénalité (par exemple de 6 dB ou plus) est très peu probable. A chaque perturbation correspond une courbe de forme différente. Par exemple, la courbe correspondant à la perturbation de type SBS aura la forme suivante.

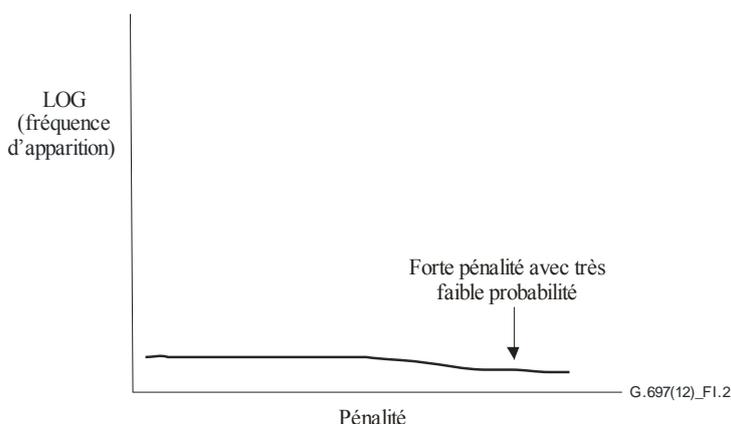


Figure I.2 – Exemple de courbe du niveau de pénalité en fonction de la fréquence d'apparition, dû à la variation SBS

Dans ce cas, la fréquence d'apparition est très faible (défaillance du circuit de vibration ou puissance reçue dans la fibre beaucoup plus élevée que celle qui était prévue), mais la pénalité peut être très forte.

Puisque tel est le cas, la méthode qui a été adoptée dans la présente Recommandation consiste à définir une pénalité approximative considérée comme correspondant à une perturbation importante (par exemple de 3 dB), puis à donner une indication de la fréquence à laquelle cette perturbation se produit dans un réseau optique caractéristique.

Appendice II

Valeur X de la pénalité

(Cet appendice ne fait pas partie intégrante de la présente Recommandation.)

Pour un réseau DWDM de 10 000 km, un opérateur propose de définir une valeur X de 3 dB comme correspondant à une forte perturbation.

Appendice III

Caractéristiques de la surveillance optique

(Cet appendice ne fait pas partie intégrante de la présente Recommandation.)

Le présent appendice contient des informations concernant les caractéristiques qu'il est possible d'obtenir au moyen des techniques de surveillance optique actuellement disponibles. Ces informations n'ont pas valeur de prescription ou de spécification. Elles sont simplement destinées à faciliter l'identification des cas dans lesquels des critères particuliers de qualité de surveillance optique peuvent (ou ne peuvent pas) être remplis au moyen de techniques actuellement disponibles. Des critères applicables à la qualité de la surveillance optique ne peuvent être définis que par rapport à une fonction particulière et pour un modèle de système particulier et, dans la plupart des cas, des spécifications pratiques et économiquement avantageuses pour une quelconque solution de surveillance peuvent être très différentes des données figurant ci-dessous.

Le Tableau III.1 donne des informations sur les caractéristiques de mesure standard qu'il est possible d'obtenir avec des équipements de mesure à faible coût intégrés aux éléments du réseau optique, à l'entrée du récepteur DWDM. Le Tableau III.2 contient des informations sur les résultats de mesure standard qu'il est possible d'obtenir avec des équipements de mesure à faible coût intégrés aux éléments du réseau optique, en plusieurs points de canal où il n'est pas nécessaire de mesurer le rapport OSNR. Le Tableau III.3 donne les mêmes informations pour des équipements de mesure à faible coût intégrés aux éléments ONE, qui peuvent mesurer le rapport OSNR. Le Tableau III.4 donne les caractéristiques de mesure qu'il est possible d'obtenir avec des équipements de mesure de qualité supérieure situés dans une gamme de prix correspondant à ceux des équipements permettant au personnel de maintenance d'effectuer des mesures en des emplacements beaucoup moins nombreux du réseau.

**Tableau III.1 – Caractéristiques de la surveillance optique
intégrée à l'entrée du récepteur DWDM**

Paramètre	Précision	Reproductibilité	Intervalle de mesure
Puissance dans le canal	± 2 dB (Note 1)	$\pm 0,5$ dB	Intervalle de fonctionnement du récepteur (Note 2)

NOTE 1 – Cette fonction devant être exécutée par chaque récepteur DWDM, il doit être très facile de maintenir un rapport coût-efficacité; pour cette raison, cette valeur est assouplie par rapport à celle du Tableau III.2.

NOTE 2 – L'intervalle de valeurs de puissance d'entrée dans laquelle le récepteur devrait normalement fonctionner.

**Tableau III.2 – Caractéristiques de la surveillance optique
intégrée sans prise en considération du rapport OSNR**

Paramètre	Précision	Reproductibilité	Intervalle de mesure
Puissance totale	±1 dB (Note 1)	±0,5 dB	(-60 à +5) + affaiblissement dû au dérivateur dBm (Note 2)
Puissance dans le canal	±1 dB (Note 1)	±0,5 dB	(-60 à -10) + affaiblissement dû au dérivateur dBm (Note 2)

NOTE 1 – Cette valeur tient compte à la fois de l'incertitude de la mesure et de la variation de l'affaiblissement dû au dérivateur. Dans certains systèmes, cette variation peut se traduire par une précision moins fine, qui peut néanmoins être compensée par un étalonnage (moyennant un coût supplémentaire).

NOTE 2 – Etant donné que des systèmes différents utilisent des dérivateurs présentant une fraction de découpage différente (par exemple de 5% ou de 2%), l'intervalle de mesure est établi à la sortie du dérivateur. Pour établir cet intervalle, il faut tenir compte de l'affaiblissement dû au dérivateur. Par exemple, pour une dérivation de 2%, les valeurs seraient supérieures de 17 dB.

**Tableau III.3 – Caractéristiques de la surveillance optique
intégrée compte tenu du rapport OSNR**

Paramètre	Précision	Reproductibilité	Intervalle de mesure
Puissance totale	±1 dB (Note 1)		
Puissance dans le canal	±1 dB (Note 1)	±0,5 dB	(-40 à -10) + affaiblissement dû au dérivateur dBm (Note 2)
Longueur d'onde dans le canal	±75 pm		
Rapport OSNR sans modelage important du bruit (dans une largeur de bande optique de 0,1 nm)	±1,5 dB	±0,5 dB	Pour une puissance dans le canal ≥ 25 dBm Rapport OSNR entre 10 et 30 dB pour un espacement ≥ 100 GHz; rapport OSNR entre 10 et 25 dB pour un espacement de 50 GHz (Note 3)

NOTE 1 – Cette valeur tient compte à la fois de l'incertitude de la mesure et de la variation de l'affaiblissement dû au dérivateur. Dans certains systèmes, cette variation peut se traduire par une précision moins fine, qui peut néanmoins être compensée par un étalonnage (moyennant un coût supplémentaire).

NOTE 2 – Etant donné que des systèmes différents utilisent des dérivateurs présentant une fraction de découpage différente (par exemple de 5% ou de 2%), l'intervalle de mesure est établi à la sortie du dérivateur. Pour établir cette plage de valeurs, il faut y ajouter la valeur correspondant à l'affaiblissement dû au dispositif de dérivation. Par exemple, pour une dérivation de 2%, les valeurs seraient supérieures de 17 dB.

NOTE 3 – Cet intervalle de mesure peut ne pas être obtenu dans les cas où l'élargissement spectral est important en raison d'effets non linéaires sur la liaison.

Tableau III.4 – Caractéristiques des équipements de surveillance optique de qualité supérieure

Paramètre	Précision	Reproductibilité	Intervalle de mesure
Puissance totale	$\pm 0,2$ dB (Note 1)		
Puissance dans le canal	$\pm 0,4$ dB (Note 1)	$\pm 0,2$ dB	(-80 à +23) + affaiblissement dû au dérivateur dBm (Note 2)
Longueur d'onde dans le canal	$\pm 0,5$ pm		
Rapport OSNR sans modelage important du bruit (dans une largeur de bande optique de 0,1 nm)	$\pm 0,4$ dB OSNR < 20 $\pm 0,7$ dB OSNR < 30		0 à 42 dB pour un espacement de 100 GHz 0 à 28 dB pour un espacement de 50 GHz (Note 3)
Facteur Q	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$	4 à 14
Autre			

NOTE 1 – Cette valeur ne tient pas compte de la variation de l'affaiblissement dû au dérivateur, qui devrait être compensée par un étalonnage.
 NOTE 2 – Etant donné que des systèmes différents utilisent des dérivateurs présentant une fraction de découpage différente (par exemple de 5% ou de 2%), l'intervalle de mesure est établi à la sortie du dérivateur. Pour établir cet intervalle, il faut tenir compte de l'affaiblissement dû au dérivateur. Par exemple, pour une dérivation de 2%, les valeurs seraient supérieures de 17 dB.
 NOTE 3 – Cet intervalle de mesure peut ne pas être obtenu dans les cas où l'élargissement spectral est important en raison d'effets non linéaires.

III.1 Mesure du rapport OSNR

La méthode actuellement employée pour mesurer le rapport OSNR consiste à mesurer le bruit entre les canaux afin d'estimer le bruit pour la longueur d'onde du canal. Voir la Figure III.1 ci-dessous.

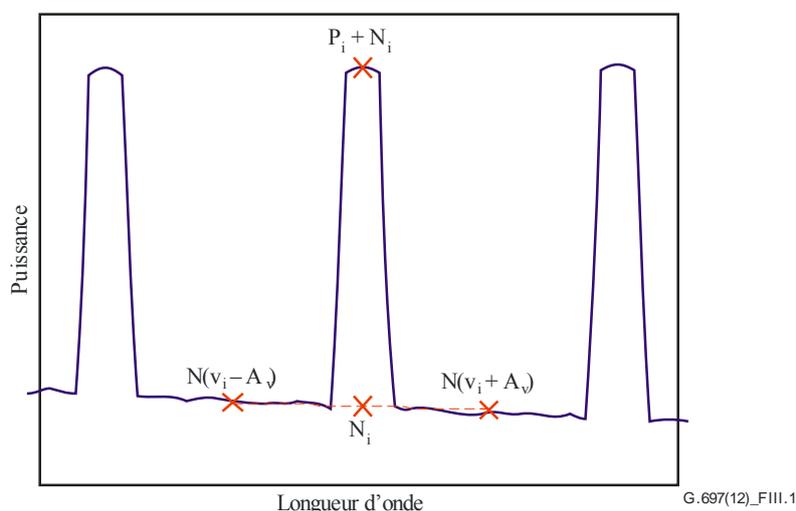


Figure III.1 – Méthode de mesure du rapport OSNR

Cette méthode est efficace dans le cas de systèmes simples point à point lorsque le trajet optique ne comprend que des fibres et des amplificateurs. En revanche, dans le cas de systèmes DWDM plus complexes, l'insertion de tout élément, provoquant un modelage du bruit entre les canaux, rend cette méthode imprécise.

A titre d'exemple, la section de système DWDM représentée dans la Figure III.2 contient un multiplexeur OADM simple qui est configuré de manière à procéder à la dérivation ou à l'adjonction d'un seul canal.

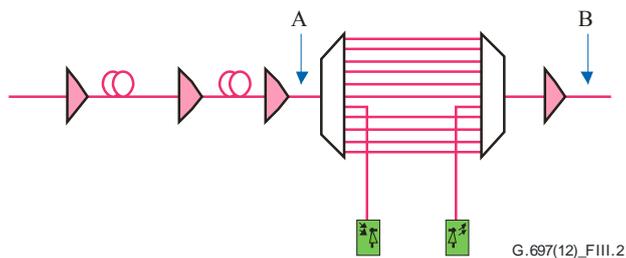


Figure III.2 – Section de système DWDM contenant un multiplexeur OADM

Les fréquences optiques susceptibles d'être observées aux points A et B sont représentées respectivement dans les Figures III.3 et III.4.

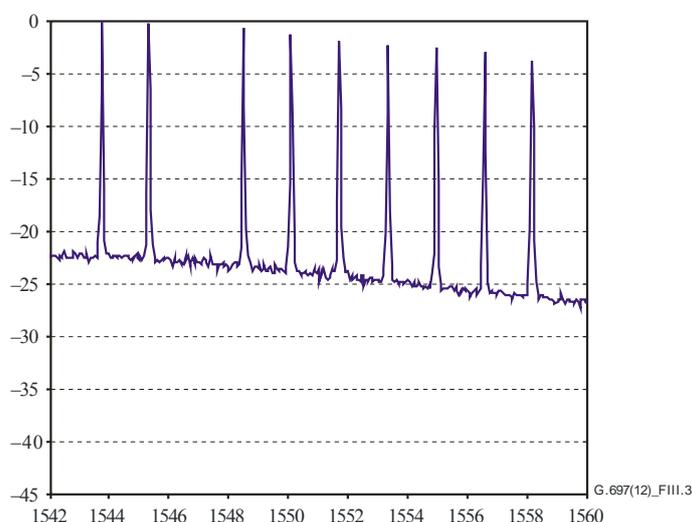


Figure III.3 – Fréquences optiques observées au point A

Comme on peut le voir sur la Figure III.3, la méthode de mesure du rapport OSNR représentée sur la Figure III.1 donne, au point A, des résultats précis étant donné que la variation du bruit en fonction de la longueur d'onde est relativement faible.

NOTE – Le canal 3 de ce système fictif de 10 canaux n'est pas présent.

La Figure III.4 représente les fréquences observées après le multiplexeur du dispositif OADM et un suramplificateur. Ici, la situation est radicalement différente. Le bruit entre les canaux a été fortement mis en forme par la fonction de filtrage du démultiplexeur/multiplexeur. Comme le montre la crête de bruit sur la longueur d'onde du canal manquant dans cet exemple, le bruit mesuré sur les longueurs d'onde dans le canal est supérieur d'environ 15 dB au bruit mesuré aux points intermédiaires entre les canaux, d'où une estimation optimiste du rapport OSNR en ce point d'environ 15 dB. En revanche, pour la longueur d'onde qui a été ajoutée, la situation est inverse: le niveau de bruit aux points intermédiaires est bien supérieur au niveau de bruit ajouté sur la longueur d'onde du canal. L'estimation du rapport OSNR pour ce canal est par conséquent extrêmement pessimiste.

La référence [b-CEI 61280-2-9] pourrait être une source utile d'informations supplémentaires relatives aux mesures du rapport OSNR.

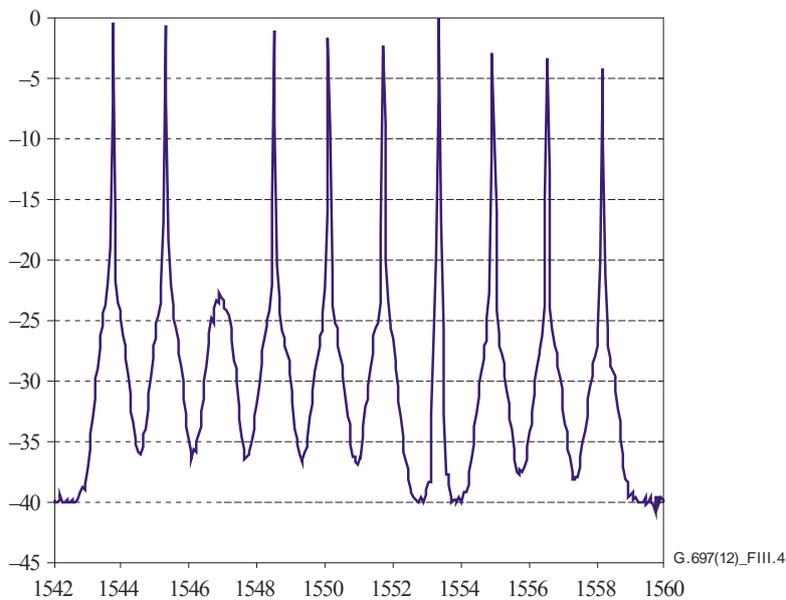


Figure III.4 – Fréquences optiques observées au point B

Pour faire en sorte qu'une mesure du rapport OSNR soit réaliste lorsque le bruit a été mis en forme, il est essentiel de mesurer la valeur du bruit filtré dans la bande passante des filtres optiques du système considéré (on parle souvent de mesure du rapport OSNR 'dans la bande'). Trois méthodes de mesure possibles sont décrites dans les paragraphes qui suivent.

III.1.1 Méthode de l'analyseur de spectre optique à bande étroite

Lorsque le spectre du signal n'occupe pas la totalité de la largeur de bande du canal et que la forme du filtre optique est plate dans une région, le rapport OSNR peut être mesuré à l'aide d'un analyseur de spectre optique à bande étroite. Un exemple est représenté dans la Figure III.5 dans le cas d'un signal à 10 Gbit/s dans un système avec un espacement des canaux de 100 GHz. Pour estimer le rapport OSNR, on peut mesurer d'une part la puissance du signal et d'autre part le bruit dans la région plate en dehors du signal. Il faut veiller à mesurer le signal avec une largeur de bande de résolution suffisamment grande pour inclure toute la puissance du signal, et à mesurer le bruit avec une largeur de bande de résolution suffisamment petite pour exclure le signal. Il pourra alors être nécessaire d'utiliser une largeur de bande de résolution différente pour ces deux mesures et de rapporter la puissance de bruit de la largeur de bande de mesure à la valeur de référence usuelle de 0,1 nm.

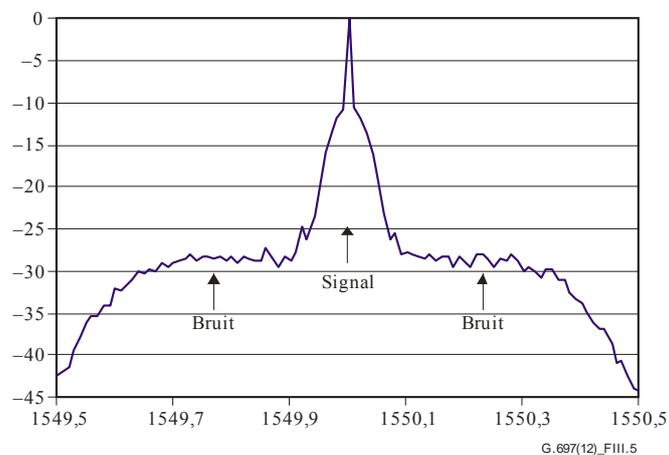


Figure III.5 – Spectre optique dans lequel le signal n'occupe pas la totalité de la largeur de bande du canal

Toutefois, à mesure que la rapidité de modulation devient comparable à l'espacement des canaux, le spectre du signal chevauche complètement le bruit de fond comme illustré dans la Figure III.6. Dans ce cas, un principe de mesure différent est nécessaire. Par ailleurs, lorsque le signal traverse plusieurs filtres optiques, la fonction de filtrage combinée présente progressivement un sommet moins aplati, si bien qu'il est plus difficile de déterminer avec précision le niveau de bruit.

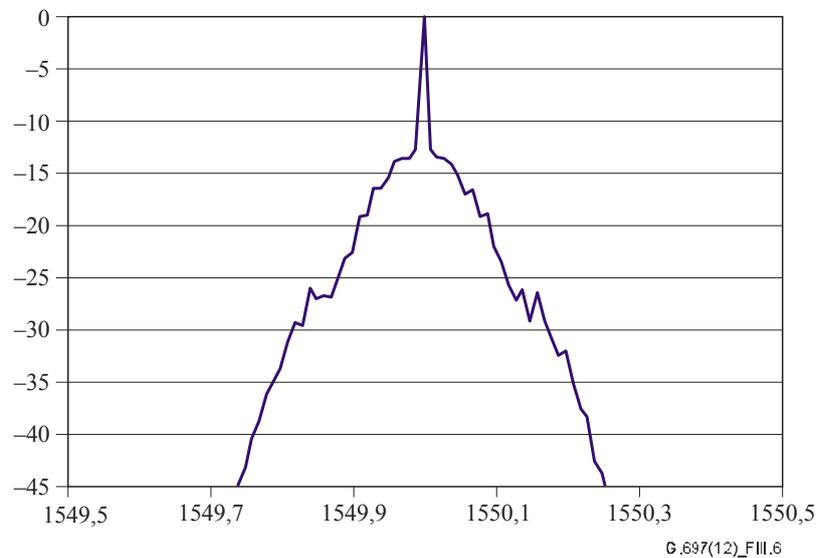


Figure III.6 – Spectre optique dans lequel le signal occupe la totalité de la largeur de bande du canal

III.1.2 Mesure avec extinction dans le domaine temporel

Dans cette méthode, le signal dans le canal à mesurer est alternativement transmis et coupé à l'entrée du système optique au moyen d'un commutateur optico-acoustique. Au point de mesure, on procède alors à un échantillonnage au moyen d'un deuxième commutateur, soit en phase pour mesurer le signal soit en décalage de phase pour mesurer la puissance de bruit. Pour appliquer cette méthode, il est nécessaire de recourir à des commutateurs optico-acoustiques rapides à fort niveau d'extinction ou à un analyseur de spectre optique (OSA) à fenêtre. Le niveau moyen du signal dans le canal mesuré est maintenu au niveau moyen en fonctionnement normal pour conserver le point de fonctionnement des amplificateurs.

Cette méthode de mesure présente les inconvénients évidents de nécessiter que des équipements soient insérés en plusieurs points du système et de ne pas pouvoir être utilisée pour mesurer le rapport OSNR lorsque le canal est en service.

III.1.3 Mesure avec extinction de polarisation

Pour séparer le signal du bruit, une autre méthode consiste à exploiter le fait que, en première approximation, le signal de transmission optique est polarisé, tandis que le bruit ASE ne l'est pas. Dans la forme la plus simple, on utilise un contrôleur de polarisation variable avec un séparateur/filtre de polarisation pour séparer le signal polarisé du bruit non polarisé comme indiqué dans la Figure III.7.

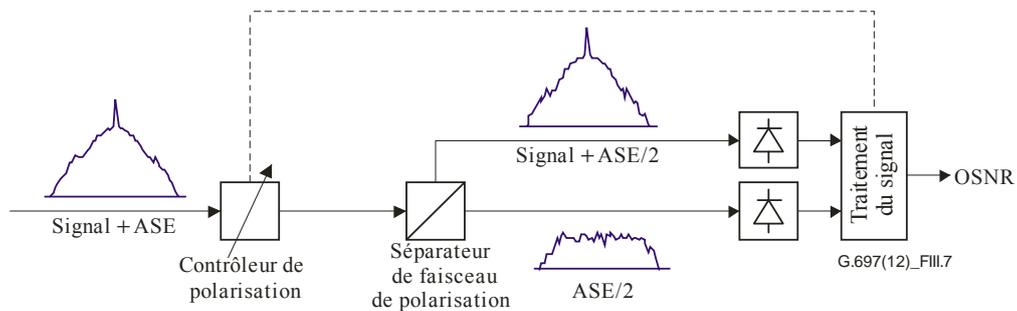


Figure III.7 – Schéma de la méthode avec extinction de polarisation

En faisant varier le contrôleur de polarisation situé avant le séparateur de faisceau de polarisation, il est possible de supprimer le signal polarisé et d'accéder au bruit non polarisé dans la bande d'un côté, et au signal plus bruit de l'autre côté [b-Rasztovits-Wiech].

Cette méthode de mesure pose quatre problèmes:

- Si l'état de polarisation du signal au point de mesure évolue rapidement (ce qui risque en particulier de poser problème avec une fibre aérienne) ou le signal se dépolarise, il est alors très difficile d'obtenir une bonne extinction du signal.
- En cas de diaphonie entre les canaux, l'éventuelle prise en compte de la diaphonie dans la mesure du bruit dépendra des polarisations relatives du signal et de la diaphonie.
- L'affaiblissement dû à la polarisation (PDL) peut entraîner une erreur de mesure importante car le bruit présentant la même polarisation que le signal et le bruit présentant la polarisation orthogonale ont des amplitudes différentes.
- Pour un signal à multiplexage en polarisation, un signal distinct se trouve sur chacune des deux polarisations orthogonales, de sorte qu'il est impossible d'éteindre le signal à l'aide d'un séparateur de faisceau de polarisation. Il est donc impossible d'utiliser cette méthode de mesure du rapport OSNR pour ce type de signal.

III.2 Mesure du facteur Q

La mesure du facteur Q occupe une place intermédiaire entre les paramètres optiques classiques (puissance, rapport signal optique/bruit (OSNR) et longueur d'onde) et les paramètres numériques de performance de bout en bout fondés sur le taux BER.

On mesure le facteur Q dans le domaine temporel en analysant les statistiques de la forme de l'impulsion du signal optique. Des informations complètes figurent dans la référence [UIT-T O.201]. Le facteur Q est une mesure globale de la qualité du signal d'un canal optique, qui tient compte des effets du bruit, du filtrage et des distorsions linéaires et non linéaires sur la forme de l'impulsion, ce qui n'est pas possible avec de simples paramètres optiques.

Dans des conditions idéales (présence uniquement de bruit gaussien additif, absence de distorsions linéaires ou non linéaires, etc.), le taux BER d'un canal optique binaire doit être le même que celui indiqué par une mesure du facteur Q. Toutefois, ces conditions idéales sont rarement réunies dans les systèmes réels et la corrélation entre le facteur Q d'un signal optique et le taux BER mesuré après régénération est influencée par les différentes caractéristiques du récepteur du régénérateur (largeur de bande de bruit, réponse impulsionnelle, etc.), comparé à celui du dispositif de mesure du facteur Q.

Un autre facteur qui a une grande incidence sur la validité d'une mesure du facteur Q en un point quelconque d'un trajet optique est la dispersion résiduelle présente en ce point. La Figure III.8 représente le schéma fonctionnel d'un système de transmission simple composé de cinq sections, dont les amplificateurs de ligne contiennent des modules de compensation de dispersion (DCM).

Dans un tel système, même si la dispersion nominale résiduelle est généralement nulle aux extrémités E et F, les mesures du facteur Q aux points intermédiaires du trajet optique ne sont possibles qu'avec une compensation appropriée de la dispersion en ces points.

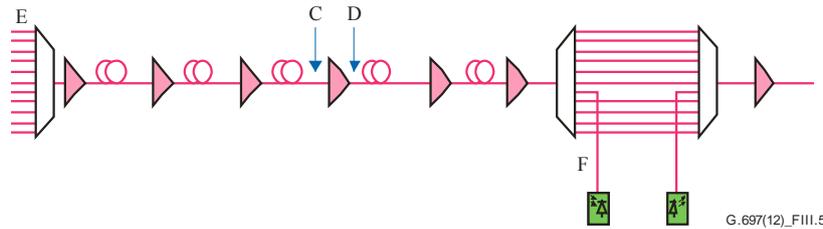


Figure III.8 – Système de transmission simple composé de cinq sections dont les amplificateurs de ligne contiennent des DCM

La Figure III.9 représente la dispersion résiduelle en fonction de la distance pour un système dans lequel la dispersion de chaque section d'une longueur nominale de 80 km est compensée par un module DCM intégré dans chaque amplificateur de ligne, et par un module DCM supplémentaire placé à l'intérieur du préamplificateur de réception. Dans ce cas, par exemple, le facteur Q mesuré au point C (l'entrée du troisième amplificateur de ligne) est bien différent du facteur Q au point D (la sortie du même amplificateur) en raison de la grande différence de dispersion résiduelle mesurée entre les deux points.

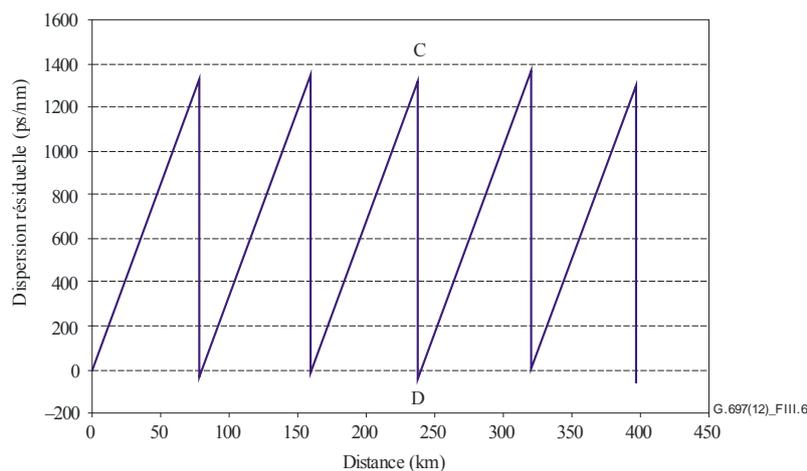


Figure III.9 – Dispersion résiduelle en fonction de la distance pour un système simple

Une solution pour la courbe de dispersion représentée sur la Figure III.9 consisterait à mesurer le facteur Q uniquement en sortie d'amplificateur (par exemple au point D).

La courbe de dispersion résiduelle illustrée par la Figure III.9 concerne une longueur d'onde pour laquelle la dispersion de la fibre est compensée avec une précision acceptable par le module DCM. Toutefois, dans les systèmes à grande distance couvrant un grand intervalle de longueurs d'onde, le fait que la pente de la dispersion de la fibre en fonction de la longueur d'onde ne corresponde généralement pas exactement à l'inverse de la courbe de la dispersion DCM en fonction de la longueur d'onde signifie que la courbe de la dispersion résiduelle est différente sur l'intervalle de longueurs d'onde du canal. Cela est illustré par la Figure III.10 qui représente aussi les courbes de dispersion résiduelle des canaux de longueurs d'onde extrêmes.

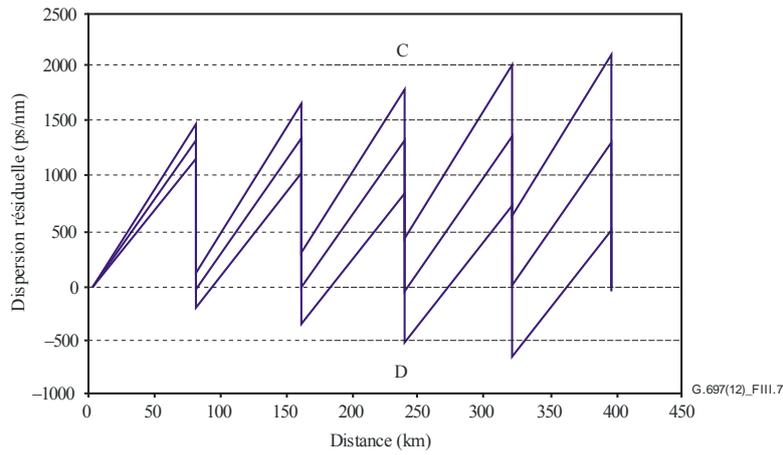


Figure III.10 – Dispersion résiduelle en fonction de la distance pour un système simple avec un grand intervalle de longueurs d'onde

Dans le cas d'une courbe de dispersion plus complexe telle que celle illustrée par la Figure III.11, faisant intervenir des modules DCM dans l'émetteur et le récepteur ainsi que d'autres intégrés dans les amplificateurs de ligne, les points de dispersion nulle ne coïncident pas nécessairement à la sortie des amplificateurs de ligne. Dans ce cas, il faudrait que l'équipement de mesure soit équipé de dispositifs de compensation supplémentaires pour que la mesure du facteur Q soit valide en ces points.

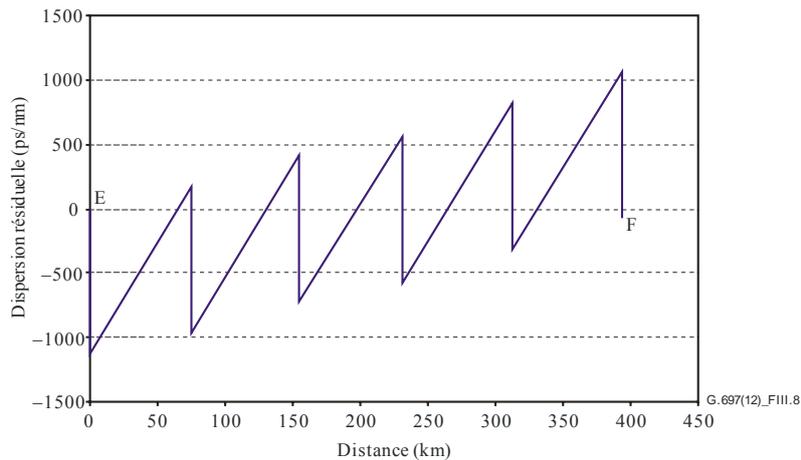


Figure III.11 – Dispersion résiduelle en fonction de la distance pour un système plus complexe

Appendice IV

Positions possibles et fonctions des équipements de surveillance dans plusieurs éléments de réseau optique

(Cet appendice ne fait pas partie intégrante de la présente Recommandation.)

IV.1 Introduction

Même si la surveillance optique est implémentée (et en service) dans de nombreux systèmes actuels de transmission optique, il existe de grandes différences entre ces systèmes en termes de déploiement de la surveillance optique. Cela est dû à la diversité des systèmes de transmission et de contrôle, à la taille du réseau et à la diversité des stratégies de gestion des problèmes employées pour ces différents systèmes. Pour cette raison, on ne peut définir des critères généraux permettant d'établir quelle valeur de paramètre et quel degré de précision particulier constituent un indicateur fiable de la condition d'exploitation d'un tel système.

Le choix de l'option de déploiement dépend des caractéristiques propres à l'élément de réseau optique et, en particulier, pour un système DWDM, de ses caractéristiques (par exemple, longueur et nombre de tronçons, nombre de canaux, inaccessibilité des emplacements) et de considérations relatives aux coûts/avantages. Il faut notamment bien voir que l'augmentation du nombre de points de surveillance fait augmenter la consommation de puissance du signal, ce qui réduit la portée du système DWDM.

En conclusion, il faut bien avoir à l'esprit que les positions possibles et les fonctions des points de surveillance dans plusieurs éléments de réseau optique qui sont présentées dans cet appendice sont données uniquement à titre d'exemples et non de critères à suivre. Ces exemples sont intéressants dans la mesure où ils montrent ce qui est réalisable du point de vue technologique et ce dont les opérateurs de réseau pourraient avoir besoin.

Un modèle général des positions possibles de surveillance dans un élément de réseau optique est présenté dans la Figure IV.1.

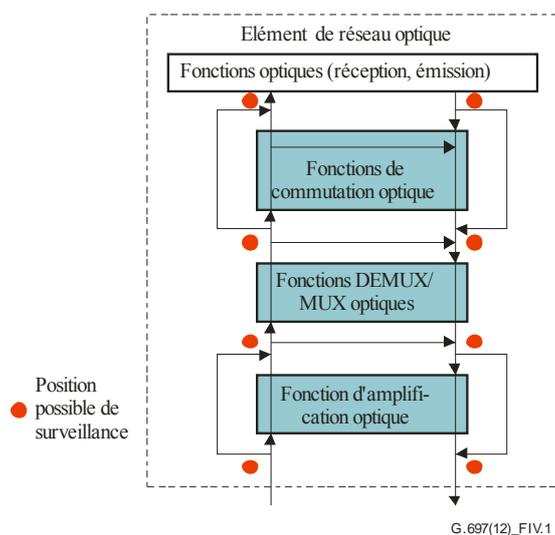


Figure IV.1 – Exemple de positionnement des équipements EME à l'intérieur d'un élément de réseau optique

IV.2 Points de surveillance intégrés

IV.2.1 Segment de ligne DWDM

Un exemple de positionnement des équipements de surveillance intégrés (EME) dans un segment de ligne DWDM longue distance avec des canaux optiques fonctionnant à 10 Gbit/s est illustré dans la Figure IV.2.

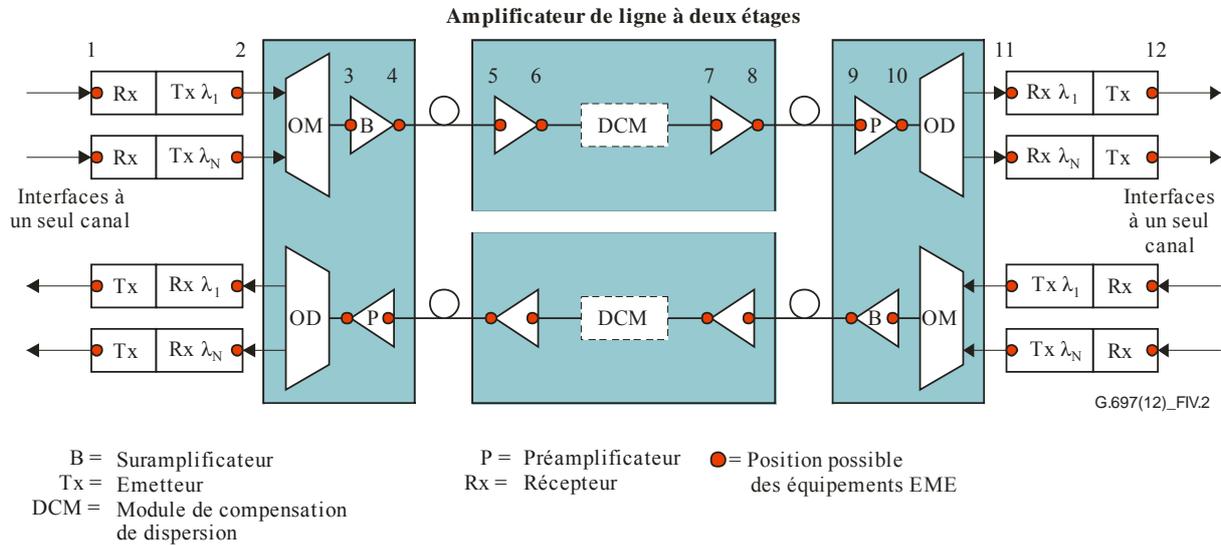


Figure IV.2 – Exemple de positionnement des équipements EME dans un segment de ligne DWDM longue distance

Les paramètres optiques énumérés au paragraphe 10 peuvent être mesurés aux divers points de surveillance de la Figure IV.2 conformément au Tableau IV.1.

Tableau IV.1 – Surveillance possible dans un segment de ligne DWDM

Paramètres de surveillance	Position des équipements EME
a) Puissance totale à l'entrée des différents étages d'amplification optique	3, 5, 7, 9
b) Puissance totale à la sortie des différents étages d'amplification optique	4, 6, 8, 10
c) Puissance d'entrée dans le canal	1, 11
d) Puissance de sortie dans le canal	2, 12
e) Puissance dans le canal à la sortie des différents étages d'amplification optique	4, 6, 8, 10
f) Rapport OSNR du canal à la sortie des différents étages d'amplification optique	4, 6, 8, 10
g) Longueur d'onde du canal	2

NOTE – Ce tableau énumère les positions possibles de surveillance. Le choix approprié en matière de surveillance dépend du système considéré (voir le § IV.1).

IV.2.2 Multiplexeurs ROADM

Un exemple de positionnement des équipements de surveillance intégrés dans un multiplexeur optique d'insertion-extraction reconfigurable (ROADM) est illustré dans la Figure IV.3.

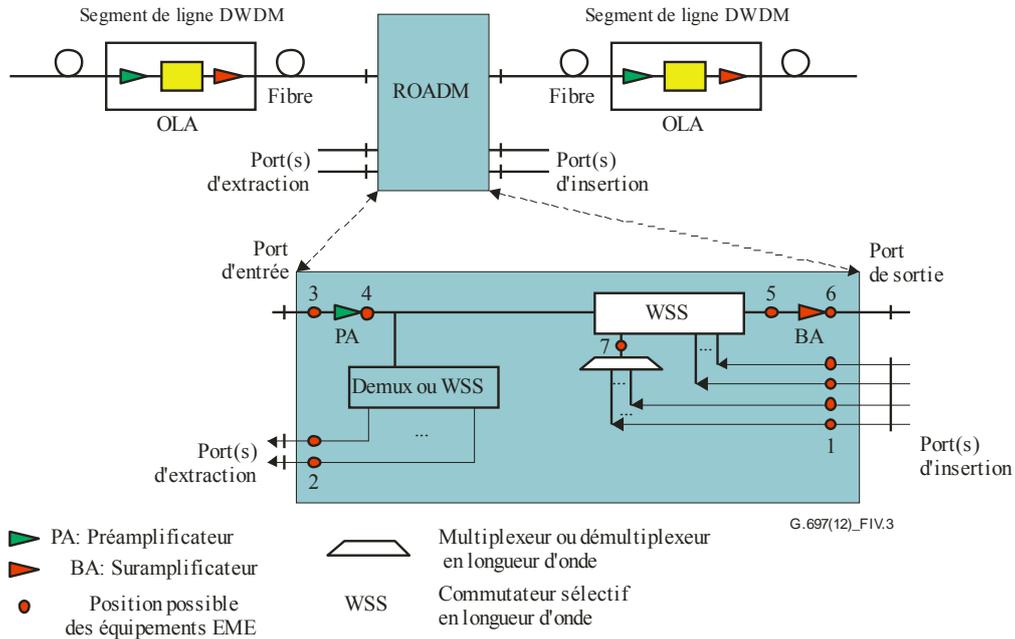


Figure IV.3 – Exemple de positionnement des équipements EME dans un multiplexeur ROADM

Les paramètres optiques énumérés au paragraphe 10 peuvent être mesurés dans les divers équipements EME de la Figure IV.3 conformément au Tableau IV.2.

Tableau IV.2 – Surveillance possible dans un multiplexeur ROADM

Paramètres de surveillance	Position des équipements EME
a) Puissance totale à l'entrée des différents étages d'amplification optique	3, 5
b) Puissance totale à la sortie des différents étages d'amplification optique	4, 6
c) Puissance d'entrée dans le canal	1
d) Puissance de sortie dans le canal	2
e) Puissance dans le canal à la sortie des différents étages d'amplification optique	4, 6
f) Rapport OSNR du canal à la sortie des différents étages d'amplification optique	4, 6
g) Longueur d'onde du canal	1
h) Puissance totale	7

NOTE – Ce tableau énumère les positions possibles de surveillance. Le choix approprié en matière de surveillance dépend du système considéré (voir le § IV.1).

La position et la fonction des équipements EME dans le commutateur WSS seront étudiées ultérieurement.

IV.3 Points de surveillance externes

IV.3.1 Segment de ligne DWDM

Un exemple de positionnement des points de surveillance externes (EMP) dans un segment de ligne DWDM longue distance avec des canaux optiques fonctionnant à 10 Gbit/s est illustré dans la Figure IV.4.

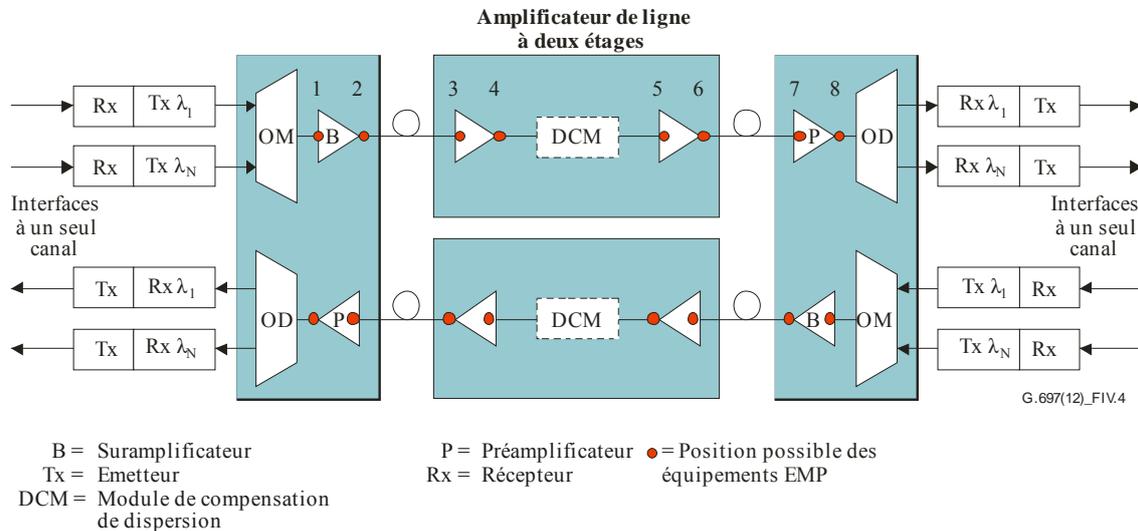


Figure IV.4 – Exemple de positionnement des points EMP dans un segment de ligne DWDM longue distance

Tous les paramètres optiques énumérés au paragraphe 8 peuvent être mesurés aux divers points de surveillance de la Figure IV.4 à l'aide d'équipements de mesure externes adaptés. Le choix approprié des points de surveillance dépend du système considéré (voir le § IV.1)

IV.3.2 Multiplexeurs ROADM

Un exemple de positionnement des points de surveillance externes dans un multiplexeur ROADM est illustré dans la Figure IV.5.

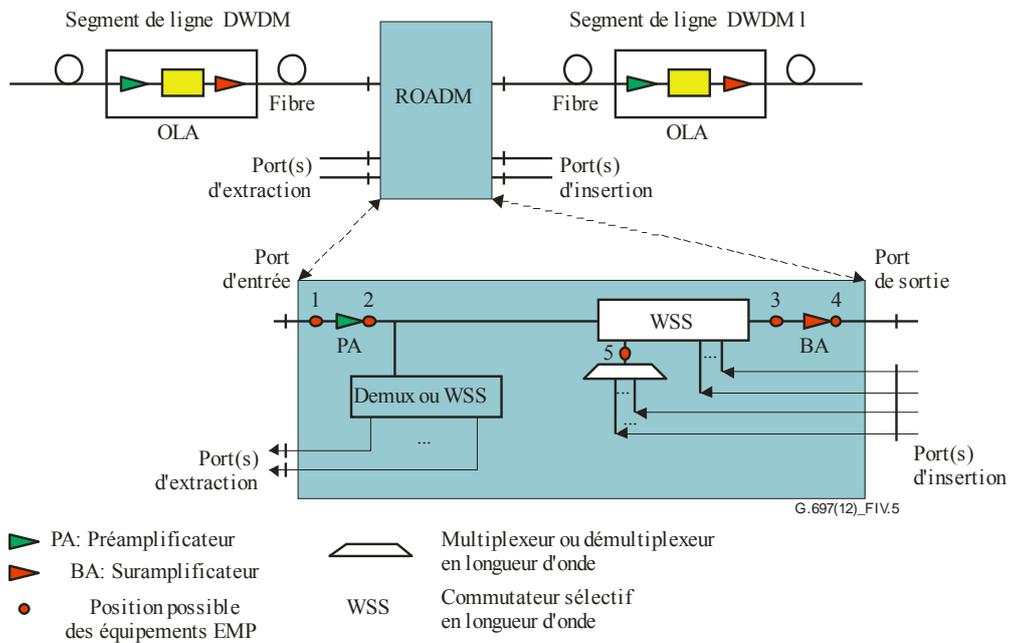


Figure IV.5 – Exemple de positionnement des points EMP dans un multiplexeur ROADM

Tous les paramètres optiques énumérés au paragraphe 10 peuvent être mesurés aux divers points de surveillance de la Figure IV.5 à l'aide d'équipements de mesure externes adaptés. Le choix approprié des points de surveillance dépend du système considéré (voir le § IV.1).

Appendice V

Codage des paramètres

(Cet appendice ne fait pas partie intégrante de la présente Recommandation.)

Le présent appendice décrit un système de codage pouvant être utilisé pour communiquer des informations relatives aux paramètres optiques. Il ne traite ni de l'utilisation de ces informations, ni de la manière dont elles sont communiquées, ni de la question de savoir si des informations sont incluses pour un paramètre particulier, ni de la question de savoir si la valeur d'un paramètre donné est obtenue par mesure, par mesure avant l'installation du système ou si elle est purement et simplement configurée.

V.1 Identificateur de longueur d'onde (32 bits)

Ce champ contient l'étiquette de longueur d'onde; il est constitué de 4 sous-champs:

- **Grille** (3 bits, 0 à 2): la valeur est fixée à 1 pour la grille DWDM UIT-T définie dans la référence [b-UIT-T G.694.1] et à 2 pour la grille CWDM UIT-T définie dans la référence [b-UIT-T G.694.2]. Les valeurs 0 et 3 à 7 sont réservées pour une utilisation future.
- **Espacement des canaux** (4 bits, 3 à 6): le codage de l'espacement des canaux lorsque la valeur de la grille est fixée à "1" (DWDM) est indiqué dans le Tableau V.1 et le codage de l'espacement des canaux lorsque la valeur de la grille est fixée à "2" (CWDM) est indiqué dans le Tableau V.2.

Tableau V.1 – Codage de l'espacement des canaux DWDM

Espacement des canaux (GHz)	Valeur
100	1
50	2
25	3
12,5	4
Grille souple	5
Réservé pour une utilisation future	0, 6 à 15

Pour les espacements des canaux supérieurs à 100 GHz, il existe plusieurs choix possibles de grille (voir la référence [b-UIT-T G.694.1]), de sorte qu'il convient de coder l'élément approprié de la grille avec un espacement de 100 GHz.

Tableau V.2 – Codage de l'espacement des canaux CWDM

Espacement des canaux (nm)	Valeur
20	1
Réservé pour une utilisation future	0, 2 à 15

- n (16 bits, 7 à 22): valeur utilisée pour calculer la fréquence comme indiqué ci-dessous: lorsque la valeur de la grille est de "1", fréquence (THz) = 193,1 THz + $n \times$ espacement des canaux (THz). Dans le cas où la valeur de l'espacement des canaux est fixée à "5", il convient d'utiliser un espacement des canaux de 6,25 GHz dans la formule ci-dessus. Lorsque la valeur de la grille est de "2", longueur d'onde (nm) = 1471 nm + $n \times$ espacement des canaux (nm). n est codé sous la forme d'un nombre à 16 bits en complément à deux.

- **m** (9 bits, 23 à 31): lorsque la valeur de la grille est de "1" et que la valeur de l'espacement des canaux est fixée à "5", il s'agit de la valeur utilisée pour calculer la largeur de l'intervalle: largeur de l'intervalle (GHz) = 12,5 GHz × m (voir la référence [b-UIT-T G.694.1]); dans les autres cas, la valeur est fixée à 0. **m** est codé sous la forme d'un entier à 9 bits non signé.

A titre d'exemple, le codage de l'élément à 193,85 THz (environ 1 546,518 nm) de la grille avec un espacement de 50 GHz décrite dans la référence [b-UIT-T G.694.1] serait le suivant: grille = 1, espacement des canaux = 2, n = 15, réservé = 0, d'où le codage 000000000 0000000000001111 0010 001 ou 0x00000791.

V.2 Source de l'identificateur de paramètre (8 bits)

Ce champ définit la source du tableau de codage de l'identificateur de paramètre. La valeur "1" correspond à la présente Recommandation, toutes les autres valeurs sont réservées pour une utilisation future.

V.3 Identificateur de paramètre (8 bits)

Lorsque la source de l'identificateur de paramètre est égale à "1", le codage de paramètre présenté dans le Tableau V.3 s'applique. Pour toutes les autres valeurs de la source de l'identificateur de paramètre, le codage de paramètre figure dans le document indiqué au paragraphe V.2.

Tableau V.3 – Codage de l'identificateur de paramètre

Valeur	Paramètre	Unité	Notes
1	Puissance totale	dBm	
2	Puissance dans le canal	dBm	
3	Ecart par rapport à la fréquence nominale	GHz	Pour les canaux DWDM
4	Ecart par rapport à la longueur d'onde nominale	nm	Pour les canaux CWDM
5	Rapport OSNR	dB (0,1 nm)	Rapporté à une largeur de bande de bruit de 0,1 nm
6	Facteur Q	–	Facteur Q linéaire
7	Dispersion PMD	ps	DGD moyen. En principe, ce paramètre n'est mesuré qu'au moment de l'installation
8	Dispersion résiduelle	ps/nm	En principe, ce paramètre n'est mesuré qu'au moment de l'installation

Toutes les autres valeurs de l'identificateur de paramètre sont réservées pour une utilisation future.

V.4 Valeur des paramètres (32 bits)

La valeur d'un paramètre est codée sous la forme d'un nombre à 32 bits en virgule flottante conformément à la référence [b-IEEE 754]. Le nombre à 32 bits comporte un signe (1 bit), un exposant (8 bits) et une mantisse (23 bits). La valeur du paramètre est alors la suivante:

$$\text{Valeur} = (-1)^{\text{signe}} \times 2^{(\text{exposant} - 127)} \times (\text{nombre compris entre 1,0 et 2,0 déduit de la mantisse})$$

On se reportera à la référence [b-IEEE 754] pour plus de détails.

Bibliographie

- [b-UIT-T G.694.1] Recommandation UIT-T G.694.1 (2002), *Grilles spectrales pour les applications de multiplexage par répartition en longueurs d'onde: grille dense DWDM.*
- [b-UIT-T G.694.2] Recommandation UIT-T G.694.2 (2003), *Grilles spectrales pour les applications de multiplexage par répartition en longueur d'onde: grille espacée CWDM.*
- [b-UIT-T G.709] Recommandation UIT-T G.709/Y.1331 (2003), *Interfaces pour le réseau de transport optique.*
- [b-UIT-T G.826] Recommandation UIT-T G.826 (2002), *Paramètres et objectifs relatifs aux caractéristiques d'erreur de bout en bout pour les connexions et conduits numériques internationaux à débit constant.*
- [b-UIT-T G-Sup.39] Recommandations UIT-T de la série G – Supplément 39 (2003), *Considérations sur la conception et l'ingénierie des systèmes optiques.*
- [b-CEI 61280-2-9] CEI 61280-2-9 (2009), *Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunications à fibres optiques – Partie 2-9: Systèmes numériques – Mesure du rapport signal sur bruit optique pour les systèmes multiplexés à répartition en longueur d'onde dense.*
- [b-IEEE 754] IEEE 754-2008, *Standard for Floating-Point Arithmetic.*
- [b-Rasztovits-Wiech] Rasztoivits-Wiech, M., Danner, and M., Leeb, W. R. (1998), *Optical signal-to-noise measurement in WDM networks using polarization extinction*, Proceedings of the 34th European Conference on Optical Communication (ECOC 1998), Madrid, septembre 1998, pages 549-550.

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	Terminaux et méthodes d'évaluation subjectives et objectives
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