

Union internationale des télécommunications

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.977

(12/2006)

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

Sections numériques et systèmes de lignes numériques –
Systèmes de câbles optiques sous-marins

**Caractéristiques des systèmes de câbles
optiques sous-marins à amplification optique**

Recommandation UIT-T G.977

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
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.700–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999
Généralités	G.900–G.909
Paramètres pour les systèmes à câbles optiques	G.910–G.919
Sections numériques à débits hiérarchisés multiples de 2048 kbit/s	G.920–G.929
Systèmes numériques de transmission par ligne à débits non hiérarchisés	G.930–G.939
Systèmes de transmission numérique par ligne à supports MRF	G.940–G.949
Systèmes numériques de transmission par ligne	G.950–G.959
Section numérique et systèmes de transmission numériques pour l'accès usager du RNIS	G.960–G.969
Systèmes de câbles optiques sous-marins	G.970–G.979
Systèmes de transmission par ligne optique pour les réseaux locaux et les réseaux d'accès	G.980–G.989
Réseaux d'accès	G.990–G.999
QUALITÉ DE SERVICE ET DE TRANSMISSION – ASPECTS GÉNÉRIQUES ET ASPECTS LIÉS À L'UTILISATEUR	G.1000–G.1999
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.6000–G.6999
DONNÉES SUR COUCHE TRANSPORT – ASPECTS GÉNÉRIQUES	G.7000–G.7999
ASPECTS RELATIFS AUX PROTOCOLES EN MODE PAQUET SUR COUCHE TRANSPORT	G.8000–G.8999
RÉSEAUX D'ACCÈS	G.9000–G.9999

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

Recommandation UIT-T G.977

Caractéristiques des systèmes de câbles optiques sous-marins à amplification optique

Résumé

La Recommandation UIT-T G.977 est consacrée aux spécifications d'interface et de performance des systèmes sous-marins optiques utilisant des amplificateurs à fibres optiques comme répéteurs de ligne. Elle traite des aspects liés aux systèmes mono-onde (SWS, *single wavelength system*), aux systèmes à multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDMS, *wavelength division multiplexing system*) ainsi qu'aux systèmes à multiplexage par répartition dense en longueurs d'onde (DWDMS, *dense wavelength division multiplexing system*). L'Annexe A porte sur l'implémentation physique de systèmes sous-marins à fibres optiques et à amplification optique.

Source

La Recommandation UIT-T G.977 a été approuvée le 14 décembre 2006 par la Commission d'études 15 (2005-2008) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

NOTE

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

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

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

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

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT 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 développeurs de consulter la base de données des brevets du TSB sous <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2008

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 normatives.....	1
3	Termes et définitions	3
	3.1 Termes définis ailleurs	3
	3.2 Termes définis dans la présente Recommandation	3
4	Abréviations et acronymes	7
5	Caractéristiques et performance du système.....	10
	5.1 Caractéristiques et performance des tronçons de ligne numérique (DLS, <i>digital line section</i>).....	10
	5.2 Bilan de puissance optique	11
	5.3 Fiabilité du système	13
	5.4 Mise à niveau de la capacité du système	14
6	Caractéristiques et performance des équipements TTE.....	14
	6.1 Généralités.....	14
	6.2 Qualité de transmission	15
	6.3 Actions consécutives à une alarme.....	16
	6.4 Commutation automatique	16
7	Caractéristiques et performance des répéteurs optiques sous-marins (OSR, <i>optical submarine repeaters</i>).....	16
	7.1 Caractéristiques mécaniques	16
	7.2 Caractéristiques électriques	17
	7.3 Caractéristiques optiques.....	17
	7.4 Fonctionnalités de surveillance	18
	7.5 Localisation des pannes	18
	7.6 Fiabilité.....	19
8	Caractéristiques et performance de l'unité de dérivation (BU, <i>branching unit</i>) en ligne	19
	8.1 Généralités.....	19
	8.2 Caractéristiques mécaniques	20
	8.3 Caractéristiques électriques	20
	8.4 Caractéristiques optiques.....	21
	8.5 Fonctionnalités de surveillance	21
	8.6 Localisation des pannes	21
	8.7 Fiabilité.....	22
9	Caractéristiques et performance de l'égaliseur optique sous-marin (OSE, <i>optical submarine equalizer</i>)	22
	9.1 Caractéristiques mécaniques	22
	9.2 Caractéristiques électriques (pour égaliseurs OSE réglables seulement).....	23

	Page
9.3	Caractéristiques optiques..... 23
9.4	Fonctionnalités de surveillance 23
9.5	Fiabilité..... 23
10	Caractéristiques et performance du câble sous-marin 24
10.1	Carte de la dispersion 24
10.2	Implémentation d'une gestion de la dispersion..... 24
Annexe A	– Implémentation de systèmes de câbles optiques sous-marins avec répéteurs utilisant des amplificateurs à fibres optiques..... 26
A.1	Introduction 26
A.2	Configuration du système..... 26
A.3	Performance du système..... 30
A.4	Exploitation du système 32
A.5	Caractéristiques du répéteur optique sous-marin (OSR), de l'unité de dérivation (BU) et de l'égaliseur optique sous-marin (OSE)..... 33
Bibliographie 35

Recommandation UIT-T G.977

Caractéristiques des systèmes de câbles optiques sous-marins à amplification optique

1 Domaine d'application

La présente Recommandation est consacrée aux spécifications d'interface et de performance des systèmes de câbles sous-marins à fibres optiques utilisant des amplificateurs à fibres optiques comme répéteurs de ligne. Elle traite des aspects liés aux systèmes mono-onde (SWS, *single wavelength system*), aux systèmes à multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDMS, *wavelength division multiplexing system*), ainsi qu'aux systèmes à multiplexage par répartition dense en longueurs d'onde (DWDMS, *dense wavelength division multiplexing system*). Suivant les spécifications du système (nombre de terminaisons, connectivité, capacité totale, distance maximale de bout en bout, et/ou coût du système, etc.), l'un de ces trois types de système peut être mieux adapté. On peut acheminer un grand volume de données sur une seule longueur d'onde en utilisant un débit élevé ou sur plusieurs longueurs d'onde en utilisant un débit plus faible.

D'un point de vue général, les caractéristiques et les spécifications de performance des équipements submersibles sont, pour la plupart, identiques pour les systèmes SWS, WDMS et DWDMS. En fait, les systèmes SWS apparaissent comme un cas particulier de systèmes WDMS utilisant une seule longueur d'onde, et les systèmes WDM peuvent également être considérés comme un cas particulier de systèmes DWDMS utilisant un petit nombre de longueurs d'onde. En conséquence, les indications générales données dans la présente Recommandation s'appliquent aux systèmes SWS, WDMS et DWDMS. Toutefois, en cas de nécessité, des Recommandations plus détaillées souligneront la spécificité de ces trois types de systèmes.

[UIT-T G.971] décrit les aspects courants de l'implémentation des systèmes de câbles optiques sous-marins: fabrication, installation et maintenance. Quant à [UIT-T G.978], elle décrit aussi les aspects courants des caractéristiques des câbles optiques sous-marins.

L'Annexe A porte sur l'implémentation physique de systèmes sous-marins à fibres optiques et à amplification optique.

2 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.661] Recommandation UIT-T G.661 (2006), *Définition et méthodes de mesure des paramètres génériques relatifs aux dispositifs et sous-systèmes amplificateurs optiques.*

[UIT-T G.662] Recommandation UIT-T G.662 (2005), *Caractéristiques génériques des dispositifs et sous-systèmes amplificateurs à fibres 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 G.701] Recommandation UIT-T G.701 (1993), *Vocabulaire relatif à la modulation par impulsions et codage (MIC), au multiplexage et à la transmission numériques.*
- [UIT-T G.702] Recommandation UIT-T G.702 (1988), *Débits binaires de la hiérarchie numérique.*
- [UIT-T G.703] Recommandation UIT-T G.703 (2001), *Caractéristiques physiques et électriques des interfaces numériques hiérarchiques.*
- [UIT-T G.707] Recommandation UIT-T G.707/Y.1322 (2007), *Interface de nœud de réseau pour la hiérarchie numérique synchrone.*
- [UIT-T G.708] Recommandation UIT-T G.708 (1999), *Interface de nœud de réseau infra STM-0 pour la hiérarchie numérique synchrone.*
- [UIT-T G.783] Recommandation UIT-T G.783 (2006), *Caractéristiques des blocs fonctionnels des équipements de la hiérarchie numérique synchrone.*
- [UIT-T G.821] Recommandation UIT-T G.821 (2002), *Caractéristiques d'erreur d'une connexion numérique internationale fonctionnant à un débit inférieur au débit primaire et faisant partie d'un réseau numérique à intégration de services.*
- [UIT-T G.823] Recommandation UIT-T G.823 (2000), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques basés sur la hiérarchie à 2048 kbit/s.*
- [UIT-T G.825] Recommandation UIT-T G.825 (2000), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques à hiérarchie numérique synchrone.*
- [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.*
- [UIT-T G.828] Recommandation UIT-T G.828 (2000), *Paramètres et objectifs relatifs aux caractéristiques d'erreur pour les conduits numériques synchrones internationaux à débit constant.*
- [UIT-T G.921] Recommandation UIT-T G.921 (1988), *Sections numériques fondées sur la hiérarchie à 2048 kbit/s.*
- [UIT-T G.955] Recommandation UIT-T G.955 (1996), *Systèmes de ligne numériques des hiérarchies à 1544 kbit/s et à 2048 kbit/s sur câbles à fibres optiques.*
- [UIT-T G.957] Recommandation UIT-T G.957 (2006), *Interfaces optiques pour les équipements et les systèmes relatifs à la hiérarchie numérique synchrone.*
- [UIT-T G.971] Recommandation UIT-T G.971 (2004), *Caractéristiques générales des systèmes de câbles optiques sous-marins.*
- [UIT-T G.972] Recommandation UIT-T G.972 (2004), *Définition des termes relatifs aux systèmes de câbles optiques sous-marins.*
- [UIT-T G.975] Recommandation UIT-T G.975 (2000), *Correction directe d'erreur pour les systèmes sous-marins.*
- [UIT-T G.975.1] Recommandation UIT-T G.975.1 (2004), *Correction directe d'erreur pour les systèmes sous-marins à haut débit et à multiplexage par répartition dense en longueurs d'onde.*
- [UIT-T G.976] Recommandation UIT-T G.976 (2004), *Méthodes de test applicables aux systèmes de câbles optiques sous-marins.*

- [UIT-T G.978] Recommandation UIT-T G.978 (2006), *Caractéristiques des câbles optiques sous-marins*.
- [CEI 60825-1] CEI 60825-1 (2007), *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels et exigences*.
- [CEI 60825-2] CEI 60825-2 (2007), *Sécurité des appareils à laser – Partie 2: Sécurité des systèmes de télécommunication par fibres optiques (STFO)*.

3 Termes et définitions

3.1 Termes définis ailleurs

La présente Recommandation utilise les termes suivants définis ailleurs:

- 3.1.1 facteur de compression:** voir [UIT-T G.976].
- 3.1.2 tronçon de ligne numérique (DLS, *digital line section*):** voir [UIT-T G.701].
- 3.1.3 correction d'erreur directe (FEC, *forward error correction*):** voir [UIT-T G.972], [UIT-T G.975] et [UIT-T G.975.1].
- 3.1.4 platitude du gain:** voir [UIT-T G.976].
- 3.1.5 différence maximale de puissance entre canaux:** voir [UIT-T G.692].
- 3.1.6 préfixe de section de multiplexage (MSOH, *multiplex section overhead*):** voir [UIT-T G.783].
- 3.1.7 facteur de bruit:** voir [UIT-T G.661].
- 3.1.8 gain nominal:** voir [UIT-T G.976].
- 3.1.9 niveau nominal d'entrée du signal:** voir [UIT-T G.976].
- 3.1.10 niveau nominal de sortie du signal:** voir [UIT-T G.976].
- 3.1.11 amplificateur à fibres optiques (OFA, *optical fibre amplifier*):** voir [UIT-T G.661].
- 3.1.12 variation du gain en fonction de la polarisation:** voir [UIT-T G.661].
- 3.1.13 affaiblissement dû à la polarisation:** voir [UIT-T G.661].
- 3.1.14 saturation spectralement sélective due à la polarisation:** voir [UIT-T G.661].
- 3.1.15 dispersion modale de polarisation:** voir [UIT-T G.661].
- 3.1.16 points de référence S, R:** voir [UIT-T G.955].
- 3.1.17 points de référence S', R':** voir [UIT-T G.661] et [UIT-T G.662].
- 3.1.18 gain pour les petits signaux:** voir [UIT-T G.661].
- 3.1.19 hiérarchie numérique synchrone (SDH, *synchronous digital hierarchy*):** voir [UIT-T G.708].
- 3.1.20 module de transport synchrone (STM, *synchronous transport module*):** voir [UIT-T G.708].

3.2 Termes définis dans la présente Recommandation

La présente Recommandation définit les termes suivants. Les Figures 1, 2, 3 et 4, qui illustrent ces définitions, décrivent un équipement terminal de système WDMS et DWDMS. Dans le cas d'un système SWS, l'interface optique multiplexeur/démultiplexeur doit être supprimée de manière à ne considérer qu'une seule longueur d'onde comme décrit dans les Figures 3 et 4.

3.2.1 unité de dérivation (BU, *branching unit*): équipement optique sous-marin inséré dans la partie sous-marine d'un réseau de transmission par câble sous-marin à fibres optiques dans lequel il faut interconnecter électriquement et optiquement trois tronçons de câble.

3.2.2 multiplexage par répartition dense en longueur d'onde (DWDM, *dense wavelength division multiplexing*): ensemble d'un grand nombre de canaux LOC devant constituer tout ou partie de la ligne sous-marine sur une même fibre.

3.2.3 système de multiplexage par répartition dense en longueurs d'onde (DWDMS, *dense wavelength division multiplexing system*): système optique bidirectionnel comportant un grand nombre de canaux LOC.

3.2.4 unité de dérivation avec extraction de toutes les fibres optiques (FFD-BU, *full fibre drop BU*): unité de dérivation dans laquelle l'interconnexion optique des trois câbles sous-marins est réalisée par le raccordement physique de toutes les paires de fibres entre les câbles.

3.2.5 égaliseur de gain: dispositif servant à adapter les caractéristiques du profil de gain d'une installation submersible à la transmission.

3.2.6 interface terrestre intermédiaire (ITI, *intermediate terrestrial interface*): il est à noter que l'équipement TTE peut être composé de deux équipements distincts reliés par une interface: le premier – appelé équipement terminal de transmission de câble sous-marin (SCTTE) – étant du côté câble sous-marin et le second – appelé équipement terminal de transmission de réseau terrestre (TNTTE) – étant du côté réseau terrestre. Dans ce cas, il faut une interface intermédiaire pour relier les deux équipements. Cette interface est composée d'interfaces de données bidirectionnelles et, au besoin, d'une liaison supplémentaire servant à échanger des informations entre les deux équipements de l'équipement TTE.

3.2.7 canal optique de ligne (LOC, *line optical channel*): canal de transmission de données optique bidirectionnel fonctionnant à une fréquence/longueur d'onde optique particulière pour chaque sens de transmission.

3.2.8 LOC-TTE: équipement TTE dont l'interface SCOI est composée d'un seul canal LOC.

3.2.9 N-WDM: multiplex WDM ou DWDM de N canaux LOC (N étant un entier).

3.2.10 égaliseur optique sous-marin (OSE, *optical submarine equalizer*): équipement submersible utilisé pour compenser ou traiter les valeurs cumulatives d'ondulation et d'inclinaison de gain le long d'un tronçon SDLS aux fins de conformité avec la capacité de préaccentuation de l'équipement TTE du côté émission et avec la dégradation correspondante attribuée dans le tableau de bilan de puissance.

3.2.11 panne de dérivation: trajet de fuite de courant entre le conducteur électrique et l'eau de mer sans interruption dans celui-ci.

3.2.12 système mono-onde (SWS, *single wavelength system*): système optique bidirectionnel ne comportant qu'un seul canal LOC.

3.2.13 égaliseur de pente: dispositif utilisé par les systèmes WDMS pour égaliser la pente résiduelle de gain/longueur d'onde qui s'accumule lorsque le signal est transmis par une chaîne de répéteurs submersibles.

3.2.14 interface optique de câble sous-marin (SCOI, *submarine cable optical interface*): interface optique bidirectionnelle entre le câble sous-marin (y compris le tronçon de câble terrestre) et l'équipement TTE. Elle est composée d'un canal LOC ou d'un multiplex WDM.

3.2.15 équipement terminal de transmission de câble sous-marin (SCTTE, *submarine cable transmission terminal equipment*): voir la définition de l'interface terrestre intermédiaire.

3.2.16 tronçon de ligne numérique sous-marine (SDLS, *submarine digital line section*): trajet optique continu bidirectionnel le long duquel un canal LOC relie deux équipements TTE au niveau de leurs interfaces SEOI.

3.2.17 interface électro-optique sous-marine (SEOI, *submarine electro-optic interface*): interface bidirectionnelle à l'intérieur de l'équipement TTE où sont exécutées la conversion électro-optique et la régénération optique entre un canal LOC et un canal électrique.

3.2.18 équipement terminal de transmission (TTE, *terminal transmission equipment*): équipement inclus dans la partie terrestre d'un système de câbles sous-marins à fibres optiques pour les opérations de multiplexage et démultiplexage au niveau du terminal de transmission, le codage et la conversion des affluents entrants en signal de ligne optique, la conversion et le décodage du signal de ligne optique reçu en affluents sortants, la commutation de protection sous-marine et la supervision des installations sous-marines et la terminaison optique de câble.

3.2.19 interface terrestre (TI, *terrestrial interface*): interface entre le système sous-marin et le réseau terrestre.

3.2.20 équipement terminal de transmission de réseau terrestre (TNTTE, *terrestrial network transmission terminal equipment*): voir la définition de l'interface terrestre intermédiaire.

3.2.21 égaliseur d'inclinaison: dispositif utilisé par les systèmes WDMS pour égaliser l'inclinaison résiduelle de gain/longueur d'onde qui s'accumule lorsque le signal est transmis par une chaîne de répéteurs submersibles.

3.2.22 liaison ombilicale: liaison supplémentaire servant, au niveau de l'interface ITI, à échanger des informations entre les deux équipements de l'équipement TTE (équipement SCTTE et équipement TNTTE).

3.2.23 démultiplexeur de longueur d'onde (WD, *wavelength demultiplexer*): équipement nécessaire à la subdivision d'un multiplex WDM en plusieurs canaux LOC et/ou multiplex WDM ayant pour support différentes fibres.

3.2.24 multiplex par répartition en longueur d'onde (WDM, *wavelength division multiplexing*): ensemble de plusieurs canaux LOC devant constituer tout ou partie de la ligne sous-marine sur une même fibre.

3.2.25 système à multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDMS, *wavelength division multiplexing system*): système optique bidirectionnel comportant plusieurs canaux LOC.

3.2.26 multiplexeur de longueur d'onde (WM, *wavelength multiplexer*): équipement nécessaire à la combinaison de plusieurs canaux LOC et/ou multiplex WDM provenant de différentes fibres en un multiplex WDM commun comprenant tous les canaux LOC combinés.

3.2.27 WDM-BU: unité de dérivation dans laquelle l'interconnexion optique des trois câbles sous-marins est réalisée par l'intermédiaire d'un multiplexeur WM et d'un démultiplexeur WD, c'est-à-dire par l'insertion et l'extraction d'un ou de plusieurs canaux LOC de multiplex N-WDM.

3.2.28 WDM-TTE: équipement TTE doté d'un multiplexeur WM et d'un démultiplexeur WD, dont l'interface SCOI est un multiplex WDM ou DWDM.

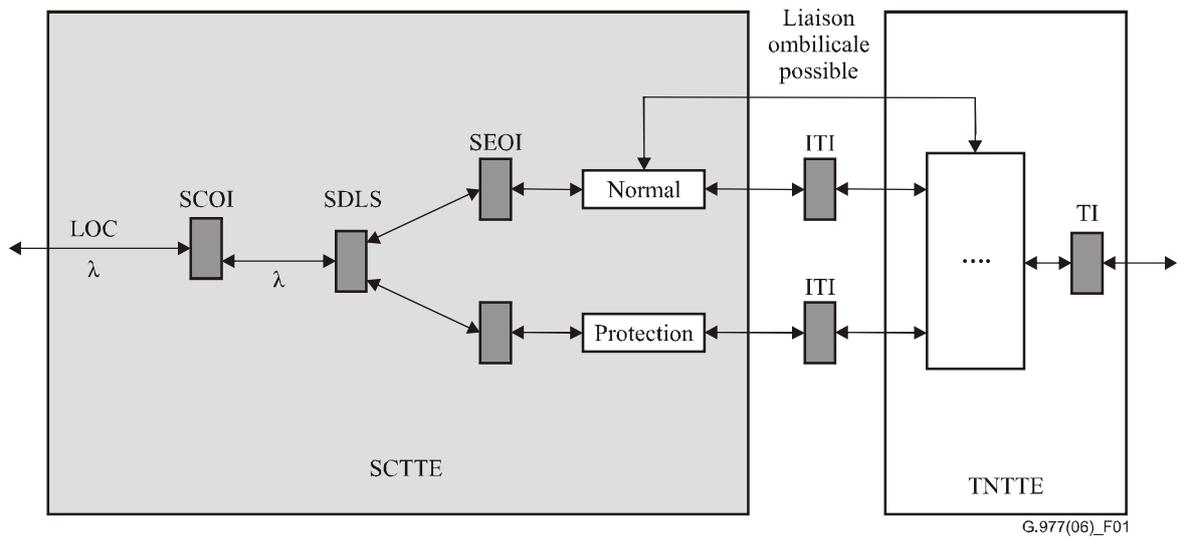


Figure 1 – Termes et définitions se rapportant au système SWS

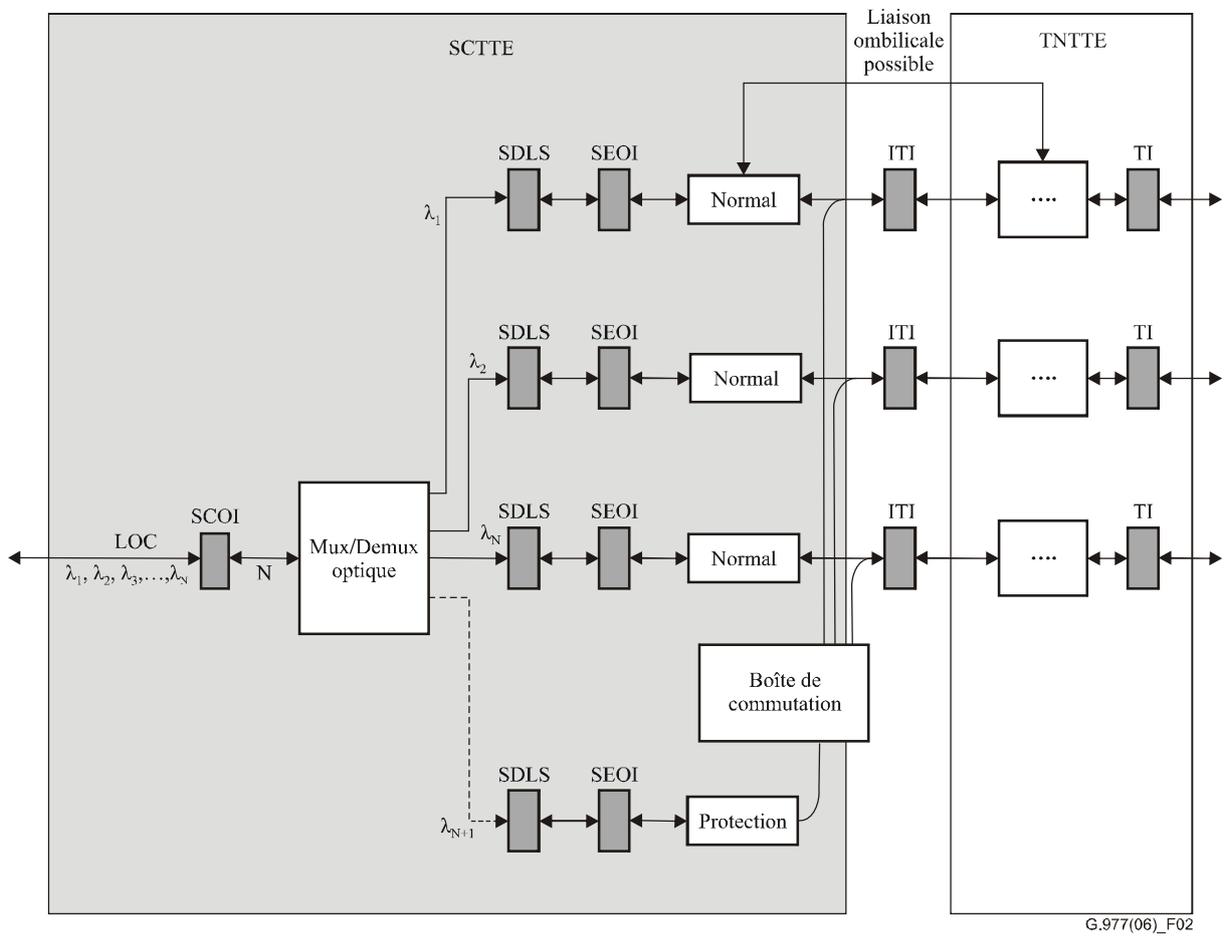


Figure 2 – Termes et définitions se rapportant au système WDMS

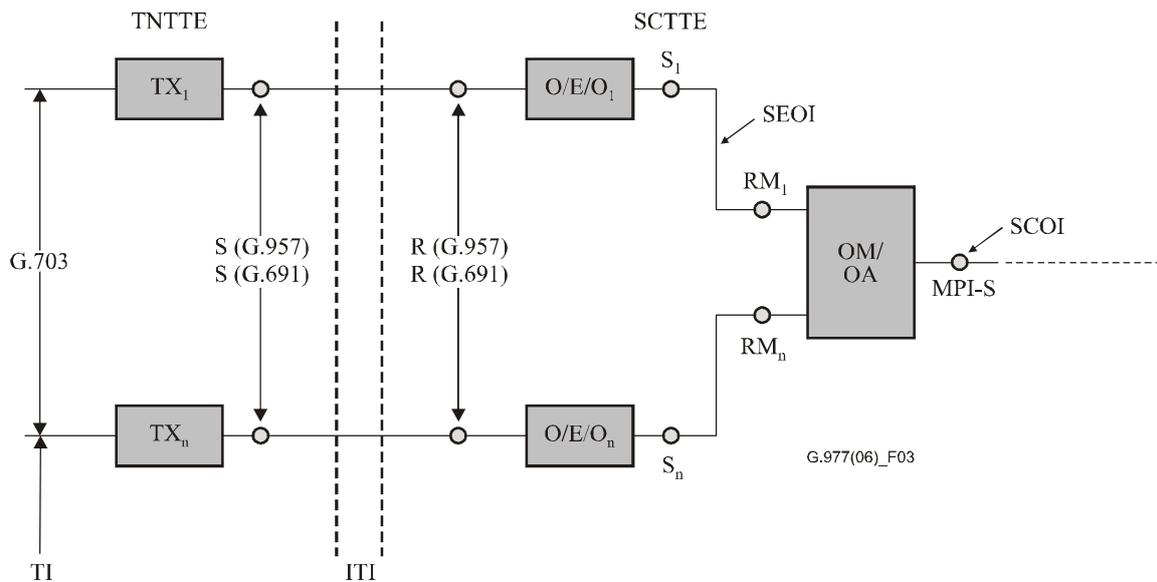


Figure 3 – Côté émission

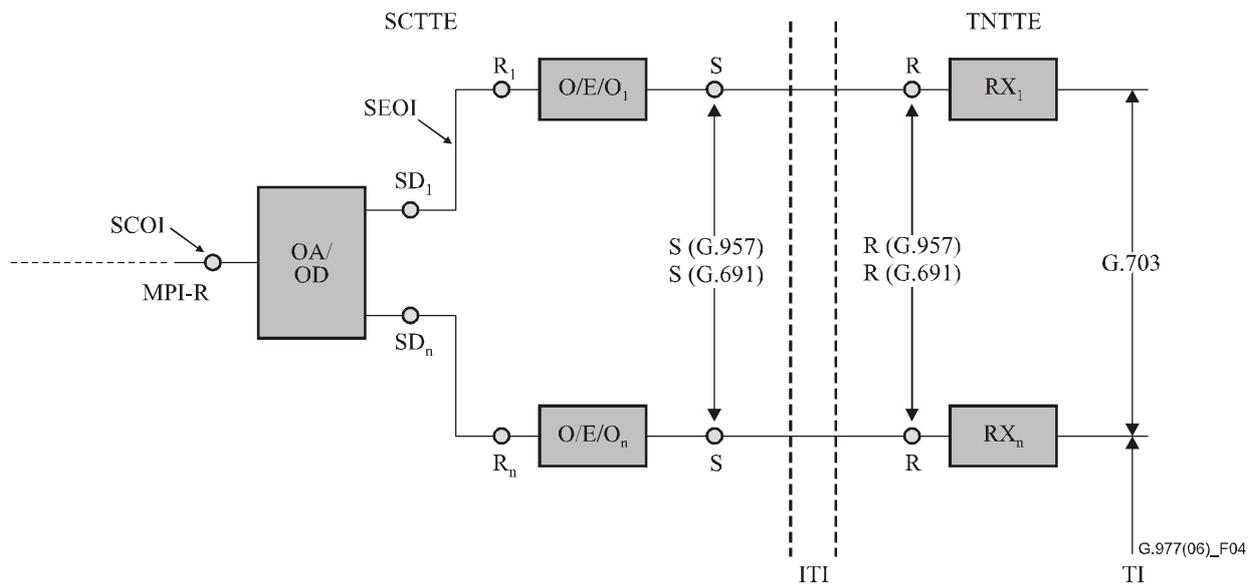


Figure 4 – Côté réception

4 Abréviations et acronymes

La présente Recommandation utilise les abréviations et acronymes suivants:

APC	commande de puissance automatique (<i>automatic power control</i>)
APR	réduction automatique de puissance (<i>automatic power reduction</i>)
BER	taux d'erreurs sur les bits (<i>bit error ratio</i>)
BOL	début de vie (<i>beginning of life</i>)
BU	unité de dérivation (<i>branching unit</i>)
CF	facteur de compression (<i>compression factor</i>)
COTDR	réflectométrie optique temporelle cohérente (<i>coherent optical time domain reflectometry</i>)

CRZ	modulation par impulsion avec retour à zéro (<i>chirped return to zero</i>)
CS-RZ	suppression de la porteuse avec retour à zéro (<i>carrier suppressed return to zero</i>)
CS-RZ-DPSK	modulation par déplacement de phase différentielle et suppression de la porteuse avec retour à zéro (<i>carrier suppressed return to zero differential phase shift keying</i>)
CTE	équipement de terminaison de câble (<i>câble terminating equipment</i>)
DLS	tronçon de ligne numérique (<i>digital line section</i>)
DPSK	modulation par déplacement de phase différentielle (<i>differential phase shift keying</i>)
DWDM	multiplexage par répartition dense en longueur d'onde (<i>dense wavelength division multiplexing</i>)
DWDMS	système à multiplexage par répartition dense en longueur d'onde (<i>dense wavelength division multiplexing system</i>)
EDF	fibres dopées à l'erbium (<i>erbium doped fibre</i>)
EOL	fin de vie (<i>end of life</i>)
FFD-BU	unité de dérivation avec extraction de toutes les fibres optiques (<i>full fibre drop-branching unit</i>)
FWM	mélange de quatre ondes (<i>four-wave mixing</i>)
GF	platitude du gain (<i>gain flatness</i>)
ITI	interface terrestre intermédiaire
LOC	canal optique de ligne (<i>line optical channel</i>)
LOC-TTE	équipement terminal de transmission à un seul canal optique de ligne (<i>line optical channel-terminal transmission equipment</i>)
MPI	interface principale sur le trajet (<i>main path interface</i>)
MPI-R	point de référence de réception de l'interface principale sur le trajet (<i>receive main path interface reference point</i>)
MPI-S	point de référence d'émission de l'interface principale sur le trajet (<i>source main path interface reference point</i>)
MSOH	préfixe de section de multiplexage (<i>multiplex section overhead</i>)
NF	facteur de bruit (<i>noise figure</i>)
NG	gain nominal (<i>nominal gain</i>)
NRZ	non-retour à zéro (<i>no return to zero</i>)
NRZ-DPSK	modulation par déplacement de phase différentielle avec non-retour à zéro (<i>no return to zero differential phase shift keying</i>)
NSIP	puissance nominale d'entrée du signal (<i>nominal signal input power</i>)
NSOP	puissance nominale de sortie du signal (<i>nominal signal output power</i>)
N-WDM	multiplex par répartition en N longueurs d'onde (<i>N-wavelength division multiplex</i>)
OFA	amplificateur à fibres optiques (<i>optical fibre amplifier</i>)
OSE	égaliseur optique sous-marin (<i>optical submarine equalizer</i>)

OSR	répéteur optique sous-marin (<i>optical submarine repeater</i>)
OTDR	réflecteur optique temporel (<i>optical time domain reflection</i>)
PDG	variation du gain en fonction de la polarisation (<i>polarization-dependent gain</i>)
PDH	hiérarchie numérique plésiochrone (<i>plesiochronous digital hierarchy</i>)
PDL	affaiblissement dû à la polarisation (<i>polarization-dependent loss</i>)
PFE	équipement de téléalimentation (<i>power feeding equipment</i>)
PHB	saturation spectralement sélective due à la polarisation (<i>polarization hole burning</i>)
PMD	dispersion modale de polarisation (<i>polarization mode dispersion</i>)
RZ	retour à zéro (<i>return to zero</i>)
RZ-DPSK	modulation par déplacement de phase différentielle avec retour à zéro (<i>return to zero differential phase shift keying</i>)
SCOI	interface de sortie de câble sous-marin (<i>submarine cable output interface</i>)
SCTTE	équipement terminal de transmission de câble sous-marin (<i>submarine cable transmission terminal equipment</i>)
SDH	hiérarchie numérique synchrone (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SDLS	tronçon de ligne numérique sous-marine (<i>submarine digital line section</i>)
SEOI	interface de sortie électro-optique sous-marine (<i>submarine electro-optic interface</i>)
SSG	gain pour les petits signaux (<i>small signal gain</i>)
STM	module de transport synchrone (<i>synchronous transport module</i>)
SWS	système mono-onde (<i>single wavelength system</i>)
TI	interface terrestre (<i>terrestrial interface</i>)
TNTTE	équipement terminal de transmission de réseau terrestre (<i>terrestrial network transmission terminal equipment</i>)
TSE	équipement terminal de station (<i>terminal station equipment</i>)
TTE	équipement terminal de transmission (<i>terminal transmission equipment</i>)
VSB	bande latérale résiduelle (<i>vestigial side band</i>)
WD	démultiplexeur de longueur d'onde (<i>wavelength demultiplexing</i>)
WDM	multiplex en longueurs d'onde (<i>wavelength division multiplex</i>)
WDMS	système à multiplexage par répartition en longueurs d'onde (<i>wavelength division multiplexing system</i>)
WDM-BU	unité de dérivation à multiplex par répartition en longueur d'onde (<i>wavelength division multiplex-branching unit</i>)
WDM-TTE	équipement terminal de transmission à multiplex par répartition en longueur d'onde (<i>wavelength division multiplex-terminal transmission equipment</i>)
WM	multiplexeur de longueur d'onde (<i>wavelength multiplexing</i>)

5 Caractéristiques et performance du système

5.1 Caractéristiques et performance des tronçons de ligne numérique (DLS, *digital line section*)

Les tronçons de ligne numérique du système doivent être conformes aux Recommandations applicables de l'UIT-T.

5.1.1 Caractéristiques des signaux numériques aux interfaces ITI et TI

A l'interface TI, les signaux numériques doivent être conformes aux [UIT-T G.702], [UIT-T G.703], [UIT-T G.707] et [UIT-T G.957] applicables.

A l'interface ITI, il est recommandé que les signaux numériques soient conformes aux paramètres physiques décrits dans [UIT-T G.957].

Plusieurs interfaces présentant différents débits binaires peuvent coexister pour un même système de câbles optiques sous-marins.

5.1.2 Caractéristiques d'erreurs globales à l'interface TI

Les caractéristiques d'erreurs d'un système de câbles sous-marins à fibres optiques doivent être conformes aux Recommandations applicables de l'UIT-T en ce qui concerne la durée de vie nominale du système:

- pour les interfaces PDH: [UIT-T G.821] pour les systèmes conçus avant décembre 2002 et [UIT-T G.826] pour les systèmes conçus après cette date;
- pour les interfaces SDH: [UIT-T G.826] pour les systèmes conçus avant mars 2000 et [UIT-T G.828] pour les systèmes conçus après cette date.

Pour les systèmes PDH, les paramètres applicables – secondes gravement erronées et secondes erronées – découlent des [UIT-T G.821] et [UIT-T G.826], conjointement avec les caractéristiques à 64 kbit/s pour un km. L'Annexe D de [UIT-T G.821] donne des informations sur la projection des caractéristiques de système à 64 kbit/s.

Pour les systèmes SDH, les paramètres applicables – secondes à fort taux d'erreurs et secondes avec erreurs – découlent des [UIT-T G.826] et [UIT-T G.828].

5.1.3 Disponibilité du système à l'interface TI

Pour les interfaces PDH:

- la définition du temps d'indisponibilité découle de l'Annexe A de [UIT-T G.821] et l'Annexe A [UIT-T G.826];
- conformément à l'Annexe A de [UIT-T G.821] et l'Annexe A de [UIT-T G.826], une période d'indisponibilité commence lorsque le taux d'erreurs sur les bits (BER, *bit error ratio*) pour chaque seconde est supérieur à 1×10^{-3} pendant dix secondes consécutives, lesquelles sont considérées comme faisant partie du temps d'indisponibilité. La période d'indisponibilité se termine lorsque le taux BER pour chaque seconde est inférieur à 1×10^{-3} pendant dix secondes consécutives, lesquelles sont considérées comme faisant partie du temps de disponibilité.

Pour les interfaces SDH:

- la définition du temps d'indisponibilité découle de [UIT-T G.826] (pour les systèmes conçus avant mars 2000) et de [UIT-T G.828] (pour les systèmes conçus après mars 2000).

Il est clair que la disponibilité du système dépend de la disponibilité aux diverses interfaces TI. Il est recommandé de définir l'indisponibilité du système pendant une période quelconque comme le cumul temporel de toutes les indisponibilités aux interfaces TI pendant cette période (il convient de

ne pas cumuler plusieurs indisponibilités aux interfaces TI se produisant dans le même intervalle temporel).

La spécification de l'indisponibilité s'applique au temps d'indisponibilité dû à la défaillance d'un composant du système et inclut par exemple les opérations de commutation, les pannes de terminal et les opérations de surveillance et de maintenance conduisant à des interruptions d'une durée égale ou supérieure à dix secondes. Elle n'inclut pas les pannes causées par des facteurs externes (chaluts, ancres, alimentation d'équipement TTE, etc.) ni les périodes pendant lesquelles l'alimentation du système est coupée pour cause de réparation. De même, les pannes nécessitant l'intervention d'un navire ne sont pas incluses dans le calcul du temps d'indisponibilité.

5.1.4 Caractéristiques de gigue aux interfaces ITI et TI

Les caractéristiques de gigue d'un système de câbles sous-marins à fibres optiques aux interfaces ITI et TI doivent être conformes aux [UIT-T G.823], [UIT-T G.825] et aux autres Recommandations applicables pendant la durée de vie nominale du système.

5.1.5 Attribution de la performance aux différentes parties du système

La performance de bout en bout pour un tronçon de ligne numérique (DLS, *digital line section*) donné est obtenue en multipliant l'attribution spécifiée pour un km par la longueur du tronçon DLS. Lorsqu'il faut attribuer une dégradation de la performance à différentes parties du tronçon DLS, une valeur correspondant à une longueur fixe (à déterminer) est attribuée à chaque équipement terminal de station et une valeur égale à la différence entre la spécification pour le tronçon DLS et l'attribution aux terminaux est attribuée à la partie sous-marine km par km.

5.1.6 Indépendance des tronçons DLS

Les défaillances, opérations de maintenance, opérations de surveillance, etc., sur un tronçon DLS quelconque ne doivent pas avoir d'incidence sur la performance spécifiée des autres tronçons DLS du système. En particulier:

- a) *pour les systèmes WDMS et DWDMS:*
 - 1) les défaillances concernant la moitié ou moins des canaux LOC à l'intérieur d'un multiplex WDM ne doivent pas avoir d'effet sur les autres canaux LOC du multiplex WDM.
- b) *pour les systèmes SWS, WDMS et DWDMS:*
 - 1) les défaillances concernant une paire de fibres ne doivent pas avoir d'effet sur les autres paires de fibres du système;
 - 2) les défaillances concernant des affluents à n'importe quel niveau de multiplexage ou de démultiplexage (optique ou électrique) du système ne doivent pas avoir d'effet sur les autres parties du système.

Les effets à court terme des transitoires doivent normalement être considérés comme tolérables, si leur risque d'occurrence est faible.

5.2 Bilan de puissance optique

Les tableaux de bilan de puissance optique doivent décrire la manière dont la performance du système sera atteinte en ce qui concerne les caractéristiques d'erreur.

Dans les systèmes sous-marins comportant des amplificateurs optiques en ligne, la régénération n'intervient que dans les équipements TTE au niveau de l'interface SEOI. Entre deux équipements TTE, les canaux subiront des dégradations dues par exemple à l'accumulation ou à la propagation de bruit optique (non-linéarités des fibres, dispersion chromatique). Il est donc recommandé d'établir un bilan de puissance optique au niveau des tronçons SDLS. Etant donné que certains

systèmes pourront comporter plusieurs tronçons SDLS présentant des dégradations différentes, il est en outre recommandé d'établir un bilan de puissance optique pour chacun de ces tronçons SDLS.

Par ailleurs, dans certains cas (réseaux WDM avec unité de dérivation WDM-BU par exemple), les deux sens peuvent subir des dégradations différentes: dans ce cas, un bilan de puissance peut être établi pour chaque sens du tronçon SDLS en question et le bilan pour lequel les dégradations sont les plus fortes doit être considéré comme le bilan de puissance du tronçon SDLS.

En outre, lorsqu'un système comportant plusieurs points d'atterrissement a été optimisé pour le tronçon SDLS le plus long en termes de dégradation du rapport signal/bruit optique et d'espacement des répéteurs, des marges supplémentaires peuvent être prévues pour les tronçons plus courts. Ces marges, généralement appelées marges non attribuées du fournisseur, doivent être clairement indiquées dans les tableaux de bilan de puissance.

Pour chaque tronçon SDLS, il est recommandé d'établir deux bilans de puissance distincts, l'un pour le début de vie (BOL, *beginning of life*) et l'autre pour la fin de vie (EOL, *end of life*):

- le bilan de puissance pour le début de vie est représentatif de la performance du tronçon SDLS lorsque le système est mis en service et sert de repère pour les résultats des tests réalisés à ce moment là. Il est recommandé d'inclure dans ce bilan de puissance une marge garantie pour assurer la conformité aux conditions de fin de vie;
- le bilan de puissance pour la fin de vie est représentatif de la performance du système à la fin de la durée de vie nominale et doit inclure les dégradations dues au vieillissement et aux défaillances des composants ainsi qu'au vieillissement des câbles et spécifier des marges pour les réparations.

Le fournisseur doit donner suffisamment d'informations pour justifier la validité des tableaux de bilan de puissance, notamment – la liste n'est pas exhaustive:

- a) la valeur nominale de la puissance de sortie du répéteur;
- b) la valeur nominale du facteur de bruit;
- c) les valeurs de largeur de bande optique et électrique côté récepteur, servant au calcul du bilan de puissance.

Un bilan de puissance type est décrit en détail dans [b-UIT-T G-Sup.41].

Le fournisseur doit également préciser si un dispositif quelconque situé soit au niveau de l'émetteur ou du récepteur (par exemple, embrouilleurs de polarisation et/ou canaux fictifs) soit dans les installations submersibles (par exemple, filtres d'égalisation de gain, égalisateurs d'inclinaison et/ou égalisateurs de pente) est supposé améliorer la qualité de transmission.

5.2.1 Facteur de qualité (facteur Q)

Il est recommandé d'utiliser le facteur Q dans le bilan de puissance de chaque tronçon SDLS comme décrit dans l'Annexe A de [UIT-T G.976] et d'exprimer les dégradations en termes de dégradation du facteur Q.

La performance d'un tronçon SDLS doit être caractérisée par la mesure de son facteur Q ou par une mesure directe du taux BER devant permettre de retrouver la limite contractuelle du facteur Q pour la mise en service indiquée dans le bilan de puissance.

5.2.2 Paramètres applicables pour le bilan de puissance

Il est recommandé, dans le bilan de puissance, de tenir compte au moins des dégradations suivantes:

- dégradations dues à l'accumulation de bruit optique;
- dégradations de propagation dues aux effets combinés de la dispersion chromatique et des effets non linéaires (modulation auto-adaptative, modulation de phase croisée, effets de mélange de quatre ondes entre les canaux LOC, diffusion Raman stimulée, etc.);

- dégradations de propagation dues aux effets de polarisation optique (dispersion modale de polarisation (PMD, *polarization mode dispersion*), affaiblissement dû à la polarisation (PDL, *polarization-dependent loss*) et variation du gain en fonction de la polarisation (PDG, *polarization-dependent gain*), etc.). Etant donné que ces dégradations fluctuent dans le temps, il faut tenir compte séparément des variations de performance dans le temps;
- dégradations dues à la non-platitude de la courbe de gain cumulatif sur la totalité du segment;
- dégradations dues à un mauvais réglage de la ou des longueurs d'onde du tronçon SDLS;
- dégradations dues à un mauvais réglage des puissances optiques relatives des canaux LOC à l'intérieur d'un multiplex WDM. Ces dégradations s'appliquent aux systèmes sous-marins utilisant des multiplex WDM ou DWDM. Il faut en tenir compte à chaque multiplexage de longueur d'onde;
- dégradations dues aux fonctions de supervision et de localisation des pannes;
- dégradations dues aux imperfections des équipements TTE (liées aux caractéristiques de facteur Q de boucle des équipements TTE).

La modulation de phase croisée et le mélange de quatre ondes entre canaux LOC, la diffusion Raman stimulée, la non-platitude de la courbe du gain cumulatif et le mauvais réglage des puissances optiques relatives des canaux LOC causent des dégradations qui s'appliquent tout spécialement aux systèmes WDMS et DWDM étant donné qu'elles sont dues à la propagation de plusieurs signaux optiques sur la même fibre.

Par ailleurs, pour le bilan de puissance en fin de vie, il faut tenir compte des dégradations suivantes:

- dégradations dues aux opérations de réparation (épissures de réparation, perte additionnelle et modification de la carte de dispersion due à la longueur de câble supplémentaire après réparation);
- dégradations dues au vieillissement des câbles et des composants;
- dégradations dues au vieillissement des équipements TTE (diminution de la valeur du facteur Q de boucle des équipements TTE);
- dégradations dues aux pannes prévisibles de certains composants (pannes de lasers de pompage, par exemple).

En ce qui concerne les dégradations dues aux opérations de réparation, il faut tenir compte des différents types de scénarios de réparation de câble étant donné que les dégradations sont différentes selon que le câble est situé en eau peu profonde, en eau profonde ou dans la partie terrestre (entre le littoral et la station terrestre).

En outre, dans le bilan de puissance, il faut clairement indiquer le facteur Q minimal requis pour obtenir les caractéristiques d'erreurs spécifiées pour le système et préciser l'amélioration de marge découlant de l'utilisation de la correction FEC (si cela est applicable).

5.3 Fiabilité du système

La fiabilité de la partie sous-marine d'un système de câbles sous-marins à fibres optiques est généralement caractérisée par:

- le nombre prévisible de réparations nécessitant l'intervention d'un navire câblé et dues à des défaillances de composants du système au cours de la durée de vie nominale du système:
la spécification habituelle concernant la fiabilité du système est de moins de trois défaillances nécessitant l'intervention d'un navire câblé au cours de la durée de vie nominale du système;

- la durée de vie nominale du système: il s'agit de la période pendant laquelle le système de câbles sous-marins à fibres optiques est censé être opérationnel conformément à ses spécifications de performance. Cette durée est généralement de 25 ans à compter de la date d'acceptation provisoire du système, c'est-à-dire la date après l'installation à laquelle le système est conforme aux spécifications de performance.

5.4 Mise à niveau de la capacité du système

Etant donné que les amplificateurs à fibres optiques (OFA, *optical fibre amplifier*) ont une large bande de gain et présentent une certaine souplesse du point de vue du débit, il peut être avantageux d'augmenter la capacité de transmission en augmentant le débit des signaux et/ou le nombre de canaux de transmission (WDM ou DWDM). Une telle mise à niveau peut être bénéfique car la réutilisation de câbles longs, de nombreux amplificateurs en ligne et d'équipements de téléalimentation peut se faire de façon rentable sur toute la durée de vie des équipements (généralement 25 ans).

Pour la mise à niveau par augmentation du débit, il faut que les systèmes comportent des câbles et des amplificateurs en ligne optimisés pour un débit plus élevé, tandis qu'on peut utiliser au départ les équipements TTE à plus faible débit. Même après mise à niveau, le débit à la sortie des équipements TTE doit être conforme aux spécifications SDH pour assurer la compatibilité avec les équipements terrestres normalisés.

Pour la mise à niveau par utilisation de la technique WDM ou DWDM, il faut aussi que les câbles et les amplificateurs en ligne installés au départ conviennent pour le système comportant le nombre maximal de canaux prévus ultérieurement.

Les deux types de mises à niveau sont très différents à bien des égards (caractéristiques et commande des amplificateurs à fibres, bilan de puissance, rapport signal/bruit, dispersion chromatique des fibres, non-linéarités des fibres, etc.). Il est donc recommandé de concevoir correctement les systèmes compte tenu des éventuelles mises à niveau ultérieures.

6 Caractéristiques et performance des équipements TTE

6.1 Généralités

Un équipement terminal est conçu pour assembler les affluents en vue de leur transmission dans le système de câbles sous-marins à fibres optiques et pour assurer des fonctionnalités de surveillance et de maintenance.

6.1.1 Définition des points de référence de signaux aux interfaces ITI, TI, SEOI et SCOI

S'agissant des Figures 3 et 4, il convient de spécifier la liste minimale suivante de paramètres pour les interfaces de référence E/O:

- a) Les interfaces TI et ITI sont conformes aux [UIT-T G.703] et [UIT-T G.957].
- b) Pour le côté émission des interfaces SEOI (points S_1 , S_n à la sortie des interfaces O/E/O), il faut au moins spécifier les paramètres suivants:
 - 1) caractéristiques spectrales;
 - 2) puissance injectée moyenne;
 - 3) taux d'extinction;
 - 4) fréquence des canaux;
 - 5) espacement des canaux;
 - 6) écart de fréquence des canaux;

- 7) format de modulation (RZ, NRZ, CRZ, CS-RZ, VSB, NRZ-DPSK, RZ-DPSK, CS-RZ-DPSK...);
 - 8) débit;
 - 9) utilisation de la modulation de phase (si cela est applicable);
 - 10) utilisation de l'embrouilleur et du type de polarisation (si cela est applicable);
 - 11) valeur de précompensation de dispersion;
 - 12) valeur de postcompensation de dispersion.
- c) Pour le côté émission des interfaces SCOI (point MPI-S), il faut au moins spécifier les paramètres suivants:
- 1) différence maximale de puissance entre canaux;
 - 2) puissance de sortie des canaux;
 - 3) rapport signal/bruit des canaux.
- d) Pour le côté réception des interfaces SCOI (point MPI-R), il faut au moins spécifier les paramètres suivants:
- 1) rapport signal/bruit des canaux (en fonction du débit et de l'implémentation d'une correction FEC);
 - 2) différence maximale de puissance entre canaux.
- e) Pour le côté réception des interfaces SEOI (points R_1 , R_n à l'entrée des interfaces O/E/O), il faut au moins spécifier les paramètres suivants:
- 1) sensibilité du récepteur (si la correction FEC est exclue);
 - 2) surcharge du récepteur;
 - 3) plage de longueurs d'onde du récepteur;
 - 4) rapport signal/bruit optique.

6.2 Qualité de transmission

6.2.1 Caractéristiques du signal numérique à l'interface TI

Le signal numérique à l'interface TI doit être conforme aux Recommandations applicables de l'UIT-T.

6.2.2 Caractéristiques du signal à l'interface SCOI

A étudier.

6.2.3 Caractéristiques de gigue à l'interface TI

Les caractéristiques de gigue des équipements TTE d'un système de câbles sous-marins à fibres optiques doivent être conformes aux [UIT-T G.823] et [UIT-T G.825] et aux autres Recommandations pertinentes tout au long de la durée de vie nominale du système.

6.3 Actions consécutives à une alarme

L'équipement terminal doit détecter les dérangements et exécuter les actions consécutives comme l'indiquent en détail les Recommandations pertinentes (voir en particulier le Tableau 4 de [UIT-T G.921]. Les indications d'alarme susceptibles d'être prises en considération pour les amplificateurs optiques utilisés dans le système doivent être limitées aux paramètres essentiels (par exemple, puissance optique d'entrée et de sortie du signal, conditions de fonctionnement du laser de pompage, telles que le courant de polarisation ou la température). Les aspects sécurité des équipements laser doivent être conformes à [UIT-T G.664], et aux [CEI 60825-1] et [CEI 60825-2].

6.4 Commutation automatique

En cas d'utilisation de la commutation automatique pour répondre à l'exigence globale de disponibilité:

- la dégradation de trafic due à la commutation doit être réduite au minimum et compatible avec la performance globale du système;
- il faut indiquer quels équipements sont en service;
- il doit être possible de neutraliser manuellement la commutation automatique tout en assurant une dégradation minimale de la performance du système.

Suivant l'architecture des équipements TTE, il est recommandé de maintenir les équipements de secours en service et surveillés comme les équipements de service.

7 Caractéristiques et performance des répéteurs optiques sous-marins (OSR, *optical submarine repeaters*)

7.1 Caractéristiques mécaniques

7.1.1 Enceinte du répéteur

L'enceinte du répéteur doit être conçue de manière à permettre l'exploitation, la pose, le relevage et la nouvelle pose de répéteurs optiques par grands fonds sans dégradation de la performance mécanique, électrique et optique. Les enceintes mixtes doivent supporter le transfert de lourdes charges depuis le câble sous-marin via un couplage souple.

7.1.2 Unité interne

A l'intérieur de l'enceinte du répéteur, l'unité interne peut contenir plusieurs modules d'alimentation et couples d'amplificateurs OFA pour amplifier dans les deux sens le signal optique provenant d'un ou de plusieurs couples de fibres.

7.1.3 Protection contre la corrosion

L'enceinte externe du répéteur OSR doit être conçue de manière à ne pas subir de corrosion due à l'eau de mer.

7.1.4 Résistance à la pression de l'eau

Le répéteur OSR doit être conçu pour supporter de fortes pressions en eau profonde.

7.1.5 Isolement contre les hautes tensions

Il est nécessaire de prévoir un isolement contre les hautes tensions entre l'enceinte du répéteur et l'unité interne afin de garantir un fonctionnement correct du répéteur.

7.1.6 Régulation thermique

La chaleur générée par les composants électroniques à l'intérieur du répéteur OSR peut être suffisamment dissipée par conduction thermique avec l'enceinte du répéteur.

7.1.7 Etanchéité de l'enceinte du répéteur

Le répéteur doit être doté d'une protection contre les infiltrations d'eau et de gaz, à la fois directement depuis la mer environnante et depuis le câble axial en cas de fuites résultant d'une rupture du câble près du répéteur.

7.1.8 Contrôle de l'atmosphère ambiante

Pour assurer la fiabilité et le bon fonctionnement des composants, il peut être nécessaire que l'atmosphère interne soit contrôlée en ce qui concerne l'humidité relative ou tout gaz susceptible d'être généré à l'intérieur du répéteur.

7.2 Caractéristiques électriques

7.2.1 Modules de puissance

Les répéteurs OSR sont alimentés en courant constant par la station d'extrémité du terminal via le conducteur électrique du câble. Des modules de puissance alimentent les couples d'amplificateurs OFA pour assurer l'amplification optique. Les répéteurs OSR peuvent accepter les deux polarités électriques.

7.2.2 Protection contre les surtensions

Les répéteurs OSR doivent être protégés contre les surtensions pouvant résulter d'une interruption soudaine de l'alimentation haute tension du câble (rupture du câble, panne de dérivation ou court-circuit dans l'équipement de téléalimentation).

7.3 Caractéristiques optiques

7.3.1 Caractéristiques des amplificateurs OFA

Les amplificateurs OFA utilisent des fibres dopées à l'erbium (EDF, *erbium doped fibre*) pour amplifier le signal optique. La fibre EDF peut être pompée dans le sens de la propagation ou dans le sens inverse par un ou plusieurs lasers de pompage redondants. Des isolateurs optiques peuvent être inclus pour garantir une bonne stabilité contre les réflexions optiques. On peut recourir à une commande automatique de puissance (APC, *automatic power control*) pour réguler la puissance optique de sortie ou le niveau de puissance de pompage.

Il faut prévoir des fonctionnalités de surveillance pour contrôler à distance l'état et la performance des amplificateurs OFA.

7.3.2 Paramètres applicables

[UIT-T G.661] définit les paramètres génériques relatifs aux amplificateurs OFA et donne des méthodes de mesure. Plus particulièrement, pour les liaisons optiques amplifiées de systèmes SWS, WDMS ou DWDMS à grande distance, il faut prendre en considération les paramètres suivants:

- gain pour les petits signaux (SSG, *small signal gain*);
- gain nominal (NG, *nominal gain*);
- facteur de bruit (NF, *noise figure*);
- puissance nominale de sortie du signal (NSOP, *nominal signal output power*);
- puissance nominale d'entrée du signal (NSIP, *nominal signal input power*);
- facteur de compression (CF, *compression factor*).

De plus, surtout pour les systèmes WDMS et DWDMS, il faut aussi prendre en considération le paramètre suivant:

- platitude du gain (GF, *gain flatness*).

7.3.3 Effets de polarisation

Chacun des composants optiques d'un amplificateur OFA peut être choisi de sorte que sa performance soit raisonnablement insensible aux effets de polarisation tels que l'affaiblissement PDL ou la dispersion PMD, suivant les spécifications du système. D'autres effets de polarisation tels que la variation de gain PDG ou la saturation PHB sont des effets intrinsèques, qui ne peuvent être évités ou limités que par l'utilisation de fonctionnalités externes comme l'embrouillage de polarisation du signal dans l'émetteur de l'équipement TTE.

7.4 Fonctionnalités de surveillance

Il faut prévoir un système de surveillance pour contrôler, depuis la station terrestre, l'état et la performance des amplificateurs OFA. Ce système doit pouvoir fonctionner lorsque la liaison est en service sans perturber la performance du système.

7.5 Localisation des pannes

Un point de rupture de câble est généralement situé dans une partie hors service. Dans ce cas, on utilise généralement la réflectométrie OTDR, en particulier la réflectométrie COTDR est utilisée pour la localisation des pannes dans les systèmes à amplificateurs OFA à grande distance en raison de sa plus grande sensibilité et de sa meilleure sélectivité en fréquence.

Si des isolateurs optiques sont utilisés dans chaque amplificateur OFA, l'impulsion optique rétrodiffusée, qui est indispensable pour la mesure de la réflectométrie OTDR, est bloquée. Pour résoudre ce problème, une solution consiste à utiliser un trajet de retour (trajet de réflectométrie COTDR) qui ne doit pas perturber le trafic en service comme indiqué sur les Figures 5, 6 et 7. La dégradation de transmission causée par le trajet de réflectométrie COTDR doit être prise en considération dans le bilan de puissance. Lorsqu'on a recours à une telle solution, on peut implémenter des fonctionnalités de réflectométrie COTDR dans les systèmes à amplificateurs OFA pour surveiller l'état de tronçons de fibres. En outre, en cas de recours à la réflectométrie COTDR dans une partie en service de systèmes à amplificateurs OFA via un trajet de retour, cette méthode permettra de surveiller l'état du gain de chaque amplificateur OFA.

Un trajet de réflectométrie COTDR peut être implémenté de deux façons différentes à l'intérieur d'un répéteur:

- la première consiste à raccorder les deux sorties d'un couple d'amplificateurs au moyen de coupleurs optiques (voir la Figure 5);
- la seconde consiste à raccorder la sortie d'un amplificateur optique à l'entrée de l'amplificateur optique situé dans le sens opposé (voir les Figures 6 et 7).

Les deux solutions permettent d'effectuer une surveillance bidirectionnelle.

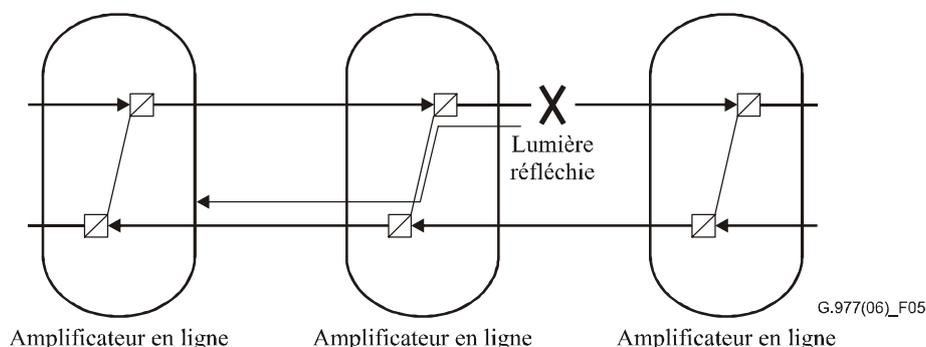


Figure 5 – Exemple de localisation de panne au moyen de la réflectométrie COTDR pour des amplificateurs OFA avec couplage sortie-sortie

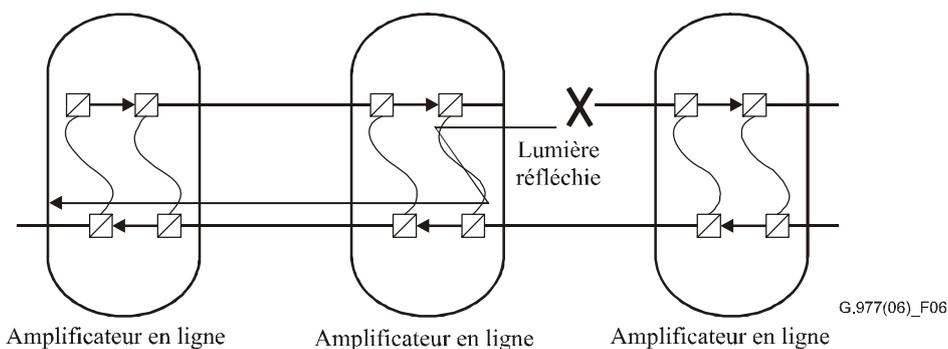


Figure 6 – Exemple de localisation de panne au moyen de la réflectométrie COTDR pour des amplificateurs OFA avec couplage sortie-entrée

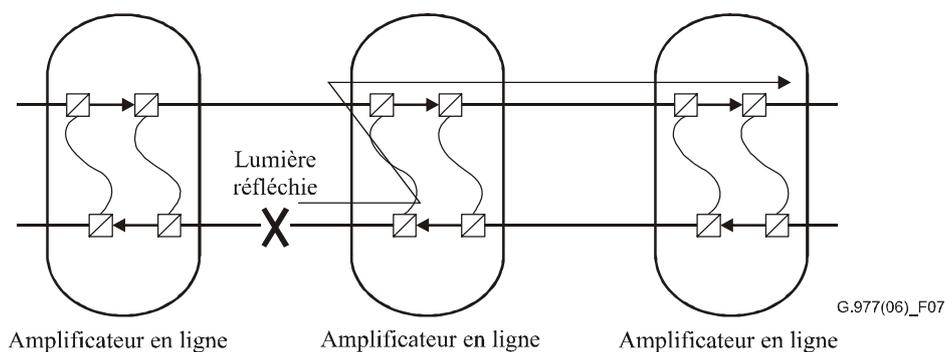


Figure 7 – Exemple de localisation de panne au moyen de la réflectométrie COTDR pour des amplificateurs OFA avec couplage sortie-entrée

7.6 Fiabilité

Tous les composants des répéteurs doivent faire l'objet d'une qualification et de tests de durée de vie afin de garantir que les exigences de fiabilité sont respectées.

8 Caractéristiques et performance de l'unité de dérivation (BU, *branching unit*) en ligne

8.1 Généralités

Les systèmes de câbles sous-marins à fibres optiques peuvent utiliser une unité de dérivation lorsque plusieurs points d'atterrissage sont nécessaires. Une unité de dérivation est conçue pour terminer trois câbles de ligne. L'une des terminaisons – la terminaison de dérivation – permet d'extraire une partie du trafic provenant des deux autres terminaisons appelées terminaisons de circuit. Il peut exister différents types d'unité de dérivation pour répondre à des besoins particuliers suivant la configuration du système.

En ce sens, une unité de dérivation peut offrir:

- i) des fonctions d'extraction de toutes les fibres pour les systèmes SWS;
- ii) des fonctions d'extraction de toutes les fibres et/ou des fonctions d'insertion/extraction sur multiplex WDM pour les systèmes WDMS.

L'amplification optique ainsi que d'autres fonctionnalités (commutation de puissance, système de surveillance, commande automatique de gain, filtrage optique, couplage pour la réflectométrie COTDR, etc.) peuvent être fournies.

8.2 Caractéristiques mécaniques

8.2.1 Enceinte de l'unité de dérivation

L'enceinte mécanique de l'unité de dérivation comporte trois entrées de câble et une terre reliée à la mer. Elle doit être conçue de manière à permettre l'exploitation, la pose, le relevage et la nouvelle pose de l'unité de dérivation par grands fonds sans dégradation de la performance mécanique, électrique et optique. Les enceintes mixtes doivent supporter le transfert de lourdes charges depuis le câble sous-marin via un couplage souple.

A l'intérieur de l'enceinte de l'unité de dérivation, l'unité interne peut contenir des circuits de commutation de puissance et des amplificateurs OFA pour amplifier le signal optique provenant d'un ou de plusieurs couples de fibres. Elle peut aussi contenir des modules d'insertion/extraction pour assurer les fonctions de multiplexage et de démultiplexage de longueurs d'onde.

8.2.2 Protection contre la corrosion

Il faut prévoir une protection afin d'éviter la corrosion de l'unité de dérivation par l'eau de mer.

8.2.3 Résistance à la pression de l'eau

L'unité de dérivation doit être conçue pour supporter de fortes pressions.

8.2.4 Isolement contre les hautes tensions

Un isolement contre les hautes tensions est nécessaire entre l'enceinte de l'unité de dérivation et l'unité interne afin de garantir un fonctionnement correct de l'unité de dérivation.

8.2.5 Régulation thermique

La chaleur générée par les composants électroniques à l'intérieur de l'unité de dérivation peut être suffisamment dissipée par conduction thermique avec l'enceinte de l'unité de dérivation.

8.2.6 Etanchéité de l'enceinte de l'unité de dérivation

L'unité de dérivation doit être dotée d'une protection contre les infiltrations d'eau et de gaz, à la fois directement depuis la mer environnante et depuis le câble axial en cas de fuites résultant d'une rupture du câble près de l'unité de dérivation.

8.2.7 Contrôle de l'atmosphère ambiante

Pour assurer la fiabilité et le bon fonctionnement des composants, il peut être nécessaire que l'atmosphère interne soit contrôlée en ce qui concerne l'humidité relative ou tout gaz susceptible d'être généré à l'intérieur de l'unité de dérivation.

8.3 Caractéristiques électriques

8.3.1 Electrode de mer

Une électrode de mer permettra de raccorder une ou plusieurs des trois terminaisons de câble au potentiel de la mer.

8.3.2 Commutation de puissance

Deux câbles entrants quelconques avec conducteurs d'alimentation peuvent être raccordés ensemble et isolés de l'électrode de mer de l'unité de dérivation à laquelle le troisième câble est raccordé. Différentes configurations sont possibles pour assurer la récupération du trafic dans certains cas de défaillance d'équipement de téléalimentation ou de rupture de câble.

En cas de panne dans un segment de réseau sous-marin utilisant des unités de dérivation, le système et en particulier les circuits de commutation de puissance électrique de l'unité de dérivation doivent avoir la capacité de récupérer le trafic dans tous les autres segments, soit en présence de cette panne soit pendant la réparation.

8.3.3 Modules de puissance

L'unité de dérivation est alimentée en courant constant par la station d'extrémité du terminal via le conducteur électrique du câble. Si cela est applicable, des modules de puissance alimentent les couples d'amplificateurs OFA pour assurer l'amplification optique. Les unités de dérivation peuvent accepter les deux polarités électriques.

8.3.4 Protection contre les surtensions

Les unités de dérivation doivent être protégées contre les surtensions pouvant résulter d'une interruption soudaine de l'alimentation haute tension du câble (rupture du câble ou court-circuit dans l'équipement de téléalimentation).

8.4 Caractéristiques optiques

8.4.1 Fonctionnalités

Une unité de dérivation peut être une unité FFD-BU ou une unité WDM-BU ou un mélange des deux. Dans tous les cas, les fonctionnalités de l'unité de dérivation peuvent garantir autant que possible l'indépendance des tronçons DLS afin d'éviter qu'une défaillance se produisant sur un canal LOC perturbe les autres. Dans le cas d'une unité WDM-BU, des composants optiques spécifiques peuvent assurer les fonctions de multiplexage et de démultiplexage.

8.4.2 Paramètres applicables

Lorsqu'une unité de dérivation contient des amplificateurs optiques, les paramètres optiques définis pour les répéteurs OSR doivent s'appliquer. En outre, il faut caractériser entièrement les modules d'insertion/extraction.

8.4.3 Effets de polarisation

Chacun des composants optiques d'une unité de dérivation peut être choisi de sorte que sa performance soit raisonnablement insensible aux effets de polarisation tels que l'affaiblissement PDL ou la dispersion PMD. D'autres effets de polarisation tels que la variation de gain PDG ou la saturation PHB sont des effets intrinsèques des amplificateurs OFA éventuellement contenus dans l'unité de dérivation et ne peuvent être évités ou limités que par l'utilisation de fonctionnalités externes comme l'embrouillage de polarisation du signal dans l'émetteur de l'équipement TTE.

8.5 Fonctionnalités de surveillance

Il faut prévoir un système de surveillance pour contrôler, depuis la station terrestre, l'état et la performance de l'unité de dérivation. Ce système doit pouvoir fonctionner lorsque la liaison est en service sans perturber la performance du système.

8.6 Localisation des pannes

La localisation des pannes dans les systèmes comprenant une unité de dérivation peut généralement se faire au moyen de la réflectométrie COTDR. Lorsqu'une unité de dérivation comporte une fonction d'extraction de toutes les fibres, la réflectométrie COTDR permet de localiser directement une panne à l'intérieur de l'unité de dérivation ou au-delà de celle-ci. Lorsqu'une unité de dérivation comporte une fonction d'insertion/extraction sur multiplex WDM, la réflectométrie COTDR avec une source réglable en longueur d'onde permet de surveiller une ligne principale et une ligne en dérivation de manière indépendante en positionnant la longueur d'onde de la source sur la longueur d'onde de transmission de chaque ligne. Si un amplificateur OFA est inclus dans l'unité de dérivation, un trajet de retour tel que décrit au § 7.5 peut être appliqué en vue de la localisation des pannes au-delà de l'amplificateur OFA.

8.7 Fiabilité

Tous les composants de l'unité de dérivation doivent faire l'objet d'une qualification et de tests de durée de vie afin de garantir que les exigences de fiabilité sont respectées.

9 Caractéristiques et performance de l'égaliseur optique sous-marin (OSE, *optical submarine equalizer*)

Les systèmes de câbles optiques sous-marins WDM et DWDM peuvent utiliser des égaliseurs optiques sous-marins (OSE) dans le tronçon de ligne numérique du système (SDLS) pour satisfaire aux spécifications de performance de tous les canaux. La conception des modules d'égalisation est propre à chaque système en câble sous-marin. Elle dépend essentiellement des caractéristiques du tronçon SDLS et de la température de la mer.

Il peut exister deux types distincts d'égaliseurs OSE:

- a) l'égaliseur de profil de gain;
- b) l'égaliseur d'inclinaison ou de pente.

Une égalisation réglable ainsi que d'autres fonctionnalités (fonction de contrôle de puissance et système de surveillance) peuvent également être fournies.

9.1 Caractéristiques mécaniques

9.1.1 Enceinte de l'égaliseur sous-marin de gain

L'enceinte de l'égaliseur OSE doit être conçue de manière à permettre l'exploitation, la pose, le relevage et la nouvelle pose d'égaliseurs par grands fonds sans dégradation de la performance mécanique, électrique et optique.

9.1.2 Unité interne

A l'intérieur de l'enceinte de l'égaliseur OSE, l'unité interne peut contenir plusieurs modules d'égalisation propres à chaque sens du signal optique provenant d'un ou de plusieurs couples de fibres.

9.1.3 Protection contre la corrosion

L'enceinte externe de l'égaliseur OSE doit être conçue de manière à ne pas subir de corrosion due à l'eau de mer.

9.1.4 Résistance à la pression de l'eau

L'égaliseur OSE doit être conçu pour supporter de fortes pressions en eau profonde.

9.1.5 Isolement contre les hautes tensions

Il est nécessaire de prévoir un isolement contre les hautes tensions entre l'enceinte de l'égaliseur OSE et l'unité interne afin de garantir un fonctionnement correct de l'égaliseur.

9.1.6 Régulation thermique

La chaleur générée par les composants électroniques à l'intérieur de l'égaliseur OSE (en particulier dans le cas d'un égaliseur réglable) peut être suffisamment dissipée par conduction thermique avec l'enceinte de l'égaliseur OSE.

9.1.7 Etanchéité de l'enceinte de l'égaliseur OSE

L'égaliseur OSE doit être doté d'une protection contre les infiltrations d'eau et de gaz, à la fois directement depuis la mer environnante et depuis le câble axial en cas de fuites résultant d'une rupture du câble près de l'égaliseur OSE.

9.1.8 Contrôle de l'atmosphère ambiante

Pour assurer la fiabilité et le bon fonctionnement des composants, il peut être nécessaire que l'atmosphère interne soit contrôlée en ce qui concerne l'humidité relative ou tout gaz susceptible d'être généré à l'intérieur de l'égaliseur OSE.

9.2 Caractéristiques électriques (pour égaliseurs OSE réglables seulement)

9.2.1 Modules de puissance

Les égaliseurs OSE réglables sont alimentés en courant constant par la station d'extrémité du terminal via le conducteur électrique du câble. Des modules de puissance alimentent les modules d'égalisation réglables pour assurer le profil de gain optique requis. L'égaliseur OSE peut accepter les deux polarités électriques.

9.2.2 Protection contre les surtensions

Les égaliseurs OSE réglables doivent être protégés contre les surtensions pouvant résulter d'une interruption soudaine de l'alimentation haute tension du câble (rupture du câble, panne de dérivation ou court-circuit dans l'équipement de téléalimentation).

9.3 Caractéristiques optiques

9.3.1 Fonctionnalités

Chaque module d'égalisation réalise un filtrage optique sur le spectre WDM pour égaliser l'ondulation et/ou inclinaison résiduelle de gain/longueur d'onde qui s'accumule lorsque le signal optique est transmis par une chaîne de répéteurs optiques sous-marins. Des fonctionnalités réglables peuvent être ajoutées afin de rectifier la réponse de la fonction de filtrage du module d'égalisation. Dans ce cas, il faut prévoir des fonctionnalités de surveillance pour contrôler à distance l'état de ces égaliseurs OSE réglables.

9.3.2 Paramètres applicables

La spécification optique des modules d'égalisation sous-marins doit être complétée par des études ultérieures.

9.3.3 Effets de polarisation

Chacun des composants optiques d'un égaliseur OSE peut être choisi de sorte que sa performance soit raisonnablement insensible aux effets de polarisation tels que l'affaiblissement PDL ou la dispersion PMD.

9.4 Fonctionnalités de surveillance

Il faut prévoir un système de surveillance pour contrôler, depuis la station terrestre, l'état des égaliseurs OSE réglables. Ce système doit pouvoir fonctionner lorsque la liaison est en service sans perturber la performance du système.

9.5 Fiabilité

Tous les composants des égaliseurs OSE doivent faire l'objet d'une qualification et de tests de durée de vie afin de garantir que les exigences de fiabilité sont respectées.

10 Caractéristiques et performance du câble sous-marin

Les valeurs recommandées des caractéristiques et de la performance du câble sous-marin sont indiquées dans [UIT-T G.978].

10.1 Carte de la dispersion

La carte de la dispersion est le principal outil permettant de décrire les caractéristiques de dispersion chromatique d'un système. La dispersion cumulative est définie comme étant la dispersion mesurée entre la sortie de l'émetteur du terminal et un autre point quelconque sur le trajet optique; la carte de dispersion représente la dispersion chromatique locale, pour une longueur d'onde de fonctionnement donnée, en fonction de la distance entre l'émetteur optique et le récepteur optique. La carte de dispersion dépendra principalement du type de système utilisé (SWS, WDMS ou DWDMS).

Pour un système SWS, on utilise généralement les fibres à dispersion chromatique de valeur faiblement négative proche de zéro mais non nulle le long de la liaison correspondant aux tronçons principaux, et les fibres à dispersion chromatique de valeur positive élevée pour la liaison correspondant à quelques tronçons à compensation de dispersion. Le but de cette gestion est de maintenir la dispersion cumulative de l'ensemble de la liaison à une valeur proche de zéro tout en maintenant la dispersion chromatique locale à une valeur non nulle.

Pour un système WDMS, on utilise généralement les fibres à dispersion chromatique de valeur faiblement négative mais éloignée de zéro (de l'ordre de -2 ps/nm.km) pour la plupart des tronçons (on peut parfois utiliser deux types de fibre: au début du tronçon, des fibres de grande surface effective et à la fin du tronçon, des fibres à faible pente) alors que l'on utilise généralement des fibres à dispersion chromatique de valeur positive élevée pour les tronçons à compensation de dispersion. Le but de cette gestion est de maintenir la dispersion cumulative de l'ensemble de la liaison à une valeur proche de zéro tout en maintenant la dispersion chromatique locale à une valeur élevée et non nulle, afin de limiter le mélange de quatre ondes et la modulation de phase croisée.

Pour un système DWDMS à 10 Gbit/s, on utilise généralement les fibres à dispersion chromatique élevée le long de la liaison pour tous les tronçons. Une partie du tronçon est généralement à dispersion positive avec pente positive (en principe, sur une très grande surface effective) et l'autre partie est à dispersion négative avec pente négative (en principe, sur une très petite surface effective). Le but de cette gestion est de maintenir la dispersion cumulative dans chaque tronçon à une valeur proche de zéro, pour toutes les longueurs d'onde, tout en maintenant la dispersion chromatique locale à une valeur très élevée, afin de limiter la modulation de phase croisée.

10.2 Implémentation d'une gestion de la dispersion

La carte de dispersion pour chaque tronçon optique doit respecter les exigences de transmission (limitation des effets non linéaires, de l'étalement de l'impulsion).

On peut, pour chaque longueur d'onde, compenser la dispersion cumulative résiduelle en utilisant une certaine longueur de fibre d'égalisation ou d'autres dispositifs passifs de compensation de la dispersion du côté émission (précompensation) et/ou du côté réception (postcompensation) dans l'équipement TTE. La compensation se fait généralement à l'extrémité réception uniquement pour un système SWS et aux extrémités émission et réception pour un système WDMS ou DWDMS.

Le concepteur du système doit tenir compte de toutes les causes de variation par rapport à la carte de dispersion prévue, tant aléatoires que systématiques, y compris (liste non exhaustive):

- l'incertitude en ce qui concerne les mesures de la longueur d'onde correspondant à la dispersion nulle, la dispersion et la pente de dispersion des fibres monomodes constituant et EDF, etc.;
- l'incertitude en ce qui concerne la température, la pression et les coefficients de contrainte de ces fibres dans le câble et dans les appareils sous pression;
- l'incertitude en ce qui concerne la température et la contrainte exactes de ces fibres pendant les mesures de dispersion;
- l'incertitude en ce qui concerne la température de la fibre installée;
- l'incertitude résultant du réarrangement et du choix "aléatoire" de sous-ensembles de fibres dans l'assemblage de tronçons de câble élémentaires;
- le vieillissement;
- les réparations.

Annexe A

Implémentation de systèmes de câbles optiques sous-marins avec répéteurs utilisant des amplificateurs à fibres optiques

(Cette annexe fait partie intégrante de la présente Recommandation)

A.1 Introduction

La présente annexe porte sur divers aspects des pratiques couramment employées concernant les systèmes de câbles sous-marins utilisant des amplificateurs optiques. Elle traite de l'implémentation de systèmes SWS, WDMS et DWDMS.

Les informations données dans la présente annexe sont des indications concernant les pratiques actuelles et n'ont pas pour but de donner des recommandations relatives aux systèmes existants ou futurs.

A.2 Configuration du système

A.2.1 Constituants d'un système de câbles optiques sous-marins avec répéteurs

Un système de câbles optiques sous-marins est destiné à établir des liaisons de transmission entre deux stations terminales ou davantage. Lorsque le système ne raccorde que deux stations terminales, il peut être désigné par liaison de transmission par câble optique sous-marin. Dans les autres cas, il peut être désigné par réseau de transmission par câble optique sous-marin.

La Figure A.1 illustre le concept de base des systèmes de câbles optiques sous-marins et les limites. On peut inclure des répéteurs sous-marins optiques, des unités de dérivation optiques sous-marines et/ou des égaliseurs optiques sous-marins, en fonction des spécifications de chaque système.

Dans la Figure A.1, A désigne les interfaces système dans la station terminale (où le système est raccordé à des liaisons numériques terrestres ou à d'autres systèmes de câbles sous-marins) et B désigne les jonctions littorales ou les points d'atterrissement. Les lettres figurant entre parenthèses dans les paragraphes qui suivent renvoient à la Figure A.1.

Un système de câbles optiques sous-marins comprend:

- une partie terrestre, entre l'interface système dans la station terminale (A) et la jonction littorale ou le point d'atterrissement (B), qui inclut le câble terrestre à fibres optiques, les jonctions terrestres et les équipements terminaux du système;
- une partie sous-marine au fond de la mer, entre les jonctions littorales ou les points d'atterrissement (B), qui inclut le câble optique sous-marin et, lorsque c'est nécessaire, des équipements sous-marins, c'est-à-dire un ou plusieurs répéteurs optiques sous-marins, une ou plusieurs unités de dérivation, un ou plusieurs égaliseurs optiques sous-marins et un ou plusieurs boîtiers de raccordement de câbles.

Le câble contient un ou plusieurs couples de fibres optiques (un couple de fibres optiques sert à établir la transmission dans les deux sens).

Le câble optique sous-marin est protégé selon les besoins: il existe différents types de câble caractérisés par leur structure mécanique (câble léger, câble protégé léger, câble armé léger, câble à simple armure, câble à double armure, câble superarmé, etc.).

Le câble terrestre à fibres optiques nécessite aussi une protection. En particulier, c'est lui qui achemine le courant d'alimentation des répéteurs OSR et des unités de dérivation et, dans ces conditions, il peut exister une grande différence de potentiel entre le conducteur du câble et le sol, de sorte qu'il est nécessaire d'assurer une protection des personnes.

Les répéteurs optiques sous-marins incluent des amplificateurs optiques qui sont conçus pour accepter un signal optique entrant situé dans un intervalle donné et pour l'amplifier de sorte que le signal optique de sortie soit situé dans un autre intervalle donné. Les répéteurs incluent également des unités permettant d'assurer des fonctions de surveillance, de protection et d'alimentation. Ces circuits constituent l'unité électronique du répéteur et sont contenus dans l'enceinte du répéteur, qui est étanche et résistante à la pression.

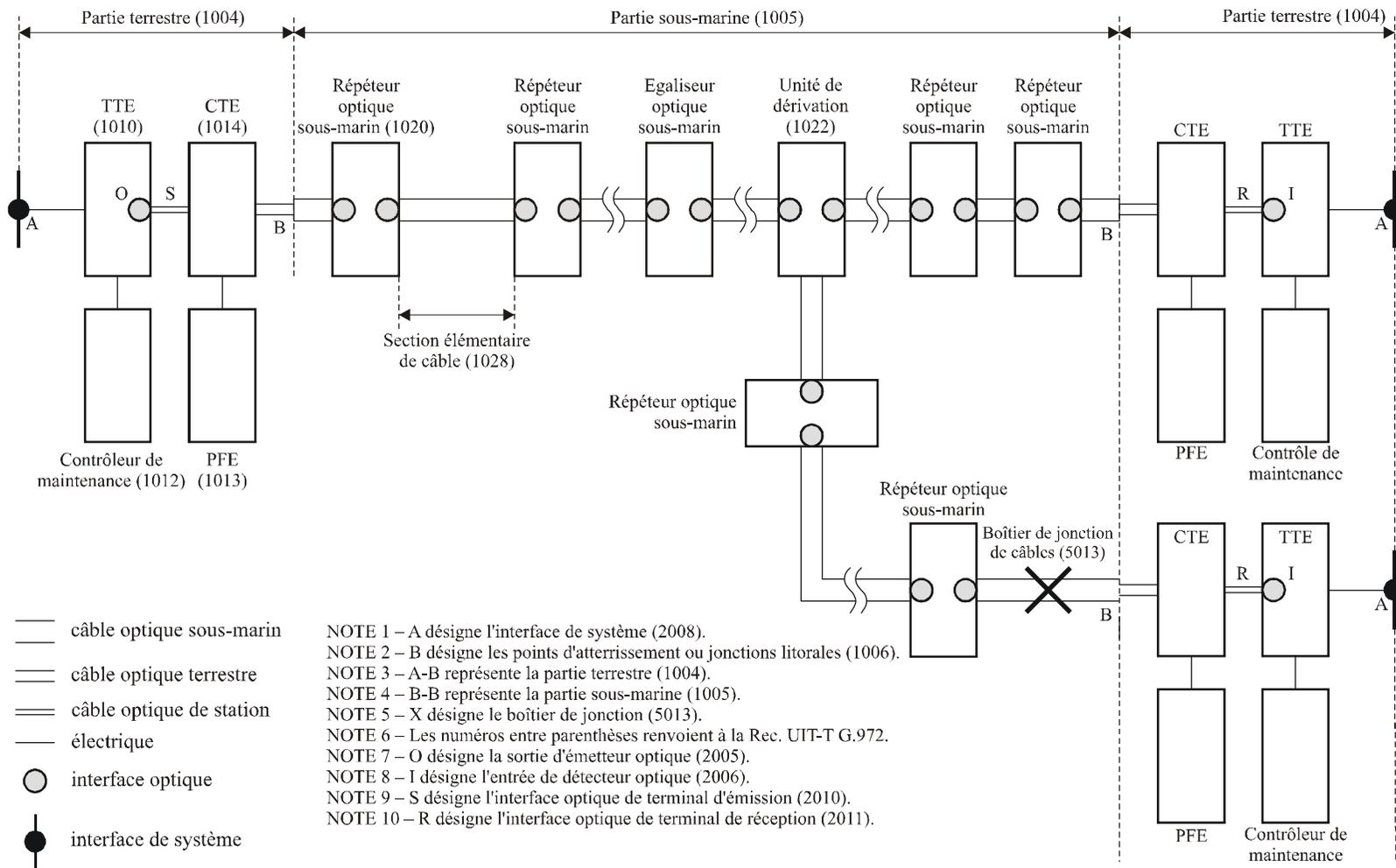


Figure A.1 – Exemple de système de câble optique sous-marin avec répéteurs

Une unité de dérivation optique sous-marine est insérée dans la partie sous-marine d'un réseau de transmission par câble sous-marin à fibres optiques lorsqu'il faut interconnecter plus de deux tronçons de câble. Conformément aux spécifications du réseau, cet équipement peut comprendre tout ou partie des sous-assemblages suivants: une connexion directe des fibres, une unité de commutation de fibres, un amplificateur optique pour chaque fibre et une unité de commutation du trajet d'alimentation. En outre, l'unité de dérivation peut fournir aux systèmes WDMS une fonctionnalité d'échange de signaux entre les trajets de signaux optiques; elle est alors appelée unité WDM-BU.

Un égaliseur optique sous-marin (OSE) peut être inséré dans la partie sous-marine d'un câble optique sous-marin afin d'atténuer l'hétérogénéité de gain cumulée lorsque la capacité de préaccentuation de l'équipement TTE du côté émission n'est pas suffisante pour satisfaire aux spécifications de performance de tous les canaux WDM. Cet équipement peut comporter différents types d'unités d'égalisation en fonction du profil du signal WDM d'entrée: égaliseur de profil pour la correction d'ondulation spectrale et/ou égaliseur d'inclinaison (ou de pente) pour compenser les inclinaisons. Par ailleurs, des égalisations réglables ainsi que d'autres fonctionnalités (fonction de contrôle de puissance et système de surveillance) peuvent également être fournies.

A.2.2 Configuration de transmission

La configuration de transmission caractérise le flux d'informations entre les stations terminales du système de câbles sous-marins à fibres optiques.

La trame de ligne et le débit de ligne résultent des opérations de multiplexage et de codage exécutées par l'équipement TTE, compte tenu de l'inclusion des canaux de service et de surveillance. Le code de ligne est choisi de manière à répondre au mieux aux exigences du système.

Un tronçon de câble à fibres optiques peut contenir un certain nombre de couples de fibres optiques, chaque couple pouvant servir de support à un certain nombre de tronçons de ligne numérique. Le nombre de tronçons de ligne numérique contenus dans un tronçon de câble à fibres optiques est donné par le produit de ces deux nombres.

Les tronçons de ligne numériques ayant pour support le même couple de fibres optiques suivent ce couple dans les répéteurs et les unités de dérivation. Ils peuvent être séparés entre différents couples de fibres lors du passage dans un multiplexeur de dérivation sous-marin.

A.2.3 Surveillance et télémaintenance du système

Le contrôleur de surveillance et de maintenance situé dans le terminal, en association avec l'unité de surveillance des répéteurs (ou des unités de dérivation), assure normalement la localisation des pannes, la surveillance de la performance des répéteurs et la télécommutation sur élément redondant.

Les fonctionnalités de surveillance incluent généralement une ou plusieurs des fonctionnalités suivantes:

- fourniture, en service, d'informations suffisantes pour permettre une maintenance préventive, en particulier si des éléments redondants commutables sont prévus;
- fonctionnalités complémentaires de surveillance du système ou de localisation des pannes hors service via un bouclage télécommandé depuis des terminaux appropriés;
- indication d'une panne imminente dans l'équipement en service, de manière à pouvoir entreprendre ou planifier une mesure préventive;
- fonctionnalités permettant de localiser les pannes sévères et les pannes intermittentes de durée et de fréquence telles qu'elles causent une défaillance du système, afin de respecter les spécifications de qualité de fonctionnement.

D'autres fonctionnalités, par exemple la réflectométrie COTDR si les répéteurs OSR et les unités de dérivation sont équipés d'un mécanisme de bouclage, et des mesures électriques au moyen d'équipements installés dans les stations terminales ou à bord du navire câblé peuvent permettre d'améliorer la précision de la localisation des pannes.

La surveillance du système peut être facilitée si des équipements informatisés sont installés à l'une ou l'autre des extrémités ou aux deux.

A.2.4 Intégration de systèmes

Une liaison ou un réseau de transmission par câble sous-marin à fibres optiques peut être construit à partir de deux systèmes sous-marins à fibres optiques ou davantage (c'est-à-dire à partir d'ensembles d'équipements – câble, répéteur, équipement terminal, unité de dérivation, égaliseur optique sous-marin, etc.) conçus de manière indépendante par différents fournisseurs.

Pour intégrer le réseau sous-marin à fibres optiques, il faut garantir la compatibilité de ces systèmes. C'est l'objet de la spécification d'intégration.

A.3 Performance du système

A.3.1 Bilan de puissance

Les tableaux de bilan de puissance doivent permettre de calculer les marges qu'il faut considérer comme correspondant à une spécification minimale pour le système en début de vie. Ces marges doivent être exprimées sous la forme d'une valeur du facteur Q. Les fournisseurs doivent indiquer, au minimum, les valeurs des paramètres servant à calculer le bilan de puissance et spécifier toutes les informations complémentaires nécessaires, par exemple l'utilisation d'un embrouillage de polarisation optique ou d'une modulation de phase pour minimiser les effets de polarisation ou les effets non linéaires.

Un exemple de tableau de bilan de puissance est donné dans le Tableau A.1.

Tableau A.1 – Exemple de tableau de bilan de puissance

	Paramètre	Q (en dB) en début de vie	Q (en dB) en fin de vie
1	Valeur moyenne du facteur Q (à partir d'un calcul simple du rapport signal/bruit)		
1.1	Dégradations de propagation dues aux effets combinés de la dispersion chromatique, des effets non linéaires, des effets du mélange de quatre ondes, des effets de diffusion Raman stimulée, etc.		
1.2	Dégradations liées à la platitude du gain		
1.3	Dégradations liées à la préaccentuation optique non optimale		
1.4	Dégradations liées à la tolérance de longueur d'onde		
1.5	Dégradations moyennes liées à l'affaiblissement PDL		
1.6	Dégradations moyennes liées à la variation de gain PDG		
1.7	Dégradations moyennes liées à la dispersion PMD		
1.8	Dégradations liées à la surveillance		
1.9	Dégradations liées à la fabrication et à l'environnement		
2	Performance du système variable dans le temps (règle de 5 sigma)		
3	Valeur du facteur Q de ligne (1-1.1 à 1.9-2)		
4	Valeur spécifiée du facteur Q de l'équipement TTE (boucle)		

Tableau A.1 – Exemple de tableau de bilan de puissance

	Paramètre	Q (en dB) en début de vie	Q (en dB) en fin de vie
5	Valeur du facteur Q pour un segment (calculée à partir de 3 et 4)		
5.1	Taux BER correspondant au facteur Q pour un segment sans correction FEC		
5.2	Taux BER correspondant au facteur Q pour un segment avec correction FEC		
5.3	Valeur effective du facteur Q pour un segment avec correction FEC		
6	Limite du facteur Q pour la conformité à la Rec. UIT-T G.826 après FEC		
7	Marges pour les réparations Dégradations dues au vieillissement des composants et des fibres Dégradations dues à une défaillance de la ou des pompes Seuil de décision non optimal		
8	Marges pour un segment		
9	Marge du fournisseur non attribuée		
10	Limite pour la mise en service		

Le Tableau A.1 doit être rempli comme suit:

- Ligne 1: valeur moyenne du facteur Q (calcul simple du rapport signal/bruit). (Il existe deux formules différentes: simple accumulation de bruit avec puissance constante du signal ou puissance totale de sortie avec ou sans taux d'extinction, etc. Des exemples de calcul sont donnés dans [b-UIT-T G.Sup.41].)
- Les lignes 1.1 à 1.9 donnent une liste non exhaustive de sources de dégradation qui ont une incidence sur la performance du système. Ces dégradations doivent être déduites de la ligne 1.
- Ligne 2: performance du système variable dans le temps:
cette ligne définit une autre dégradation due aux phénomènes de fluctuation de polarisation qui diminuent la performance moyenne.
- Ligne 3: valeur du facteur Q de ligne:
cette ligne donne la valeur du facteur Q de ligne. C'est le résultat de l'opération suivante:
ligne 3 = Ligne 1 (lignes 1.1 à 1.9) – ligne 2.
- Ligne 4: valeur spécifiée du facteur Q de boucle de l'équipement TTE:
cette ligne donne le facteur Q en début de vie et en fin de vie;
- Ligne 5: valeur du facteur Q pour un segment:
cette ligne donne le facteur Q pour un segment calculé à partir des lignes 3 et 4 en utilisant la formule suivante:

$$\frac{1}{Q^2_{segment}} = \frac{1}{Q^2_{ligne}} + \frac{1}{Q^2_{TTEboucle}}$$
- Ligne 5.1: taux BER correspondant au facteur Q pour un segment sans correction FEC:
ligne 5 convertie en taux d'erreurs sur les bits (BER) avant correction d'erreur directe.

- Ligne 5.2: taux BER correspondant au facteur Q pour un segment avec correction FEC: taux BER après correction FEC;
- Ligne 5.3: valeur effective du facteur Q pour un segment avec correction FEC: ligne 5.2 convertie en facteur Q.
- Ligne 6: limite du facteur Q pour la conformité à la Rec. UIT-T G.826 après correction FEC: facteur Q correspondant au taux d'erreurs sur les bits le plus élevé qui puisse être attribué avant correction FEC. Par exemple, 11,2 dB correspond à un taux BER de $2,4 \times 10^{-4}$. Un taux BER de $2,4 \times 10^{-4}$ est converti par correction FEC de première génération définie dans [UIT-T G.975] en un taux BER meilleur que 10^{-11} . Un facteur Q de 11,2 dB couvre donc toutes les longueurs de tronçon DLS pour les corrections FEC de première génération. Avec des systèmes de correction FEC évolués, définis dans [UIT-T G.975.1], un taux BER de 10^{-3} est converti en un taux BER meilleur que 10^{-13} après correction.
- Ligne 7: réparations, vieillissement et défaillances de pompe: la ligne 7 est donnée par la ligne 5 (début de vie) moins la ligne 5 (fin de vie).
- Ligne 8: marges pour un segment: ligne 8 (fin de vie): les marges pour un segment sont généralement de 1 dB (valeur fournisseur) en fin de vie; la ligne 8 (début de vie) est donnée par la ligne 7 plus la ligne 8 (fin de vie).
- Ligne 9: marge du fournisseur non attribuée: c'est la marge pour les autres dégradations et les dégradations inconnues;
- Ligne 10: limite pour la mise en service: cette ligne donne la limite contractuelle du facteur Q pour la mise en service de chaque tronçon DLS.

A.3.2 Performance des tronçons de ligne numérique

La performance de chaque tronçon de ligne numérique doit au moins être conforme à la [UIT-T G.826].

A.4 Exploitation du système

A.4.1 Communication de terminal à terminal

Généralement, au moins deux canaux de service sont établis entre deux stations terminales: l'un via le système de câbles sous-marins à fibres optiques pour l'exploitation et la maintenance du système, l'autre via des installations externes ou un autre trajet pour les systèmes de réseau en anneau pour le maintien de la communication entre les deux stations terminales en cas de panne du système.

En particulier, un canal de service sert normalement:

- à transmettre des messages de terminal à terminal entre les équipements de surveillance des stations terminales correspondantes;
- à fournir des informations sur l'état du système et des tronçons de ligne numérique;
- à fournir des informations sur les activités de surveillance en cours afin de contribuer à la surveillance globale du système;
- à fournir des informations sur la localisation des pannes.

Un canal d'ordre peut être établi entre les stations terminales pour l'échange de trafic de télécommunication entre le personnel des stations terminales.

A.4.2 Fonction et caractéristiques de l'équipement de téléalimentation

A.4.2.1 Condition normale de fonctionnement de l'équipement de téléalimentation

L'équipement de téléalimentation fournit, via le conducteur d'alimentation du câble avec retour par la mer, un courant électrique stabilisé pour alimenter les circuits électriques du ou des répéteurs optiques sous-marins et de la ou des unités de dérivation optiques sous-marines. Ce courant est généralement réglable et décroît légèrement en fonction de la charge résistive de l'équipement de téléalimentation.

Les variations temporelles du courant de l'équipement de téléalimentation, pouvant résulter de variations de la température ambiante dans un certain intervalle, de variations et de transitoires de tension de la source d'énergie ou d'une commutation sur élément redondant dans l'équipement de téléalimentation, sont maintenues dans un intervalle donné. La définition de la stabilité du courant de l'équipement de téléalimentation est telle que les exigences globales de stabilité du système de câbles sous-marins à fibres optiques sont respectées. La stabilité du courant de l'équipement de téléalimentation est généralement exprimée sous la forme d'un pourcentage par rapport au courant nominal de l'équipement de téléalimentation.

La tension de sortie de l'équipement de téléalimentation est ajustée automatiquement de manière à maintenir constant le courant de l'équipement de téléalimentation en présence de tensions induites naturellement. On considère généralement que ces tensions induites naturellement s'accumulant le long d'une liaison peuvent atteindre une valeur de 0,3 V/km (est-ouest) et qu'elles varient lentement dans le temps (moins de 10 V/s).

A.4.2.2 Protection du système

L'équipement de téléalimentation est normalement doté de fonctionnalités destinées à protéger l'équipement lui-même et la partie sous-marine contre un courant excessif ou une tension excessive en cas de panne électrique survenant dans l'équipement de téléalimentation ou n'importe où dans le système.

En particulier, une protection de terre de l'équipement de téléalimentation est prévue pour diriger automatiquement le courant d'alimentation vers la terre de la station en cas de déconnexion de l'électrode d'alimentation du système ou si la différence de potentiel entre l'électrode et la terre de la station devient excessive. Ce dispositif est destiné à éviter toute interruption du système de câbles sous-marins à fibres optiques et toute montée du potentiel de terre de l'équipement de téléalimentation de nature à endommager l'équipement ou à mettre en danger le personnel.

A.4.2.3 Protection du personnel au niveau de l'équipement de téléalimentation

Une protection du personnel au niveau de l'équipement de téléalimentation est prévue afin d'éviter que le personnel soit en contact avec des potentiels dangereux, qu'ils soient générés à l'extrémité proche ou à l'extrémité distante du système de câbles sous-marins à fibres optiques. L'équipement de protection permet notamment d'effectuer un verrouillage au niveau de l'équipement de terminaison de câble ou d'effectuer un arrêt d'urgence au niveau de l'équipement de téléalimentation et contient des dispositifs de mise à la terre permettant de décharger vers la terre le conducteur d'alimentation du câble avant toute manipulation.

A.5 Caractéristiques du répéteur optique sous-marin (OSR), de l'unité de dérivation (BU) et de l'égaliseur optique sous-marin (OSE)

A.5.1 Généralités

Les répéteurs OSR, les unités de dérivation et les égaliseurs OSE peuvent être exploités conformément aux recommandations relatives à la performance du système au cours de sa durée de vie nominale et dans les conditions environnementales sous-marines (température, pression, etc.).

Les répéteurs OSR, les unités de dérivation et les égaliseurs OSE sont conçus pour pouvoir être manipulés (c'est-à-dire posés, relevés et reposés) sans dégradation de la performance du câble, des boîtiers de raccordement des câbles, des répéteurs, des unités de dérivation et des terminaisons de câble, sous réserve que les spécifications de manipulation soient respectées.

Les répéteurs OSR, les unités de dérivation et les égaliseurs OSE sont conçus pour être transportés et stockés dans des conditions de température données sans affecter la durée de vie nominale du système, sous réserve que les spécifications de stockage et de transport soient respectées.

Les répéteurs OSR, les unités de dérivation et les égaliseurs OSE peuvent être exploités à bord d'un navire câblé pendant les opérations de pose et de réparation sans affecter la durée de vie nominale du système.

La taille des répéteurs OSR, des unités de dérivation et des égaliseurs OSE est telle qu'ils peuvent être manipulés par des équipements appropriés de navire câblé.

L'interface d'entrée optique du répéteur (point R) sur chaque fibre entrante est définie à l'endroit de l'épissure de la fibre entre le répéteur et le câble.

L'interface de sortie optique du répéteur (point S) sur chaque fibre sortante est définie à l'endroit de l'épissure de la fibre entre le répéteur et le câble.

A.5.2 Constituants d'un répéteur OSR (d'une unité de dérivation ou d'un égaliseur OSE)

Les principaux constituants d'un répéteur OSR (d'une unité de dérivation) sont les suivants:

- l'enceinte du répéteur OSR (de l'unité de dérivation ou de l'égaliseur OSE):
l'enceinte doit avoir les caractéristiques suivantes: résistance à la pression sous-marine, étanchéité, grande résistance mécanique, raccordement électrique et optique aux tronçons de câble de chaque côté du répéteur OSR (de l'unité de dérivation ou de l'égaliseur OSE), isolement contre les hautes tensions et faible impédance thermique entre l'unité électronique du répéteur OSR (de l'unité de dérivation ou de l'égaliseur OSE réglable) et la mer;
- l'unité électronique/optique du répéteur OSR (de l'unité de dérivation ou de l'égaliseur OSE réglable):
il s'agit de la partie comprenant le ou les amplificateurs optiques et le ou les circuits de surveillance et le ou les circuits d'alimentation et de protection et le ou les multiplexeurs optiques et le ou les démultiplexeurs optiques et le ou les commutateurs sur élément redondant.

A.5.3 Surveillance et contrôle

En association avec le contrôleur de maintenance situé dans le terminal, l'unité de surveillance des répéteurs OSR (des unités de dérivation ou des égaliseurs OSE réglables) permet de contrôler la performance des répéteurs. Des bouclages optiques peuvent permettre de contrôler les tronçons de câble entre deux répéteurs OSR grâce à la réflectométrie COTDR.

Bibliographie

[b-UIT-T G-Sup.41] Recommandations UIT-T de la série G – Supplément 41 (2005), *Guides de conception des systèmes de câbles optiques sous-marins*.

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

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