



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.973

(11/96)

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

Systemes de transmission numériques – Sections
numériques et systemes de lignes numériques –
Systemes sous-marins à câbles optiques

**Caractéristiques des systèmes en câbles
sous-marins à fibres optiques sans répéteurs**

Recommandation UIT-T G.973

(Antérieurement Recommandation du CCITT)

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

CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX	G.100–G.199
SYSTÈMES INTERNATIONAUX ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES SYSTÈMES ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	G.200–G.299
CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX À COURANTS PORTEURS SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.300–G.399
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX HERTZIENS OU À SATELLITES ET INTERCONNEXION AVEC LES SYSTÈMES SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.400–G.449
COORDINATION DE LA RADIOTÉLÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES	G.450–G.499
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	
SYSTÈMES DE TRANSMISSION NUMÉRIQUES	
EQUIPEMENTS TERMINAUX	G.700–G.799
Généralités	G.700–G.709
Codage des signaux analogiques en modulation par impulsions et codage	G.710–G.719
Codage des signaux analogiques par des méthodes autres que la MIC	G.720–G.729
Principales caractéristiques des équipements de multiplexage primaires	G.730–G.739
Principales caractéristiques des équipements de multiplexage de deuxième ordre	G.740–G.749
Caractéristiques principales des équipements de multiplexage d'ordre plus élevé	G.750–G.759
Caractéristiques principales des équipements de transcodage et de multiplication numérique	G.760–G.769
Fonctionnalités de gestion, d'exploitation et de maintenance des équipements de transmission	G.770–G.779
Caractéristiques principales des équipements de multiplexage en hiérarchie numérique synchrone	G.780–G.789
Autres équipements terminaux	G.790–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
Généralités	G.800–G.809
Objectifs de conception pour les réseaux numériques	G.810–G.819
Objectifs de qualité et de disponibilité	G.820–G.829
Fonctions et capacités du réseau	G.830–G.839
Caractéristiques des réseaux à hiérarchie numérique synchrone	G.840–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 numérique pour l'accès usager du RNIS	G.960–G.969
Systèmes sous-marins à câbles optiques	G.970–G.979
Systèmes de transmission par ligne optique pour les réseaux locaux et les réseaux d'accès	G.980–G.999

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

RECOMMANDATION UIT-T G.973

CARACTÉRISTIQUES DES SYSTEMES EN CABLES SOUS-MARINS A FIBRES OPTIQUES SANS REPETEURS

Résumé

La présente Recommandation traite essentiellement de la qualité de fonctionnement et des caractéristiques d'interface des systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs. Elle vise également les aspects liés aux systèmes SDH et à la mise en œuvre d'OFA discrets comme amplificateurs de puissance, de préamplificateurs ou d'OFA répartis comme amplificateurs optiques à télépompage (c'est-à-dire de fibres de transmission "dopées" utilisant le pompage "à distance" aux extrémités terminales).

Source

La Recommandation UIT-T G.973, élaborée par la Commission d'études 15 (1993-1996) de l'UIT-T, a été approuvée le 8 novembre 1996 selon la procédure définie dans la Résolution n° 1 de la CMNT.

AVANT-PROPOS

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

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

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

Dans certains secteurs de la technologie 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.

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/n'avait pas été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux responsables de la mise en œuvre de consulter la base de données des brevets du TSB.

© UIT 1997

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

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1	Domaine d'application..... 1
2	Références normatives..... 1
3	Termes et définitions 2
3.1	Définitions 2
3.2	Termes définis dans d'autres Recommandations 3
4	Abréviations..... 3
5	Caractéristiques et qualité de fonctionnement du système 4
5.1	Caractéristiques et qualité de fonctionnement des sections de ligne numériques..... 4
5.1.1	Caractéristiques des signaux numériques à l'interface du système..... 4
5.1.2	Taux d'erreur global..... 4
5.1.3	Disponibilité du système..... 4
5.1.4	Caractéristiques en matière de gigue..... 5
5.1.5	Répartition de la qualité de fonctionnement entre les parties du système..... 5
5.2	Caractéristiques et qualité de fonctionnement des sections optiques 5
5.2.1	Bilan de puissance optique 5
5.2.2	Applications des amplificateurs à fibre optique 7
5.3	Fiabilité du système 7
6	Caractéristiques et qualité de fonctionnement de l'équipement terminal..... 7
6.1	Généralités 7
6.2	Caractéristiques de transmission..... 8
6.2.1	Caractéristiques du signal numérique à l'interface du système..... 8
6.2.2	Caractéristiques du signal à l'interface optique 8
6.2.3	Caractéristiques en matière de gigue 8
6.3	Actions consécutives à une alarme 8
6.4	Commutation automatique..... 9
7	Caractéristiques et qualité de fonctionnement du câble sous-marin..... 9
7.1	Domaine d'application 9
7.2	Caractéristiques de transmission..... 9
7.3	Caractéristiques mécaniques et résistance à l'environnement..... 10
7.3.1	Protection de la fibre par la structure du câble 10
7.3.2	Caractéristiques mécaniques de la fibre 10
7.3.3	Caractéristiques mécaniques du câble 11
7.3.4	Protection du câble 11

Annexe A – Réalisation de systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs	12
A.1 Introduction.....	12
A.2 Configuration de système.....	13
A.2.1 Composants des systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs.....	13
A.2.2 Configuration de la transmission.....	15
A.2.3 Surveillance et télémaintenance du système.....	15
A.2.4 Intégration du système.....	17
A.3 Caractéristiques du signal de ligne	17
A.3.1 Structure du signal de ligne.....	17
A.3.2 Taux d'erreur en ligne.....	17
A.4 Fonctionnement du système.....	17
A.4.1 Communication de terminal à terminal	17
A.5 Caractéristiques des unités de dérivation passives.....	18
A.5.1 Généralités	18
A.5.2 Composants de la BU	18
A.6 Fabrication et installation.....	18
A.6.1 Qualité des systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs	18
A.6.2 Procédure d'assemblage et d'installation.....	19
A.6.3 Mise en service du système.....	20
A.7 Maintenance.....	20
A.7.1 Maintenance périodique.....	20
A.7.2 Maintenance en mer.....	20
Annexe B – Systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs utilisant des amplificateurs optiques à télépompage: bilan de puissance optique entre les points de référence optiques S et R.....	21
B.1 Amplificateurs optiques à télépompage.....	21
B.2 Bilan de puissance optique pour les systèmes utilisant des amplificateurs optiques à télépompage	21

Recommandation G.973

CARACTÉRISTIQUES DES SYSTEMES EN CABLES SOUS-MARINS A FIBRES OPTIQUES SANS REPETEURS

(Genève, 1996)

1 Domaine d'application

La présente Recommandation traite essentiellement de la qualité de fonctionnement et des spécifications d'interface des systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs. Elle vise également les aspects liés aux systèmes SDH et à la mise en œuvre d'OFA discrets comme amplificateurs de puissance, de préamplificateurs et/ou d'OFA répartis comme amplificateurs optiques à télépompage (c'est-à-dire de fibres de transmission "dopées" utilisant le pompage "à distance" aux extrémités terminales).

Le but d'un système en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs est d'établir des liaisons de transmission entre deux stations terminales ou plus situées dans une zone géographique restreinte.

Lorsque deux stations terminales seulement sont reliées par le système en câble, il s'agit d'une "liaison par câble sous-marin à fibres optiques". Dans l'autre cas, on a affaire à "un réseau en câble sous-marin à fibres optiques".

Dans un système en câbles sous-marins sans répéteurs, on ne prévoit aucun PFE afin de réduire la complexité et le coût du système.

En ce qui concerne les unités de dérivation, celles qui sont examinées dans la présente Recommandation sont les dispositifs passifs, ce qui exclut les composants électroniques ainsi que les moyens de surveillance et d'alimentation en énergie.

L'implémentation physique de systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs et les incidences de l'utilisation d'amplificateurs optiques à télépompage sont étudiées respectivement dans les Annexes A et B.

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 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.

- Recommandation UIT-T G.652 (1997), *Caractéristiques des câbles à fibres optiques monomodes.*
- Recommandation UIT-T G.653 (1997), *Caractéristiques des câbles à fibres optiques monomodes à dispersion décalée.*
- Recommandation UIT-T G.654 (1997), *Caractéristiques d'un câble à fibres optiques monomodes avec affaiblissement à longueur d'onde de coupure décalée.*
- Recommandation UIT-T G.661 (1996), *Définition et méthodes de mesure des paramètres génériques relatifs aux amplificateurs à fibres optiques.*

- Recommandation UIT-T G.662 (1995), *Caractéristiques génériques des dispositifs et sous-systèmes amplificateurs à fibres optiques.*
- Recommandation G.702 du CCITT (1988), *Débits binaires de la hiérarchie numérique.*
- Recommandation G.703 du CCITT (1991), *Caractéristiques physiques et électriques des jonctions.*
- Recommandation UIT-T G.707 (1996), *Interface de nœud de réseau pour la hiérarchie numérique synchrone.*
- Recommandation UIT-T G.783 (1997), *Caractéristiques des blocs fonctionnels des équipements de la hiérarchie numérique synchrone.*
- Recommandation UIT-T G.821 (1996), *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.*
- Recommandation UIT-T G.823 (1993), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques fondés sur la hiérarchie à 2048 kbit/s.*
- Recommandation UIT-T G.826 (1996), *Paramètres et objectifs relatifs aux caractéristiques d'erreur pour les conduits numériques internationaux à débit constant égal ou supérieur au débit primaire.*
- Recommandation G.921 du CCITT (1988), *Sections numériques fondées sur la hiérarchie à 2048 kbit/s.*
- Recommandation UIT-T G.955 (1996), *Systèmes de ligne numériques fondés sur la hiérarchie à 1544 kbit/s et à 2048 kbit/s sur câbles optiques.*
- Recommandation UIT-T G.957 (1995), *Interfaces optiques pour les équipements et les systèmes relatifs à la hiérarchie numérique synchrone.*
- Recommandation UIT-T G.958 (1994), *Systèmes de ligne numérique fondés sur la hiérarchie numérique synchrone, pour utilisation sur câbles à fibres optiques.*
- Recommandation UIT-T G.971 (1996), *Caractéristiques générales des systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques.*
- Recommandation UIT-T G.972 (1997), *Définition des termes relatifs aux systèmes de transmission par câbles sous-marins à fibres optiques.*
- Recommandation UIT-T G.975 (1996), *Correction directe d'erreur pour les systèmes sous-marins.*
- Publication 825-2 de la CEI (1993), *Partie 2: Sécurité des systèmes de communication par fibres optiques.*

3 Termes et définitions

3.1 Définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

3.1.1 unité de dérivation (BU, *branching unit*): équipement sous-marin optique passif inséré dans la partie sous-marine d'un réseau en câble sous-marin à fibres optiques où il est nécessaire d'interconnecter plus de deux sections de câble.

3.1.2 amplificateur optique à télépompage (RPOA, *remotely pumped optical amplifier*): OFA réparti constitué d'une section de fibre dopée qui est activée par un faisceau de pompage émis par la station terminale.

3.1.3 équipement terminal de transmission (TTE, *terminal transmission equipment*): équipement inclus dans la partie terrestre d'un système sur câble sous-marin à fibres optiques pour les opérations de multiplexage et de démultiplexage de terminal de transmission, pour le codage et la conversion des affluents entrants dans le signal de ligne optique, pour la conversion et le décodage du signal de ligne optique reçu dans les affluents sortants ainsi que pour l'exécution d'opérations de terminaison de câble.

3.1.4 boîtier de raccordement: boîtier qu'il faut installer sur le câble optique sous-marin ou terrestre, en cas de raccordement ou de réparation du câble lui-même, afin d'assurer la continuité mécanique, électrique et optique, l'étanchéité, le stockage des épissures de fibre et le lavage des longueurs de fibre supplémentaires.

3.2 Termes définis dans d'autres Recommandations

La présente Recommandation utilise les termes suivants définis dans d'autres Recommandations:

- section de ligne numérique (DLS): voir la Recommandation G.701.
- surdébit de section multiplex (MSOH): voir la Recommandation G.783.
- amplificateur à fibre optique (OFA): voir la Recommandation G.661.
- points de référence S et R: voir les Recommandations G.955 et G.957.
- points de référence S' et R': voir la Recommandation G.622.
- hiérarchie numérique synchrone (SDH): voir la Recommandation G.707.
- module de transport synchrone (STM): voir la Recommandation G.707.
- câble à simple armure: voir la Recommandation G.972.
- câble à double armure: voir la Recommandation G.972.
- câble à armure roc: voir la Recommandation G.972.
- résistance à la traction transitoire nominale: voir la Recommandation G.972.
- résistance à la traction en régime nominal: voir la Recommandation G.972.
- résistance à la traction permanente nominale: voir la Recommandation G.972.
- rayon de courbure minimal d'un câble: voir la Recommandation G.972.
- charge de rupture d'un câble: voir la Recommandation G.972.
- charge d'un câble provoquant la rupture de la fibre: voir la Recommandation G.972.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

BER	taux d'erreur sur les bits (<i>bit error ratio</i>)
BU	unité de dérivation (<i>branching unit</i>)
DLS	section de ligne numérique (<i>digital line section</i>)
MSOH	surdébit de section multiplex (<i>multiplex section overhead</i>)
NRZ	non-retour à zéro (<i>no return to zero</i>)
OFA	amplificateur à fibre optique (<i>optical fibre amplifier</i>)

PDH	hiérarchie numérique plésiochrone (<i>plesiochronous digital hierarchy</i>)
PFE	équipement de téléalimentation (<i>power feeding equipment</i>)
RPOA	amplificateur optique à télépompage (<i>remotely pumped optical amplifier</i>)
SDH	hiérarchie numérique synchrone (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
STM	module de transport synchrone (<i>synchronous transport module</i>)
TTE	équipement terminal de transmission (<i>terminal transmission equipment</i>)

5 Caractéristiques et qualité de fonctionnement du système

5.1 Caractéristiques et qualité de fonctionnement des sections de ligne numériques

Les sections de ligne numériques mises en œuvre par le système doivent être conformes aux Recommandations pertinentes.

5.1.1 Caractéristiques des signaux numériques à l'interface du système

Les débits d'interface recommandés sont indiqués dans les Recommandations G.702, G.703, G.707, etc.

Plusieurs débits d'interface peuvent coexister pour un même système en câbles sous-marins à fibres optiques.

5.1.2 Taux d'erreur global

Le taux d'erreur global d'un système en câbles sous-marins à fibres optiques doit être conforme aux Recommandations pertinentes pour la durée de vie nominale des systèmes (par exemple, Recommandation G.821 pour les systèmes PDH et Recommandation G.826 pour les systèmes SDH).

Pour les systèmes PDH, les paramètres applicables sont les minutes dégradées, les secondes gravement erronées et les secondes erronées. Ces paramètres sont extraits de la Recommandation G.821 conjointement avec les performances rapportées au km au débit de 64 kbit/s. Des informations sur le mappage des performances de système au niveau de 64 kbit/s sont données dans l'Annexe D/G.821, *Livre bleu*.

Pour les systèmes SDH, les paramètres applicables sont les secondes gravement erronées et les secondes erronées. Ces paramètres sont extraits de la Recommandation G.826.

5.1.3 Disponibilité du système

Pour les systèmes PDH:

- le taux d'indisponibilité rapportée au km est extrait de l'Annexe A/G.821, *Livre bleu*. On obtient l'attribution d'une DLS en multipliant l'attribution par km par la longueur de la DLS;
- conformément à l'Annexe A/G.821, *Livre bleu*, une période d'indisponibilité commence lorsque le taux d'erreur sur les bits (BER, *bit error ratio*) dans chaque seconde est moins bon que 10^{-3} pendant une période de dix secondes consécutives. Cette période de dix secondes est considérée comme une période d'indisponibilité. La période d'indisponibilité se termine lorsque le BER dans chaque seconde est meilleur que 10^{-3} pendant une période de dix secondes consécutives. Cette période de dix secondes est considérée comme une période de disponibilité.

Pour les systèmes SDH:

- le taux d'indisponibilité et sa définition sont extraits de la Recommandation G.826.

La disponibilité du système dépend des aspects combinés des caractéristiques de fiabilité, de maintenabilité et de maintenance de l'équipement du système, notamment de l'équipement terminal du système.

La spécification d'indisponibilité s'applique à l'indisponibilité causée par la défaillance des composants du système et inclut, par exemple, la commutation laser, les dérangements des terminaux et les opérations de surveillance et de maintenance conduisant à des interruptions de dix secondes ou plus. Elle n'inclut pas les dérangements causés par les chalutiers et autres facteurs externes, notamment la téléalimentation des TTE et toute période pendant laquelle le système est inactivé pour réparation. De même, les dérangements nécessitant une intervention de navire ne sont pas inclus dans le calcul du temps d'indisponibilité.

5.1.4 Caractéristiques en matière de gigue

Les caractéristiques en matière de gigue d'un système en câbles sous-marins à fibres optiques doivent être conformes à la Recommandation G.823 pendant la durée de vie nominale du système. Cela s'applique notamment:

- à la tolérance de gigue, pour chaque section de ligne numérique, à l'interface d'entrée du système;
- à la gigue de sortie maximale, pour chaque section de ligne numérique, à l'interface de sortie du système;
- à la caractéristique de transfert de gigue, pour chaque section de ligne numérique, entre l'interface d'entrée et l'interface de sortie du système.

Les caractéristiques en matière de gigue pour le système SDH aux interfaces électriques du niveau STM-1 sont à l'étude.

Les caractéristiques en matière de gigue pour le système SDH aux interfaces optiques du niveau STM-1 doivent être conformes à la Recommandation G.958.

5.1.5 Répartition de la qualité de fonctionnement entre les parties du système

On obtient le taux de performance de bout en bout pour une section de ligne numérique (DLS, *digital line section*) donnée en multipliant l'attribution par km spécifiée par la longueur de la DLS. Lorsqu'il est nécessaire d'attribuer une dégradation de qualité de fonctionnement à diverses parties de la DLS, on attribue, à chaque équipement terminal de station, un taux correspondant à une longueur fixe (à définir) et, à la partie sous-marine, un taux par km égal à la différence entre le taux de spécification de la DLS et l'attribution relative à l'équipement terminal.

5.2 Caractéristiques et qualité de fonctionnement des sections optiques

5.2.1 Bilan de puissance optique

La qualité de fonctionnement optique de la section optique est caractérisée par son bilan de puissance optique qui est la différence entre la puissance optique moyenne, exprimée en dBm, aux deux extrémités d'une section de câble submersible à fibres optiques, que l'on peut obtenir en tenant compte des caractéristiques des composants optiques de l'équipement aux deux extrémités de la section de câble. On peut utiliser le bilan de puissance optique pour calculer la longueur de la section de câble submersible à fibres optiques qui permet de répondre aux prescriptions de taux d'erreur global pour la section de ligne numérique dans le système en câbles sous-marins à fibres optiques.

On peut, pour calculer le bilan de puissance optique, utiliser plusieurs méthodes qui peuvent être classées en méthode du cas le plus défavorable, méthode statistique et méthode semi-statistique.

Le bilan de puissance optique doit tenir compte d'une partie ou de la totalité des paramètres suivants:

- sensibilité du récepteur (dBm):
puissance optique moyenne de signal optique modulée par un signal électrique pseudo-aléatoire avec une densité de fonctionnement spécifiée à l'entrée de l'amorce de fibre optique d'un récepteur, au-dessous de laquelle le taux d'erreur sur les bits de l'équipement de réception serait supérieur à 10^{-x} ;
- surcharge optique du récepteur (dBm):
puissance optique moyenne de signal optique modulée par un signal électrique pseudo-aléatoire avec une densité de fonctionnement spécifiée à l'entrée de l'amorce de fibre optique d'un récepteur, au-dessous de laquelle le taux d'erreur de l'équipement de réception serait supérieur à 10^{-x} ;
- portée dynamique du récepteur (dB):
différence entre la surcharge optique du récepteur et la sensibilité du récepteur;
- puissance moyenne injectée (dBm):
puissance optique moyenne du signal de ligne optique à la sortie de l'amorce de fibre optique de l'émetteur;
- affaiblissement interne de l'équipement (dB);
- affaiblissement de la section optique (dB);
- pénalité de qualité de fonctionnement du système (dB):
tenant compte de la différence entre la qualité de fonctionnement d'un équipement terminal de ligne "idéal" et celle d'un équipement terminal de ligne "réel" associé à sa section de câble complète. Les phénomènes à prendre en considération dans cette valeur incluent la réaction optique, les effets de mise en forme du signal, l'égalisation non idéale, le bruit de répartition, la dispersion chromatique, etc.;
- marge de vieillissement (dB):
tenant compte de la variation de l'affaiblissement des composants optiques, y compris de celle des fibres, due au vieillissement pendant la durée de vie nominale du système;
- provision pour réparation (dB):
tenant compte de l'augmentation éventuelle de l'affaiblissement de la fibre du câble due à la réparation du câble pendant la durée de vie nominale du système. La valeur de cette provision dépend de la profondeur des fonds marins; on peut la calculer, pour les parties en eau peu profonde, en multipliant le nombre de réparations par l'affaiblissement moyen par réparation, égal à l'affaiblissement de deux joints de câble avec adjonction de l'affaiblissement d'une longueur de câble proportionnel à la profondeur des fonds marins;
- marge non assignée (dB):
provision pour des phénomènes qu'on ne peut prévoir exactement;
- marge de surcharge (dB):
différence minimale entre la puissance de réception et la surcharge optique de réception pour un BER donné.

Un paramètre important qu'il convient de spécifier pour faciliter la mise en service d'un système est la marge garantie, à savoir la marge minimale de bilan de puissance de la section optique qui doit être mesurée à un instant donné, c'est-à-dire l'assemblage du système en usine ou à bord du navire câblé, et qui est égale à la somme de la marge de vieillissement, de la marge de réparation et de la marge non assignée.

5.2.2 Applications des amplificateurs à fibre optique

On peut augmenter considérablement le bilan de puissance disponible en ajoutant à l'équipement terminal des amplificateurs à fibre optique (OFA, *optical fibre amplifier*). Ces amplificateurs peuvent être utilisés comme amplificateurs de puissance insérés juste après l'émetteur laser pour augmenter la puissance de sortie du terminal ou comme préamplificateurs insérés juste avant le récepteur optique pour réduire la puissance minimale du signal optique à l'entrée d'un récepteur composite (préamplificateur plus récepteur de terminal). Généralement, pour améliorer le système, il suffit d'un amplificateur de puissance ou d'un préamplificateur ou encore d'une combinaison des deux. Dans tous les cas, la définition du bilan de puissance optique est donnée en fonction des paramètres décrits au 5.2.1 ci-dessus entre les points de référence S'-R, S-R', S'-R', respectivement, où la définition de S' et de R' est donnée dans la Recommandation G.662.

En outre, l'utilisation d'amplificateurs optiques à télépompage (RPOA, *remotely pumped optical amplifiers*) est également examinée. Un amplificateur optique à télépompage est constitué d'une section de fibre dopée qui est activée par un faisceau de pompage émis par la station terminale. L'amplificateur distant n'est pas alimenté électriquement. On peut utiliser cette technique aussi bien du côté émission que du côté réception d'une liaison mais on estime généralement qu'elle est plus efficace du côté réception. Dans ce dernier cas, la définition du bilan de puissance optique donnée sur la base des paramètres énumérés au 5.2.1 ci-dessus ne peut être appliquée car il y a une amplification du signal optique avant l'extrémité terminale. Le bilan de puissance optique n'est donc plus égal à la différence de puissance entre les deux extrémités mais à l'affaiblissement imputable entre les deux extrémités de la liaison (voir l'Annexe B).

Les configurations de système possibles sont présentées sur la Figure A.2.

5.3 Fiabilité du système

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

- le nombre prévu de réparations nécessitant l'intervention d'un navire câblé et dues aux défaillances des composants du système (par exemple, épissures, unités BU, transitions, etc.) pendant la durée de vie nominale du système:

En matière de fiabilité de système sans répéteurs, il est généralement exigé qu'il y ait moins d'une défaillance nécessitant l'intervention d'un navire câblé pendant la durée de vie nominale du système. Un modèle de calcul de la fiabilité des systèmes est à l'étude;

- la durée de vie nominale du système:

période pendant laquelle le système en câbles sous-marins à fibres optiques est conçu pour fonctionner conformément à sa spécification. Généralement, il s'agit d'une période de 25 ans commençant à la date de réception provisoire du système, c'est-à-dire à la date qui suit l'installation lorsque le système est déclaré conforme aux spécifications.

6 Caractéristiques et qualité de fonctionnement de l'équipement terminal

6.1 Généralités

Le but de l'équipement terminal est de rassembler les affluents pour transmission sur le système en câbles sous-marins à fibres optiques et de mettre en œuvre des moyens de contrôle et de maintenance.

6.2 Caractéristiques de transmission

6.2.1 Caractéristiques du signal numérique à l'interface du système

Le signal numérique à l'interface du système doit être conforme aux Recommandations pertinentes.

6.2.2 Caractéristiques du signal à l'interface optique

Le signal à l'interface optique doit être conforme au bilan de puissance de la section optique. Lors de l'installation du système, certaines limites doivent, en particulier, être respectées:

- puissance moyenne minimale à l'entrée de l'équipement terminal de réception (dBm):
puissance optique moyenne du signal de ligne optique qui doit être présente à l'interface d'entrée optique du terminal pour que le bilan de puissance optique de la section de câble offre une marge de système garantie;
- puissance moyenne minimale à la sortie de l'équipement terminal d'émission (dBm):
puissance optique moyenne du signal de ligne optique qui doit être présente à l'interface de sortie optique du terminal pour que le bilan de puissance optique de la section de câble offre une marge de système garantie.

6.2.3 Caractéristiques en matière de gigue

Les caractéristiques en matière de gigue du TTE d'un système en câbles sous-marins à fibres optiques doivent être conformes à la Recommandation G.823 pendant toute la durée de vie nominale du système. En particulier:

- la tolérance de gigue, pour chaque section de ligne numérique, à l'interface d'entrée du système;
- la gigue de sortie maximale, pour chaque section de ligne numérique, à l'interface de sortie du système;
- la caractéristique de transfert de gigue avec terminal en configuration de boucle, pour chaque section de ligne numérique, entre l'interface d'entrée et l'interface de sortie du système,

doivent être conformes à la Recommandation G.823.

Les caractéristiques de gigue du TTE (tolérance de gigue, gigue de sortie maximale, caractéristique de transfert de gigue) à l'interface optique ne doivent être compatibles qu'avec la spécification de système individuelle pour les systèmes PDH.

Pour les systèmes SDH, les caractéristiques de gigue du TTE (tolérance de gigue, gigue de sortie maximale, caractéristique de transfert de gigue) à l'interface optique doivent être conformes à la Recommandation G.958.

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/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 critiques (par exemple, puissance optique d'entrée et de sortie du signal, conditions de fonctionnement du laser de pompage telles que courant de polarisation et température). Les aspects sécurité des équipements laser doivent être conformes à la Publication 825 de la CEI partie 1 et à la Publication 825 de la CEI partie 2 et à la Recommandation G.958 en ce qui concerne la procédure d'arrêt des équipements laser. S'agissant de valeurs de temps de réactivation et de désactivation où interviennent des niveaux de puissance dépassant ceux de la classe 1 en raison de l'utilisation d'amplificateurs à fibre optique, il est

nécessaire de modifier l'Appendice II/G.958 en conséquence pour tenir compte des valeurs de temps de réactivation et de désactivation des OFA insérés le long de la liaison optique.

6.4 Commutation automatique

Lorsqu'on utilise la commutation automatique pour répondre aux conditions de disponibilité générales requises:

- la dégradation du trafic due à la commutation doit être réduite au minimum et être compatible avec la qualité de fonctionnement globale du système;
- une indication de l'équipement en service doit être donnée;
- la neutralisation manuelle de la commutation automatique doit être possible avec une dégradation minimale de la qualité de fonctionnement du système.

L'équipement de secours est fréquemment maintenu en état de fonctionnement et surveillé comme l'équipement en service.

7 Caractéristiques et qualité de fonctionnement du câble sous-marin

7.1 Domaine d'application

Un câble sous-marin à fibres optiques peut être:

- un câble sous-marin avec répéteurs;
- un câble sous-marin sans répéteurs;
- un câble terrestre adapté à l'environnement marin (MTC, *maximized terrestrial cable*).

Les câbles sous-marins avec répéteurs peuvent être utilisés dans toutes les applications sous-marines et les câbles sous-marins sans répéteurs dans toutes les applications MTC.

Le câble sous-marin sans répéteurs est également utilisable en eau peu profonde et profonde. On le soumet généralement à des tests intensifs pour vérifier qu'il peut être installé et réparé in situ, même dans les conditions atmosphériques les plus défavorables, sans aucune dégradation de qualité de fonctionnement ou de fiabilité optique, électrique ou mécanique.

Cette capacité de réparation est une caractéristique nécessaire car, à mesure que les longueurs de section augmentent, il devient trop coûteux ou difficile de remplacer les câbles. Une capacité de réparation totale (élevée) est généralement essentielle pour tout câble installé dans un environnement hostile.

Le haut niveau de résistance à la traction assuré (aussi bien dans le câble que dans la boîte de jonction) tient compte de l'aptitude d'un navire à se maintenir en position dans de mauvaises conditions météorologiques ainsi que de la profondeur des fonds marins.

7.2 Caractéristiques de transmission

En général, les caractéristiques de transmission des fibres avant câblage (installation dans le câble) seront similaires ou identiques à celles qui sont spécifiées dans les Recommandations G.652, G.653 ou G.654. Les types de fibre sont choisis de manière à optimiser le coût global et la qualité de fonctionnement du système.

Les caractéristiques de transmission de la fibre installée dans une section de câble élémentaire doivent se situer dans une limite spécifiée de variation par rapport aux caractéristiques de la fibre avant câblage; en particulier, la conception du câble, des joints de câble et des fibres doit être telle que la courbure et la microcourbure des fibres créent une augmentation négligeable de

l'affaiblissement, ce dont il faut tenir compte pour déterminer le rayon de courbure minimal de la fibre dans le câble et dans l'équipement (joints de câble optique, répartiteur optique, unité de dérivation, etc.).

L'affaiblissement de la fibre et la dispersion chromatique doivent rester stables dans les limites spécifiées pour la durée de vie nominale du système; en particulier, la conception du câble doit réduire à des niveaux acceptables la pénétration d'hydrogène en provenance de l'extérieur et la génération d'hydrogène dans le câble, même après une rupture du câble à la profondeur d'utilisation; il convient également de tenir compte de la sensibilité de la fibre optique au rayonnement gamma.

7.3 Caractéristiques mécaniques et résistance à l'environnement

7.3.1 Protection de la fibre par la structure du câble

La capacité de survie de la fibre est déterminée par la propagation des défauts à l'intérieur de la structure de verre. Elle dépend de l'état mécanique initial de la fibre avant câblage, c'est-à-dire de la structure physique de la fibre (type de revêtement, contrainte interne), des conditions d'environnement lors de la production de la fibre et du niveau du test de sélection après étirage de la fibre. Elle dépend également de l'environnement de la fibre dans le câble et de l'effet cumulatif des contraintes appliquées à la fibre pendant sa durée de vie nominale. Un modèle de calcul de la capacité de survie de la fibre en fonction de ses caractéristiques et de l'effet cumulatif des contraintes de la fibre est à l'étude.

La résistance de la structure du câble ainsi que celle de la fibre déterminent le comportement mécanique global du câble et doivent être conçues de manière à garantir la durée de vie nominale du système, compte tenu de l'effet cumulatif de la charge appliquée au câble lors de la pose, du relevage et de la réparation ainsi que de toute charge permanente ou d'allongement résiduel appliqués au câble installé.

Deux types génériques de structure de câble sont généralement utilisés pour protéger les fibres optiques:

- la structure de câble serrée, où la fibre est solidement maintenue dans le câble, de telle sorte que l'allongement de la fibre est essentiellement égal à celui du câble;
- la structure de câble lâche où la fibre est libre de se déplacer à l'intérieur du câble, de telle sorte que l'allongement de la fibre est inférieur à celui du câble, et reste nul jusqu'à ce que l'allongement du câble atteigne une valeur donnée.

En outre, le câble doit protéger la fibre contre l'eau, l'humidité et la pression externe, et limiter la pénétration d'eau longitudinale après rupture du câble à la profondeur d'utilisation.

7.3.2 Caractéristiques mécaniques de la fibre

Les caractéristiques mécaniques de la fibre dépendent largement de l'application d'un test de contrôle à la longueur totale de la fibre. Ce test est caractérisé par la charge appliquée à la fibre ou par l'allongement de la fibre et la durée d'application. Le niveau de ce test doit être déterminé en fonction de la structure du câble. Les épissures de fibre doivent être également testées.

Il convient de tenir compte de la résistance mécanique des épissures de fibre pour déterminer le rayon de courbure minimal de la fibre dans le câble et dans l'équipement (unités de dérivation, boîtiers de raccordement et coupleurs de câbles).

7.3.3 Caractéristiques mécaniques du câble

Le câble, avec les boîtiers de raccordement, les coupleurs de câble et les transitions de câble, doit être manipulé avec précaution par les navires câbliers lors des opérations de pose et de réparation; il doit résister à de multiples passages sur le davier.

Le câble doit être réparable et le temps nécessaire pour effectuer un joint de câble lors d'une réparation dans de bonnes conditions de travail doit être raisonnablement court.

Si le câble est accroché par un grappin, une ancre de grande dimension ou un engin de pêche, la charge de rupture peut être égale à une fraction (selon le type de câble et les caractéristiques du grappin) de la charge de rupture en ligne droite; il existe alors, au voisinage du point de rupture, un risque de réduction de la durée de vie et de la fiabilité de la fibre et du câble dû en particulier à la contrainte appliquée à la fibre ou à la pénétration d'eau; il faut alors remplacer la partie endommagée du câble dont la longueur doit rester dans des limites spécifiées.

Plusieurs paramètres sont définis dans la Recommandation G.972 pour caractériser les propriétés mécaniques du câble et l'aptitude du câble à être installé, récupéré et réparé; ils doivent servir de guide pour la manipulation du câble:

- charge de rupture du câble, mesurée lors du test de qualification;
- charge du câble provoquant la rupture de la fibre, mesurée lors du test de qualification;
- résistance transitoire nominale à la traction, qui pourrait être accidentellement rencontrée, notamment lors des opérations de récupération;
- résistance nominale de fonctionnement à la traction qui pourrait être rencontrée lors des réparations;
- résistance permanente nominale à la traction qui caractérise l'état du câble après la pose;
- rayon minimal de courbure du câble qui est un guide pour la manipulation du câble.

7.3.4 Protection du câble

Le câble sous-marin à fibres optiques doit assurer une bonne protection contre les risques de l'environnement à sa profondeur d'utilisation: protection contre la vie marine, les morsures de poisson, l'abrasion et blindage contre les agressions et la navigation maritime. Différents types de câble protégé sont définis dans la Recommandation G.972, notamment:

- le câble à simple armure;
- le câble à double armure;
- le câble à armure roc.

Le câble terrestre à fibres optiques doit protéger le système et le personnel contre les décharges électriques, les brouillages industriels et la foudre. Deux types de câble terrestre protégé sont généralement utilisés:

- le câble terrestre armé, avec une armure qui doit être maintenue au potentiel de la terre et qui peut être directement enterré;
- le câble armé en conduit avec blindage de sécurité circulaire (qui peut être le blindage de protection contre les morsures de poisson) destiné à être tiré dans des conduits.

NOTE – Le câble peut comporter un circuit pour l'application d'un courant d'électrode à sa structure afin de permettre à l'équipement submersible de le localiser. Le courant d'électrode est fourni par une station terminale avec la puissance nécessaire pour localiser le câble et avec une fréquence d'environ 4 à 40 Hz.

ANNEXE A

Réalisation de systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs

A.1 Introduction

La présente annexe décrit divers aspects des pratiques relatives aux systèmes sur câble sous-marin généralement employées pour les systèmes sans répéteurs, compte tenu de l'application d'OFA en tant qu'amplificateurs de puissance et préamplificateurs.

Les paramètres de système typiques sont illustrés dans le Tableau A.1.

Le but des informations fournies dans la présente Annexe est de servir de guide dans la pratique courante et non de recommandation relative aux systèmes existants ou futurs.

La définition des termes utilisés dans la présente Recommandation est donnée dans la Recommandation G.972.

Tableau A.1/G.973 – Paramètres de système illustratifs des systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs

Systèmes	560 M (PDH) 4 × 140 Mbit/s	622 M (SDH) 4 × 140/155 Mbit/s	2488 M (SDH) 16 × 140/155 Mbit/s	4977 M (SDH) 32 × 140/155 Mbit/s
capacité de transmission (canaux à 64 kbit/s)	7560-7680	7560-7680	30 240-30 720	60 480-61 440
débit d'information (Mbit/s)	~ 560	~ 560	~ 2240	~ 4480
débit en ligne (Mbit/s) (Note 4)	~ 591	~ 622	~ 2488	~ 4977
code de ligne (Note 3)	souplesse max.	NRZ embrouillé (SDH)	NRZ embrouillé (SDH)	NRZ embrouillé (SDH)
longueur maximale du système (km) (Note 2)	> 120	> 120	> 100	> 80
profondeur (m)	jusqu'à ~ 4000			
type de fibre	G.652; G.653; G.654			
longueur d'onde de fonctionnement (nm)	~ 1550			
durée de vie nominale du système (année)	25			
fiabilité (Note 5)	< 1 réparation en 25 ans			
taux d'erreur	G.821	G.826		
gigue	G.823	G.958 (interfaces optiques) FFS (interfaces électriques) (Note 1)		

Tableau A.1/G.973 – Paramètres de système illustratifs des systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs (fin)

NOTE 1 – FFS signifie "complément d'étude nécessaire".

NOTE 2 – La longueur maximale du système n'est qu'indicative. On peut accroître considérablement cette longueur en utilisant à la fois des systèmes PDH et SDH non normalisés ou des amplificateurs de puissance optiques et/ou des préamplificateurs optiques ainsi d'ailleurs que des amplificateurs optiques à télépompage (voir la Figure A.2).

NOTE 3 – Dans les systèmes SDH, on utilise le code NRZ embrouillé. Dans les systèmes PDH, une souplesse maximale est offerte pour le code de ligne à adopter. Il est également possible de combiner ces codes de ligne avec un code de correction d'erreurs pour améliorer les performances du système.

NOTE 4 – Pour les systèmes PDH, la valeur de débit en ligne n'est qu'indicative.

NOTE 5 – Voir 5.3 du texte principal de la présente Recommandation.

NOTE 6 – Il sera possible de prendre en considération la technologie multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM, wavelength division multiplexing) pour accroître la capacité de transmission et la souplesse de réseau des systèmes. Les paramètres de système des systèmes sur câble sous-marin à fibres optiques sans répéteurs avec technologie WDM nécessitent un complément d'étude.

A.2 Configuration de système

A.2.1 Composants des systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs

Le but d'un système en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs est d'établir des liaisons de transmission entre deux stations terminales ou plus situées dans une zone géographique restreinte.

Lorsque deux stations terminales seulement sont reliées par le système en câble, on peut dire qu'il s'agit d'une "liaison par câble sous-marin à fibres optiques". Dans l'autre cas, on a affaire à un "réseau sur câble sous-marin à fibres optiques".

La Figure A.1 illustre le concept de base des systèmes sur câble sous-marin à fibres optiques sans répéteurs et de ses limites. Des unités de dérivation sous-marines optiques peuvent être incluses selon les besoins de chaque système.

Sur la Figure A.1, "A" désigne l'interface de système à la station terminale (où le système peut avoir une interface avec des liaisons numériques terrestres ou d'autres systèmes en câbles sous-marins) et "B" désigne les joints de plage ou les points d'atterrissage. Les lettres entre parenthèses dans les paragraphes ci-après se réfèrent à la Figure A.1.

Un système en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs est constitué des éléments suivants:

- une partie terrestre, entre l'interface de système dans la station terminale (A) et le joint de plage ou le point d'atterrissage (B), qui inclut le câble terrestre à fibres optiques, les joints terrestres et l'équipement terminal du système, éventuellement en combinaison avec des OFA (amplificateur de puissance et/ou préamplificateur) et/ou avec des composants électroniques appropriés pour assurer le télépompage des amplificateurs répartis;
- une partie sous-marine sur les fonds marins, entre les joints de plage ou les points d'atterrissage (B), qui inclut le câble sous-marin à fibres optiques et, le cas échéant, l'équipement sous-marin, c'est-à-dire unité(s) de dérivation et boîte(s) de jonction ainsi que, éventuellement, une fibre dopée à utiliser comme amplificateur optique à télépompage et pouvant être implémentée dans un boîtier spécial posé sur le fond de la mer ou incorporé dans le câble.

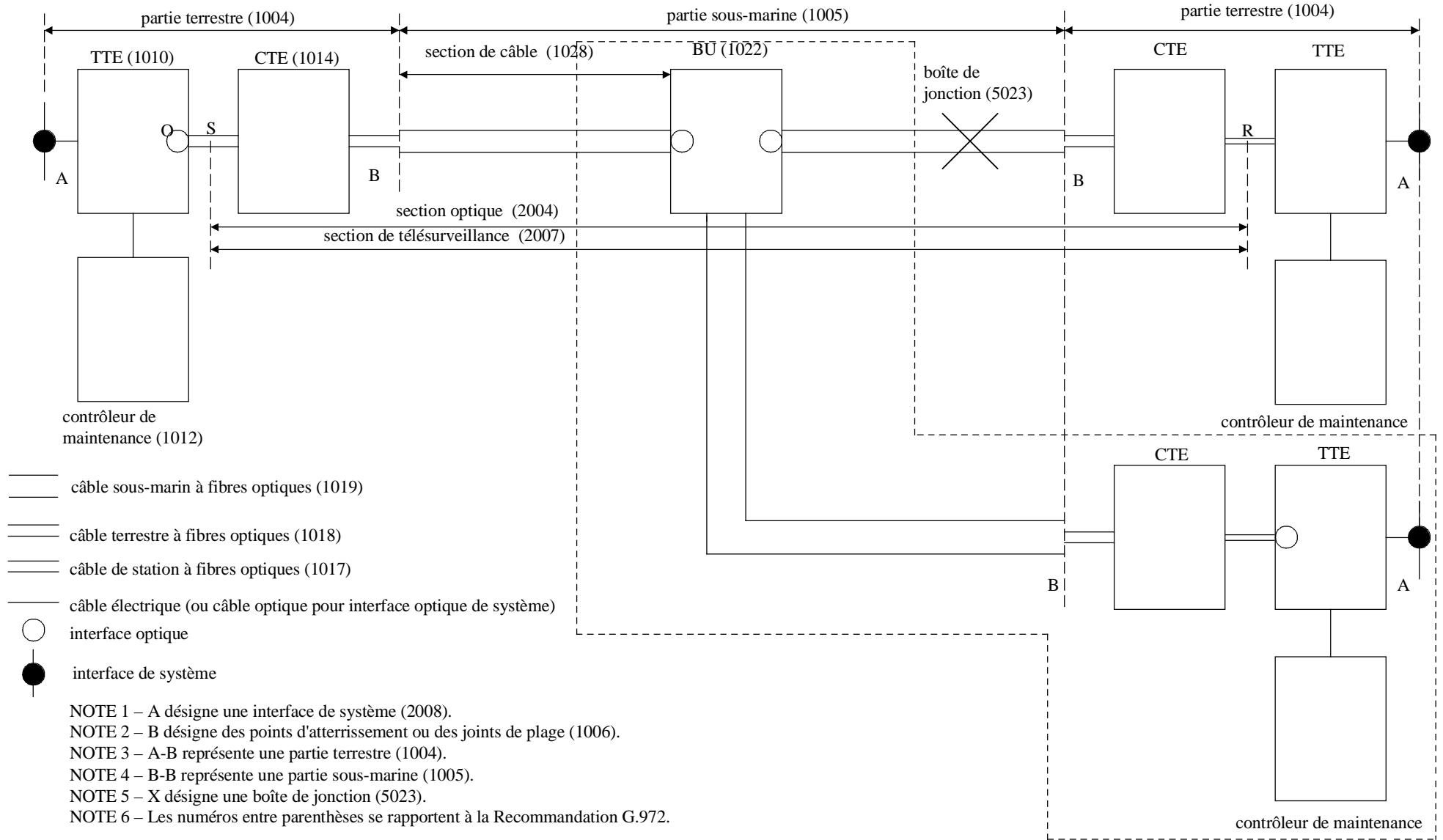


Figure A.1/G.973 – Exemple de système en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs

Le câble contient une ou plusieurs paires de fibres optiques (une paire de fibres optiques est utilisée pour établir la transmission dans les deux sens).

Le câble sous-marin à fibres optiques est protégé s'il y a lieu: il existe plusieurs types de câble caractérisés par leur structure mécanique, tels que le câble de grand fond, le câble protégé, le câble armé, le câble à simple armure, le câble à double armure et le câble à armure roc.

Le câble terrestre à fibres optiques nécessite également une protection.

A.2.2 Configuration de la transmission

La configuration de la transmission caractérise le flux d'informations qui circule par le système en câbles sous-marins à fibres optiques entre les stations terminales.

Une section de câble à fibres optiques peut contenir un certain nombre de paires de fibres optiques et une paire de fibres optiques peut comporter un certain nombre de sections de ligne numérique. Le nombre de sections de ligne numérique prises en charge par une section de câble à fibres optiques est indiqué par le produit de ces deux nombres.

Une unité de dérivation (BU, *branching unit*) sous-marine à fibres optiques est insérée dans la partie sous-marine d'un réseau en câble sous-marin à fibres optiques lorsqu'il est nécessaire d'interconnecter plus de deux sections de câble.

A.2.3 Surveillance et télémaintenance du système

L'équipement de surveillance et de télémaintenance situé dans le terminal assure généralement la localisation des dérangements, en association avec l'unité de surveillance de la BU.

Les moyens de surveillance incluent généralement un ou plusieurs des éléments suivants:

- fourniture, en service, d'informations suffisantes pour permettre la maintenance préventive;
- indication d'une défaillance proche de l'équipement en service afin qu'une action préventive puisse être entreprise ou prévue (par exemple, à l'aide du codage de correction d'erreur conformément à la Recommandation G.975 sur la "Correction d'erreurs sans voie de retour pour les systèmes sous-marins");
- moyens de localisation des dérangements persistants et des dérangements intermittents dont la durée et la fréquence empêchent le système de répondre aux spécifications de qualité de fonctionnement.

D'autres moyens, tels que la réflectométrie optique et les mesures électriques utilisant l'équipement installé dans les stations terminales ou à bord de navires câbliers peuvent permettre d'augmenter la précision de la localisation des dérangements.

La surveillance du système peut être facilitée par des équipements informatisés situés à l'une et/ou à l'autre extrémités.

En cas d'utilisation d'OFA, il est recommandé, pour le contrôle de leurs paramètres critiques, que les voies de maintenance de ces appareils soient reliées aux circuits de maintenance existants des TTE. En fait, dans les configurations de système amplifiées (voir la Figure A.2), il n'est pas nécessaire d'adopter une voie de service spécialisée indépendante de la trame SDH et PDH, pour transférer et gérer les alarmes des amplificateurs de puissance et des préamplificateurs.

Pour les amplificateurs optiques à télépompage dans lesquels l'installation submersible est entièrement passive et où la partie active totale (composants électro-optiques ainsi que lasers de pompage) est située du côté émetteur ou récepteur des TTE, aucune politique spécifique de maintenance différente de celle adoptée pour les TTE ne doit être envisagée.

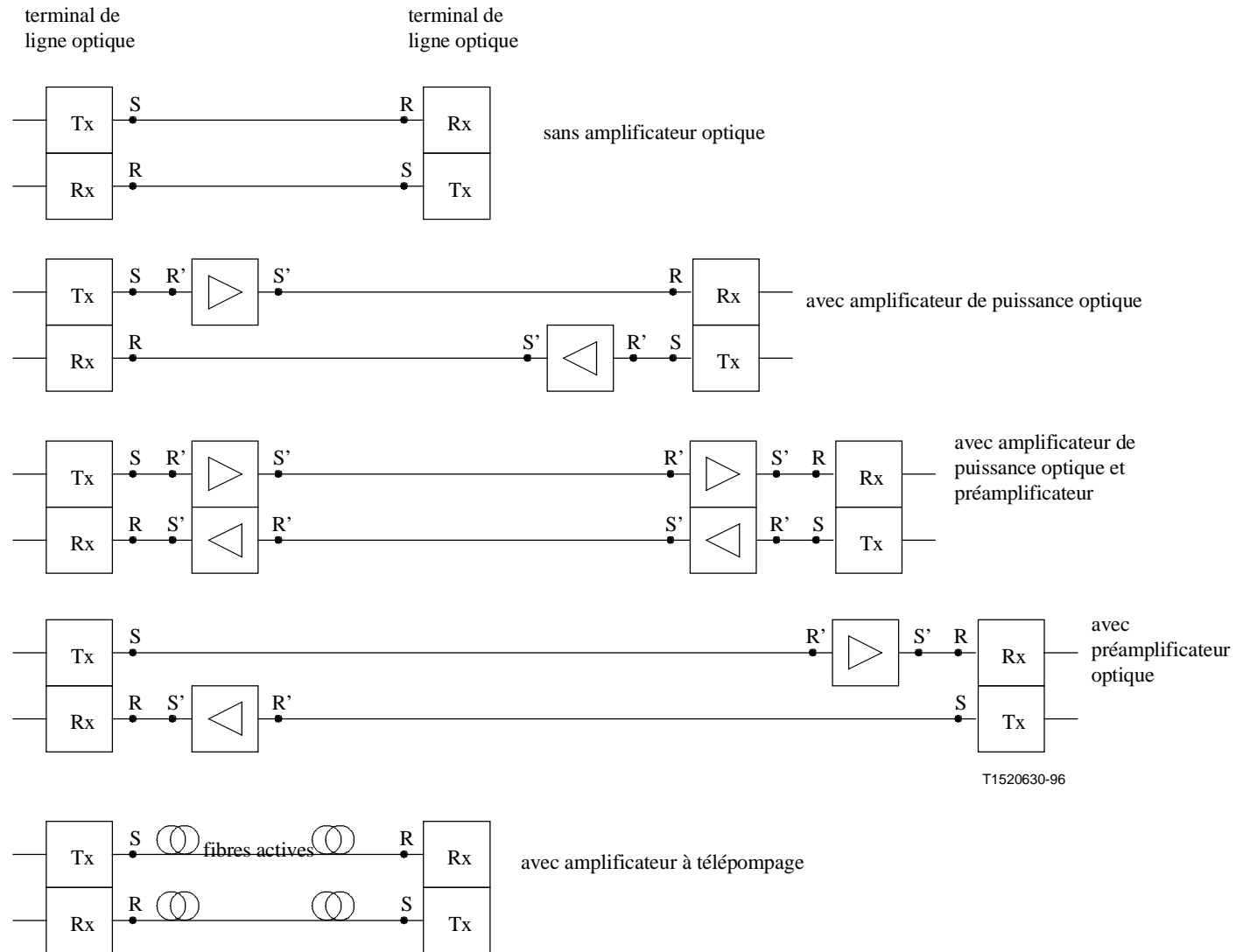


Figure A.2/G.973 – Configurations de système possibles

A.2.4 Intégration du système

Une liaison ou un réseau en câbles sous-marins à fibres optiques peuvent être construits à l'aide de deux systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques (c'est-à-dire composants, câble, équipement terminal, BU, etc.) ou plus conçus indépendamment par différents fournisseurs.

Pour intégrer le réseau sous-marin à fibres optiques, il est nécessaire d'assurer la compatibilité de ces diverses conceptions. Tel est le but des spécifications d'intégration.

A.3 Caractéristiques du signal de ligne

A.3.1 Structure du signal de ligne

La trame de ligne et le débit de ligne résultent des opérations de multiplexage et de codage exécutées par le TTE, compte tenu de l'inclusion de voies de service et de surveillance.

Pour les systèmes PDH, le code de ligne est choisi de manière à répondre aux caractéristiques de la partie sous-marine. On peut l'utiliser pour des besoins tels que l'adaptation du spectre de fréquences sur le signal de ligne optique à l'interface optique et le contrôle du taux d'erreur en ligne au niveau de l'équipement terminal de réception. Les violations du code de ligne peuvent être utilisées pour la surveillance (contrôle du système et/ou transmission d'informations de surveillance).

Pour les systèmes SDH, le code de ligne et sa violation doivent être conformes aux Recommandations pertinentes.

Pour les systèmes PDH et SDH, on pourrait utiliser le code de ligne en combinaison avec un codage de correction d'erreur (par exemple, conformément à la Recommandation G.975 sur la "Correction directe d'erreurs pour les systèmes sous-marins") afin d'améliorer les performances du système.

A.3.2 Taux d'erreur en ligne

Les valeurs numériques du taux d'erreur en ligne sont exprimées sous la forme $n \cdot 10^{-p}$, p étant un nombre entier.

Pour les systèmes PDH, l'équipement de surveillance détecte généralement les violations du code de ligne. Le taux d'erreur en ligne apparent est directement calculé à partir du résultat de cette observation. On peut obtenir une valeur plus précise, le taux d'erreur en ligne réel, en éliminant du calcul les violations délibérées du code de ligne. Les violations du code de ligne peuvent être utilisées à des fins de surveillance ou de contrôle.

Pour les systèmes SDH, le taux d'erreur en ligne est évalué sur le signal de ligne reçu d'après les violations de parité sur les octets B2 [surdébit de section multiplex (MSOH, *multiplex section overhead*)] de la trame SDH.

A.4 Fonctionnement du système

A.4.1 Communication de terminal à terminal

En général, au moins deux voies de service sont établies entre deux stations terminales: une par le système en câbles sous-marins à fibres optiques pour l'exploitation et la maintenance du système, l'autre par des moyens externes pour le maintien de la communication entre deux stations terminales en cas de dérangement du système.

En particulier, une voie de service est normalement prévue pour permettre la transmission de messages de terminal à terminal entre l'équipement de surveillance des stations terminales correspondantes; des informations sont ainsi fournies sur l'état du système et des sections de ligne

numérique ainsi que sur l'activité de surveillance en cours afin de faciliter le contrôle et la surveillance de l'ensemble du système.

Au moins une voie de liaison spécialisée est établie pour l'échange de communications entre les opérateurs des stations terminales.

A.5 Caractéristiques des unités de dérivation passives

A.5.1 Généralités

Les unités de dérivation sous-marines optiques passives sont:

- capables de fonctionner conformément aux recommandations de qualité pendant la durée de vie nominale du système et dans les conditions d'environnement des fonds marins (température, pression, etc.);
- conçues pour pouvoir être manipulées, c'est-à-dire posées, récupérées et remplacées sans dégradation de la qualité de fonctionnement du câble, des boîtiers de raccordement, des unités de dérivation et des coupleurs, sous réserve que les spécifications relatives à la manutention soient respectées;
- conçues pour être transportées et stockées dans les conditions de température spécifiées sans que la durée de vie nominale du système en soit affectée, sous réserve que les spécifications relatives au stockage et au transport soient respectées;
- capables de fonctionner à bord d'un navire câblé lors des opérations de pose et de réparation sans que la durée de vie nominale du système en soit affectée.

Les unités de dérivation sous-marines optiques ont une dimension telle qu'elles peuvent être manipulées par les équipements de navire câblé appropriés.

A.5.2 Composants de la BU

Les principaux composants de la BU sont les suivants:

- le boîtier de la BU:
pièce mécanique destinée à assurer la résistance à la pression des fonds marins, l'étanchéité, une haute résistance mécanique, la connexion optique aux sections de câble de chaque côté de la BU.

A.6 Fabrication et installation

A.6.1 Qualité des systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs

Les hautes prescriptions de qualité de fonctionnement et de fiabilité établies pour les systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs ne peuvent être satisfaites que si des procédures strictes de qualité sont appliquées au stade de la conception, de la fabrication et de l'installation des systèmes. Bien que les procédures de qualité soient propres à chaque fournisseur de câble sous-marin à fibres optiques, les principes de base suivants s'appliquent d'une manière générale.

A.6.1.1 Qualification des conceptions et des technologies

Le but de cette activité, qui fait partie du processus de mise au point, est de démontrer qu'une technologie, un composant ou un ensemble répondent aux exigences générales de qualité de fonctionnement d'un système et permettent raisonnablement de penser que l'objectif de fiabilité pourra être atteint. La qualification inclut des tests de haute contrainte visant à estimer la robustesse de la technologie, du composant ou du sous-ensemble et à déterminer la procédure de sélection ainsi que des tests de durée de vie à long terme (dont certains peuvent être accélérés, par exemple, par la

température), dont le but est de confirmer la validité de la procédure de sélection et d'évaluer la durée de vie et/ou la fiabilité de la technologie, du composant ou de l'ensemble d'équipement. La qualification d'un câble ou d'un équipement sous-marin peut également inclure des essais en mer.

A.6.1.2 Certification des composants et sous-ensembles

Le but de cette activité, qui fait partie du processus de fabrication, est d'assurer l'aptitude de chaque composant ou ensemble d'équipement à répondre à ses spécifications de qualité de fonctionnement et de fiabilité une fois installé. Pour l'équipement sous-marin, chaque composant est certifié.

La certification est fondée sur les résultats des tests de sélection dont le but est d'éliminer tous les éléments ou composants non satisfaisants, notamment ceux qui sont susceptibles de subir des défaillances précoces.

A.6.1.3 Inspection au stade de la fabrication

Le but de cette activité, lors du processus de fabrication, est de vérifier que le plan de qualité est respecté, que chaque opération est accomplie selon la procédure agréée et que le résultat est satisfaisant.

La responsabilité de l'inspection au stade de la fabrication peut être partagée entre le fabricant et les acheteurs d'un système en câbles sous-marins à fibres optiques.

A.6.2 Procédure d'assemblage et d'installation

La topographie est effectuée avant la pose du câble de manière à choisir le tracé et les moyens de protection du câble (protection légère, armure, enfouissement). La topographie consiste à étudier le profil, la température et les variations saisonnières, la morphologie et la nature des fonds marins, la position des câbles et des conduits existants, l'historique des avaries de câble, les activités halieutiques et minières, les courants marins, l'activité sismique, le droit, etc.

L'assemblage d'une liaison consiste à raccorder les sections de câble et les unités de dérivation ainsi qu'à contrôler que la marge garantie est présente pour chaque fibre dans chaque section de câble, de manière à constituer la partie sous-marine. L'assemblage d'une liaison peut s'effectuer en usine avant le chargement, à bord du navire câblé après le chargement ou être partagé entre l'usine et le navire câblé.

Le chargement consiste à installer la partie sous-marine, ou une partie de celle-ci, à bord du navire câblé avant la pose. Lors de cette opération, la liaison est généralement désactivée. Des tests sont effectués périodiquement lors du chargement pour confirmer que la qualité de fonctionnement de l'équipement assemblé n'a pas été affectée par les opérations de chargement.

Le système est testé à la fin de la pose et peut l'être en cours d'installation en vue de s'assurer qu'aucune dégradation importante du système n'a été induite. Les tests d'installation incluent des tests de transmission et de fonctionnement ainsi que, éventuellement, des tests sur les sous-ensembles redondants.

Lors de la pose, une surlongueur de câble prédéterminée (mou) est posée de manière à s'assurer que le câble est correctement installé sur le fond marin.

La pose n'est généralement entreprise que lorsque les conditions météorologiques et maritimes ne créent pas de risque grave d'endommagement de la partie sous-marine, du navire câblé et de l'équipement d'installation ou d'accident affectant le personnel.

Le câble peut être enfoui au fond de la mer pour augmenter la protection du câble. On peut effectuer l'enfouissement lors de la pose en utilisant une charrue remorquée par le navire câblé ou après la pose en utilisant un robot submersible autopropulsé ou d'autres moyens.

A.6.3 Mise en service du système

On effectue des essais de mise en service avant l'ouverture du système au trafic pour s'assurer que le système répond à la qualité de transmission générale requises et qu'il fonctionne correctement.

Si, lors de la conception du système, des équipements redondants sont prévus pour répondre aux objectifs de fiabilité, on pourra utiliser ces composants pour éliminer les dérangements qui surviennent lors de la pose ou avant la mise en service. Mais le but est de s'assurer que le nombre de dispositifs redondants restant disponibles est suffisant pour répondre, avec une haute probabilité, à l'objectif du nombre de réparations effectuées par des navires.

A.7 Maintenance

A.7.1 Maintenance périodique

Cette maintenance est effectuée à partir des stations terminales qui utilisent le système de surveillance. Elle consiste en un contrôle périodique des paramètres de système et, le cas échéant, en une commutation préventive des équipements redondants.

A.7.2 Maintenance en mer

Les systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques peuvent être sujets à des dérangements dus en particulier à des agressions externes et à une défaillance des composants. Il est important de définir et de mettre au point des procédures et des équipements bien établis et efficaces pour faciliter les réparations et limiter la perte de trafic.

La maintenance en mer est généralement effectuée à l'aide de navires câbliers de réparation spécialisés.

A.7.2.1 Localisation des dérangements

Pour les sections de câble terminales, la localisation des dérangements dans les câbles peut être effectuée à partir des stations terminales par des mesures électriques adéquates (résistance, capacité, isolement, etc.) et par la réflectométrie optique.

De même, la localisation des dérangements dans les câbles peut être assurée à l'aide des mêmes méthodes par un navire câblier après récupération des câbles.

A.7.2.2 Relevage du câble

Lors de la récupération du câble, il peut être nécessaire, pour limiter la tension mécanique appliquée au câble, de couper le câble au fond de la mer avant d'en récupérer séparément les deux parties.

A.7.2.3 Réparation en mer

La réparation (en eau peu profonde et profonde) peut nécessiter l'adjonction d'une longueur de câble. Une marge de réparation, proportionnelle au taux de défaillance du câble (déduit d'une analyse statistique des câbles déjà installés) en eau peu profonde et en eau profonde, est généralement incluse dans le bilan de puissance optique. Les procédures de sécurité de réparation sont appliquées à bord du navire câblier et dans la station terminale afin d'assurer la sécurité du personnel travaillant à bord du navire câblier.

Systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs utilisant des amplificateurs optiques à télépompage: bilan de puissance optique entre les points de référence optiques S et R

B.1 Amplificateurs optiques à télépompage

L'utilisation d'amplificateurs optiques à télépompage est une technique largement susceptible de conférer de grands avantages aux systèmes sous-marins sans répéteurs.

Un amplificateur optique à télépompage est constitué d'une section de fibre dopée qui est activée par un faisceau de pompage émis par la station terminale. L'amplificateur optique distant n'est pas alimenté électriquement.

On peut utiliser cette technique du côté émission ou du côté réception d'une liaison (tous les composants électro-optiques, notamment les lasers de pompage, seront placés dans les stations terminales), mais on a constaté qu'elle était plus efficace du côté réception.

La fibre dopée constitue, en combinaison avec un isolateur optique, un dispositif entièrement passif qui peut être implémenté dans un boîtier spécial posé au fond de la mer ou incorporé dans le câble.

L'emplacement optimal de la fibre dopée sur la liaison est fixé par compromis entre les paramètres suivants:

- facteur de bruit de la fibre dopée;
- gain de l'amplificateur optique à télépompage;
- puissance optique disponible du(des) laser(s) de pompage;
- affaiblissement de la fibre de ligne optique;
- marge de réparation de câble de la fibre entre la fibre dopée et la station terminale d'émission ou de réception.

On a constaté que, pour obtenir un bon compromis, il fallait placer la fibre dopée à quelques dizaines de kilomètres de l'extrémité de réception, ce qui permet d'attribuer environ 1 dB de marge de réparation de câble pour toute la durée de vie nominale du système. En outre, on peut accroître la marge de réparation de câble en augmentant la puissance optique du laser de pompage sans aucune conséquence pour la partie submersible du système.

B.2 Bilan de puissance optique pour les systèmes utilisant des amplificateurs optiques à télépompage

Pour accroître la longueur de la section optique, il est nécessaire d'optimiser l'emplacement de la fibre dopée sur la liaison.

La définition du bilan de puissance optique, telle qu'elle est donnée au 5.2.1, ne peut s'appliquer dans ce cas car il y a une amplification du signal optique sur la liaison.

Le bilan de puissance optique n'est donc plus égal à la différence de puissance optique entre les deux extrémités de la liaison mais est égal à l'affaiblissement admissible entre les deux extrémités de la liaison (c'est-à-dire entre les points de référence optiques S et R).

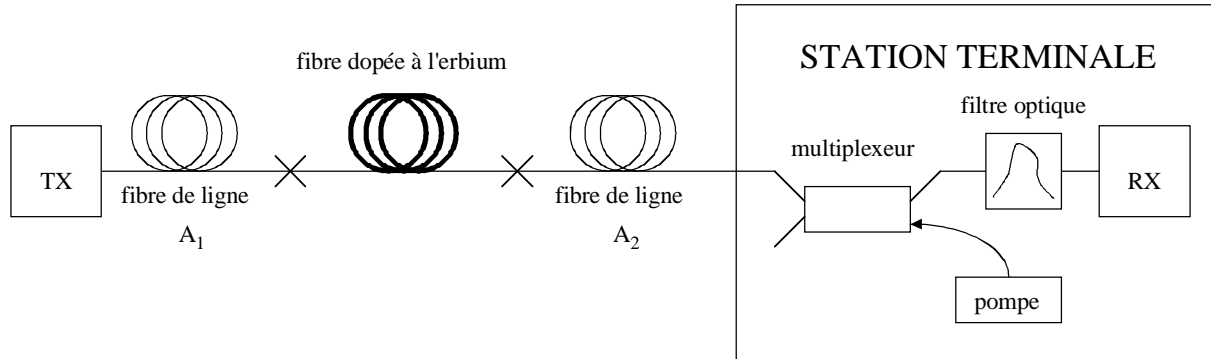
Par rapport à l'exemple donné sur la Figure B.1, le gain de liaison est exprimé comme suit:

$$\text{gain de liaison} = \text{bilan (avec RPOA)} - \text{bilan (sans RPOA)}$$

$$\text{gain de liaison} = (A1 + A2) \text{ (avec RPOA)} - A1 \text{ (sans RPOA)}$$

A_1 et A_2 étant les affaiblissements de la fibre respectivement avant et après la fibre dopée.

La formule ci-dessus montre que l'évolution du gain de bilan est fonction de la puissance optique du laser de pompage et de l'affaiblissement de la fibre entre l'amplificateur à fibre dopée et la station de réception (A_2).



T1520640-96

$$\text{gain de liaison} = \text{bilan (avec RPOA)} - \text{bilan (sans RPOA)} = (A_1 + A_2) (\text{avec RPOA}) - A_1 (\text{sans RPOA})$$

Figure B.1/G.973 – Exemple de configuration de système avec amplificateur optique alimenté par télépompage depuis l'extrémité de réception

SERIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série B	Moyens d'expression: définitions, symboles, classification
Série C	Statistiques générales des télécommunications
Série D	Principes généraux de tarification
Série E	Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques
Série H	Systèmes audiovisuels et multimédias
Série I	Réseau numérique à intégration de services
Série J	Transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	Maintenance: systèmes de transmission, de télégraphie, de télécopie, circuits téléphoniques et circuits loués internationaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Réseaux pour données et communication entre systèmes ouverts
Série Z	Langages de programmation