



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

**UIT-T**

SECTEUR DE LA NORMALISATION  
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS  
DE L'UIT

**G.973**

(12/2003)

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

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

---

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

Recommandation UIT-T G.973

---

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
EQUIPEMENTS DE TEST	G.500–G.599
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	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
<b>Systèmes sous-marins à câbles optiques</b>	<b>G.970–G.979</b>
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
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.7000–G.7999
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.8000–G.8999

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

## Recommandation UIT-T G.973

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

#### 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 porte tant sur les systèmes mono-onde (SWS, *single wavelength system*) que sur les systèmes à multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDMS, *wavelength division multiplexing system*). Elle vise également les aspects liés à la mise en œuvre d'amplificateurs à fibres optiques (OFA, *optical fibre amplifier*) discrets (amplificateurs de puissance, préamplificateurs, amplificateurs à télépompage) et/ou amplificateurs OFA répartis à télépompage employant l'amplification de Raman.

#### Historique

1996 – Version 1.

2003 – Version 2: cette révision inclut de nouvelles descriptions des amplificateurs à télépompage employant l'amplification de Raman. Les caractéristiques des fibres optiques sont insérées dans le § 7.4. L'Annexe A contient aussi à titre indicatif les paramètres des systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs, excédant 5 Gbit/s, et des systèmes à multiplexage par répartition en longueur d'onde. En outre, les descriptions communes ont été transférées dans la Rec. UIT-T G.971.

Comme il ressort de ce qui précède, la présente Recommandation a considérablement évolué au fil des années; le lecteur est donc prié de se reporter à la version appropriée pour déterminer les caractéristiques des produits déjà mis en place, en tenant compte de l'année de production. En fait, on suppose que les produits sont conformes à la Recommandation qui était en vigueur au moment de leur fabrication, mais qu'ils peuvent ne pas être entièrement conformes aux versions suivantes de la Recommandation.

#### Source

La Recommandation G.973 de l'UIT-T a été approuvée le 14 décembre 2003. par la Commission d'études 15 (2001-2004) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

## AVANT-PROPOS

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

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

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

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

## NOTE

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

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

## DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

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

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

© UIT 2004

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

		<b>Page</b>
1	Domaine d'application .....	1
2	Références normatives.....	1
3	Termes et définitions .....	3
	3.1 Définitions.....	3
	3.2 Termes définis dans d'autres Recommandations.....	3
4	Abréviations.....	4
5	Caractéristiques et qualité de fonctionnement du système .....	5
	5.1 Caractéristiques et qualité de fonctionnement des sections de ligne numériques .....	5
	5.2 Caractéristiques et qualité de fonctionnement des sections optiques.....	6
	5.3 Fiabilité du système.....	8
	5.4 Aptitude de mise à niveau des capacités du système .....	8
6	Caractéristiques et qualité de fonctionnement de l'équipement terminal .....	9
	6.1 Généralités.....	9
	6.2 Caractéristiques de transmission .....	9
	6.3 Actions consécutives à une alarme.....	9
	6.4 Commutation automatique .....	10
7	Caractéristiques et qualité de fonctionnement du câble sous-marin.....	10
	7.1 Domaine d'application.....	10
	7.2 Caractéristiques de transmission .....	10
	7.3 Caractéristiques mécaniques et résistance à l'environnement .....	11
	7.4 Caractéristiques des fibres du câble sous-marin.....	12
Annexe A – Implémentation de systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs.....		15
	A.1 Introduction .....	15
	A.2 Configuration de système .....	17
	A.3 Caractéristiques du signal de ligne .....	20
	A.4 Fonctionnement du système .....	21
	A.5 Caractéristiques des unités de dérivation passives .....	21
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 et surveillance en ligne .....		22
	B.1 Amplificateurs optiques à télépompage .....	22
	B.2 Bilan de puissance optique pour les systèmes utilisant des amplificateurs optiques à télépompage .....	23
	B.3 Surveillance en ligne du tronçon de pompage.....	23



# Recommandation UIT-T G.973

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

### 1 Domaine d'application

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 porte tant sur les systèmes mono-onde (SWS, *single wavelength system*) que sur les systèmes à multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDMS, *wavelength division multiplexing system*). Elle vise également les aspects liés à la mise en œuvre d'amplificateurs à fibres optiques (OFA, *optical fibre amplifier*) discrets tels que les amplificateurs de puissance, les préamplificateurs et/ou les amplificateurs optiques à télépompage (soit à fibres optiques de transmission dopées à l'erbium employant le télépompage à partir du terminal ou l'amplification répartie de Raman à pompage à partir du terminal).

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, aucun équipement de téléalimentation (PFE, *power feeding equipment*) n'est nécessaire parce qu'aucun amplificateur OFA n'est placé en ligne.

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 tout texte étant sujet à révision, les utilisateurs de la présente Recommandation sont invités à se reporter, si possible, aux versions les plus récentes des références normatives suivantes. La liste des Recommandations de l'UIT-T en vigueur est régulièrement publiée. La référence à un document figurant dans la présente Recommandation ne donne pas à ce document en tant que tel le statut d'une Recommandation.

- Recommandation UIT-T G.650.2 (2002), *Définitions et méthodes de test applicables aux attributs se rapportant aux caractéristiques statistiques et non linéaires des fibres et câbles optiques monomodes.*
- Recommandation UIT-T G.652 (2003), *Caractéristiques des câbles et fibres optiques monomodes.*
- Recommandation UIT-T G.653 (2003), *Caractéristiques des câbles à fibres optiques monomodes à dispersion décalée.*

- Recommandation UIT-T G.654 (2002), *Caractéristiques des câbles et fibres optiques monomodes à longueur d'onde de coupure décalée.*
- Recommandation UIT-T G.655 (2003), *Caractéristiques des fibres et câbles optiques monomodes à dispersion décalée non nulle.*
- Recommandation UIT-T G.661 (1998), *Définition et méthodes de mesure des paramètres génériques relatifs aux dispositifs et sous-systèmes amplificateurs optiques.*
- Recommandation UIT-T G.662 (1998), *Caractéristiques génériques des dispositifs et sous-systèmes amplificateurs optiques.*
- Recommandation UIT-T G.664 (2003), *Procédures et prescriptions de sécurité optique applicables aux systèmes de transport optiques.*
- Recommandation UIT-T G.692 (1998), *Interfaces optiques pour systèmes multicanaux avec amplificateurs optiques.*
- Recommandation UIT-T G.701 (1993), *Vocabulaire relatif à la modulation par impulsions et codage (MIC), au multiplexage et à la transmission numériques.*
- Recommandation UIT-T G.702 (1988), *Débits binaires de la hiérarchie numérique.*
- Recommandation UIT-T G.703 (2001), *Caractéristiques physiques et électriques des jonctions numériques hiérarchiques.*
- Recommandation UIT-T G.707/Y.1322 (2003), *Interface de nœud de réseau pour la hiérarchie numérique synchrone.*
- Recommandation UIT-T G.783 (2000), *Caractéristiques des blocs fonctionnels des équipements de la hiérarchie numérique synchrone.*
- 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.*
- 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.*
- Recommandation UIT-T G.825 (2000), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques à hiérarchie numérique synchrone.*
- 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.*
- Recommandation UIT-T G.921 (1988), *Sections numériques fondées sur la hiérarchie à 2048 kbit/s.*
- 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.*
- Recommandation UIT-T G.957 (1999), *Interfaces optiques pour les équipements et les systèmes relatifs à la hiérarchie numérique synchrone.*
- Recommandation UIT-T G.971 (2000), *Caractéristiques générales des systèmes de câbles optiques sous-marins.*
- Recommandation UIT-T G.972 (2000), *Définition des termes relatifs aux systèmes de câbles optiques sous-marins.*
- Recommandation UIT-T G.975 (2000), *Correction directe d'erreur pour les systèmes sous-marins.*



- CEI 60825-1:2001, *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur.*
- CEI 60825-2:2000, *Sécurité des appareils à laser – Partie 2: Sécurité des systèmes de télécommunication 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 constitué d'une section de fibre dopée à l'erbium qui est activée par un faisceau de pompage émis par la station terminale.

**3.1.3 amplificateur de Raman réparti (DRA, *distributed Raman amplifier*):** OFA employant une fibre de transmission, comme support amplificateur, à pompage à partir de la station terminale. Le gain est obtenu tout le long de la fibre (il est donc réparti) en utilisant les propriétés de Raman de la fibre jusqu'à ce qu'une puissance de pompage suffisante soit disponible.

**3.1.4 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.

**3.1.5 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.

**3.1.6 coefficient de gain de Raman:** à l'étude.

#### 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, *digital line section*): voir la Rec. UIT-T G.701.
- surdébit de section multiplex (MSOH, *multiplex section overhead*): voir la Rec. UIT-T G.783.
- amplificateur à fibre optique (OFA, *optical fibre amplifier*): voir la Rec. UIT-T G.661.
- points de référence S et R: voir les Recommandations UIT-T G.955 et G.957.
- points de référence S' et R': voir la Rec. UIT-T G.662.
- hiérarchie numérique synchrone (SDH, *synchronous digital hierarchy*): voir la Rec. UIT-T G.707/Y.1322.
- module de transport synchrone (STM, *synchronous transport module*): voir la Rec. UIT-T G.707/Y.1322.
- câble à simple armure: voir la Rec. UIT-T G.972.
- câble à double armure: voir la Rec. UIT-T G.972.

- câble à armure roc: voir la Rec. UIT-T G.972.
- résistance à la traction transitoire nominale: voir la Rec. UIT-T G.972.
- résistance à la traction en régime nominal: voir la Rec. UIT-T G.972.
- résistance à la traction permanente nominale: voir la Rec. UIT-T G.972.
- rayon de courbure minimal d'un câble: voir la Rec. UIT-T G.972.
- charge de rupture d'un câble: voir la Rec. UIT-T G.972.
- charge d'un câble provoquant la rupture de la fibre: voir la Rec. UIT-T G.972.

#### 4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

BER	taux d'erreurs sur les bits ( <i>bit error ratio</i> )
BU	unité de dérivation ( <i>branching unit</i> )
CSF	fibre monomode à longueur d'onde de coupure décalée ( <i>cut-off shifted single mode fibre</i> )
DCF	fibre monomode à compensation de dispersion ( <i>dispersion compensation single mode fibre</i> )
DLS	tronçon de ligne numérique ( <i>digital line section</i> )
DRA	amplification répartie de Raman ( <i>distributed Raman amplification</i> )
DSF	fibre monomode à dispersion décalée ( <i>dispersion shifted single mode fibre</i> )
EDF	fibre dopée à l'erbium ( <i>erbium doped fibre</i> )
ITI	interface terrestre intermédiaire ( <i>intermediate terrestrial interface</i> )
MSOH	préfixe de section multiplex ( <i>multiplex section overhead</i> )
MTC	câble terrestre marinisé ( <i>marinized terrestrial cable</i> )
NRZ	non-retour à zéro ( <i>no return to zero</i> )
NZDSF	fibre monomode à dispersion décalée non nulle ( <i>non-zero dispersion shifted single mode fibre</i> )
OFA	amplificateur à fibres optiques ( <i>optical fibre amplifier</i> )
PDH	hiérarchie numérique plésiochrone ( <i>plesiochronous digital hierarchy</i> )
PFE	équipement de téléalimentation ( <i>power feeding equipment</i> )
PMD	dispersion modale de polarisation ( <i>polarization mode dispersion</i> )
RPOA	amplificateur optique à télépompage ( <i>remotely pumped optical amplifier</i> )
SDH	hiérarchie numérique synchrone ( <i>synchronous digital hierarchy</i> )
SMF	fibre monomode ( <i>single-mode fibre</i> )
STM	module de transport synchrone ( <i>synchronous transport module</i> )
SWS	système mono-onde ( <i>single wavelength system</i> )
TI	interface de terminal ( <i>terminal interface</i> )
TTE	équipement terminal de transmission ( <i>terminal transmission equipment</i> )
WDM	multiplex par répartition en longueur d'onde ( <i>wavelength division multiplex</i> )

WDMS système multiplex par répartition en longueur d'onde (*wavelength division multiplex system*)

## **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 UIT-T G.702, G.703, G.707/Y.1322, etc.

Plusieurs interfaces à débits différents 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, Rec. UIT-T G.821 pour les systèmes PDH et Rec. UIT-T 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 Rec. UIT-T 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.

Pour les systèmes SDH, les paramètres applicables sont les secondes gravement erronées et les secondes erronées. Ces paramètres sont extraits de la Rec. UIT-T G.826.

#### **5.1.3 Disponibilité du système**

Pour les systèmes PDH:

- la définition du temps d'indisponibilité est extraite de l'Annexe A/G.821;
- conformément à l'Annexe A/G.821 une période d'indisponibilité commence lorsque le taux d'erreurs 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:

- la définition du temps d'indisponibilité est extraite de la Rec. UIT-T 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 aux Recommandations UIT-T G.823, G.825 et à d'autres Recommandations s'appliquant aux interfaces et interfaces intermédiaires de Terre pendant la durée de vie nominale du système.

#### **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 déterminer) 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.

#### **5.1.6 Indépendance des sections de ligne numérique**

Il est recommandé que toute défaillance, toute opération de maintenance, toute opération de surveillance, etc., sur une section de ligne numérique n'ait pas d'incidence sur la qualité de fonctionnement indiquée des autres sections DLS du système. En particulier:

- a) pour les systèmes à multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDMS) et les systèmes à multiplexage dense par répartition en longueur d'onde (DWDMS, *dense wavelength division multiplex system*)
  - toute défaillance qui concerne moins de la moitié du nombre de longueurs d'onde ne doit avoir d'incidence sur les longueurs d'onde restantes;
- b) pour les systèmes mono-onde (SWS), les systèmes WDMS et les systèmes DWDMS
  - 1) toute défaillance sur une paire de fibres ne doit avoir d'incidence sur les autres paires de fibres du système;
  - 2) toute défaillance sur un affluent à un niveau quelconque de multiplexage ou de démultiplexage (optique ou électrique) dans le système ne doit avoir d'incidence sur les parties restantes du système.

Les effets à court terme, s'ils devaient néanmoins se produire, devraient normalement être considérés comme étant tolérables.

### **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 les puissances optiques moyennes, exprimées 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'erreurs sur les bits de l'équipement de réception serait supérieur à  $10^{-12}$ ;
- 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  $10^{-12}$ ;
- 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). 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 Rec. UIT-T G.662.

En outre, l'utilisation d'amplificateurs optiques à télépompage (RPOA, *remotely pumped optical amplifiers*) et d'amplificateurs répartis de Raman est également examinée. Un amplificateur optique à télépompage est constitué d'une section de fibre dopée à l'erbium à pompage à partir de la station terminale à une longueur d'onde appropriée, alors que les amplificateurs répartis de Raman emploient la fibre elle-même comme support d'amplification et nécessitent une fibre à pompage à partir de la station terminale à une longueur d'onde appropriée. L'amplificateur distant discret ou l'amplificateur réparti de Raman 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;

- 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.

### 5.4 Aptitude de mise à niveau des capacités du système

Il peut être avantageux d'augmenter la capacité de transmission en augmentant le débit du signal et/ou le nombre de canaux de transmission (systèmes WDMS ou DWDMS). De telles mises à niveau peuvent être rentables parce que le réemploi des câbles peut être réalisé au meilleur coût tout au long de la durée de vie de l'équipement, généralement 25 ans.

L'aptitude de mise à niveau du débit exige que les systèmes soient construits au moyen de câbles optimisés pour les hauts débits, même si des équipements TTE à faible débit sont employés au départ. Même après la mise à niveau, le débit de la sortie de l'équipement TTE doit être conforme

aux spécifications relatives aux systèmes SDH afin d'assurer la compatibilité avec l'équipement normalisé de Terre.

L'aptitude de mise à niveau exige aussi que le câble initialement installé soit en mesure d'acheminer le nombre maximal de canaux prévu à l'avenir.

La mise à niveau en augmentant le débit du signal ou en ajoutant des canaux diffère beaucoup, de plusieurs points de vue, de la conception des systèmes où interviennent la puissance de sortie postamplificateur, la puissance d'entrée préamplificateur, le bilan de puissance, le rapport signal sur bruit, la dispersion chromatique des fibres et les non-linéarités des fibres. Il est donc recommandé de concevoir les systèmes de façon appropriée en tenant compte de la possibilité de mises à niveau ultérieures.

## **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 aux Recommandations UIT-T G.823, G.825 et à d'autres Recommandations pertinentes pendant toute 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. 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 Rec. UIT-T G.664 et aux publications CEI 60825-1 et CEI 69825-2.

## 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.

Il est recommandé que l'équipement de secours soit 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 marinisé (MTC, *marinized 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 UIT-T G.652, G.653, G.654 ou G.655. 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.

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 est recommandé que la durée des essais soit aussi courte que possible.

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 Rec. UIT-T 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 Rec. UIT-T 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 – Il est recommandé que le câble comporte 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.

### **7.4 Caractéristiques des fibres du câble sous-marin**

#### **7.4.1 Généralités**

Les principaux paramètres qui caractérisent une fibre optique sont les suivants:

- le coefficient d'affaiblissement pour toutes les longueurs d'onde de fonctionnement, exprimé en dB/km;
- le coefficient d'affaiblissement pour toutes les longueurs d'onde de fonctionnement du pompage, exprimé en dB/km;

- le coefficient de dispersion chromatique pour toutes les longueurs d'onde de fonctionnement en ps/nm.km;
- la longueur d'onde de dispersion nulle  $\lambda_0$  en nm;
- la pente de dispersion autour des longueurs d'onde de fonctionnement en ps/nm<sup>2</sup>.km;
- l'indice de réfraction non linéaire  $n_2$  en m<sup>2</sup>/W;
- la surface effective  $A_{\text{eff}}$  en  $\mu\text{m}^2$ ;
- le coefficient de non-linéarité  $n_2/A_{\text{eff}}$  en W<sup>-1</sup>;
- la dispersion moyenne des modes de polarisation de l'ensemble (PMD, *polarization dispersion mode*) en ps/(km)<sup>1/2</sup>;
- le coefficient de gain de Raman en m/W en cas d'emploi de l'amplification répartie de Raman.

Compte tenu de ces paramètres, les concepteurs de systèmes sous-marins peuvent distinguer plusieurs types de fibre optique, dont:

- les fibres monomodes (SMF, *single mode fibre*) définies dans la Rec. UIT-T G.652;
- les fibres monomodes à dispersion décalée (DSF, *dispersion shifted single mode fibre*) définies dans la Rec. UIT-T G.653;
- les fibres monomodes à longueur d'onde de coupure décalée (CSF, *cut-off shifted single mode fibre*) définies dans la Rec. UIT-T G.654;
- les fibres monomodes à dispersion décalée non nulle (NZDSF, *non-zero dispersion shifted single mode fibre*) définies dans la Rec. UIT-T G.655;
- les fibres monomodes à compensation de la dispersion (DCF, *dispersion compensation single mode fibre*);
- les fibres à pente négative de la dispersion;
- les fibres à sections efficaces très grandes;
- les fibres à cœur de silice pur.

Suivant les spécifications du système (débit et codage, nombre de longueurs d'onde, distance entre deux amplificateurs, puissance de sortie des amplificateurs, longueur de la liaison), on peut utiliser diverses combinaisons de ces types de fibre pour garantir la performance du système. On parle alors de gestion de la dispersion.

#### 7.4.2 Affaiblissement le long des fibres

L'affaiblissement le long d'une fibre optique est caractérisé par le coefficient d'affaiblissement exprimé en dB/km (valeur logarithmique) ou en km<sup>-1</sup> (valeur linéaire).

#### 7.4.3 Non-linéarité des fibres

Il faut tenir compte des effets non linéaires lors de la conception de liaisons optiques à grande distance avec des amplificateurs OFA à puissance de sortie élevée. Ces effets sont cumulatifs le long de la liaison optique et sont susceptibles de dégrader considérablement la propagation. Dans les systèmes SWS, l'effet prédominant de la non-linéarité est généralement une automodulation de phase du signal proportionnelle au coefficient de non-linéarité (rapport  $n_2/A_{\text{eff}}$ ) multiplié par le carré de son amplitude normalisée. En présence de dispersion chromatique, cette non-linéarité provoque un étalement de l'impulsion dans le domaine temporel et, par conséquent, une dégradation de la performance du système. Toutefois, dans les systèmes à plusieurs longueurs d'onde, l'effet prédominant est normalement la modulation à croisement de phases, due à la présence de longueurs d'onde adjacentes. Cette non-linéarité entraîne aussi une dégradation de la performance.

#### 7.4.4 Dispersion modale de polarisation (PMD)

De faibles écarts par rapport à la symétrie cylindrique parfaite du cœur de la fibre conduisent à une biréfringence en raison d'indices de mode différents associés aux composantes du mode fondamental à polarisation orthogonale. La dispersion PMD entraîne un étalement de l'impulsion et doit être limitée à une valeur maximale. Cette valeur, qui peut être exprimée pour toute la liaison, est généralement fixée comme valant une certaine proportion de l'intervalle de temps d'un bit. La dispersion PMD peut également être exprimée en  $\text{ps}/(\text{km})^{1/2}$ .

#### 7.4.5 Dispersion chromatique

La dispersion chromatique correspond à la variation des vitesses de groupe en fonction de la longueur d'onde de sorte que toutes les composantes spectrales d'un signal optique se propageront à des vitesses différentes. Il en résulte un étalement de l'impulsion, qui peut entraîner une importante dégradation. Suivant le système et en particulier suivant le nombre de longueurs d'onde, il peut être intéressant de gérer cette dispersion de façon tout à fait différente pour limiter l'étalement de l'impulsion et d'autres effets de propagation. Généralement, cette gestion conduit à une carte de la dispersion indiquant comment la dispersion est gérée tout au long de la liaison.

##### 7.4.5.1 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, à une longueur d'onde de fonctionnement donnée, en fonction de la distance entre l'émetteur et le récepteur optiques. La carte de dispersion dépendra du nombre de longueurs d'onde dans le système.

##### 7.4.5.2 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, etc.).

A l'extrémité émission (précompensation) et/ou réception (postcompensation) de l'équipement TTE, on peut, pour chaque longueur d'onde, compenser la dispersion cumulative en utilisant une certaine longueur de fibre d'égalisation ou d'autres dispositifs passifs de compensation de la dispersion.

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, de la dispersion et de la pente de dispersion des fibres DSF, NDSF, DCF, NZDSF, CSF, à pente négative et EDF constituantes;
- 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 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, jusqu'à 5 Gbit/s pour une longueur d'onde unique, et dans le Tableau A.2, pour des débits supérieurs et des systèmes à multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDMS).

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 Rec. UIT-T G.972.

**Tableau A.1/G.973 – Paramètres de système illustratifs des systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs jusqu'à 5 Gbit/s et pour une longueur mono-onde**

<b>Systèmes</b>	<b>560 M (PDH)</b> 4 × 140 Mbit/s	<b>622 M (SDH)</b> 4 × 140/155 Mbit/s	<b>2488 M (SDH)</b> 16 × 140/155 Mbit/s	<b>4977 M (SDH)</b> 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)		
NOTE 1 – FFS signifie "à étudier".				
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.				
NOTE 6 – Il sera possible de prendre en considération la technologie multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) 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.				

**Tableau A.2/G.973 – Paramètres de système illustratifs des systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs au-delà de 5 Gbit/s et pour des systèmes à multiplexage en longueur d'onde (FFS)**

Systèmes	10 G			
Capacité de transmission (canaux à 64 kbit/s)				
Débit d'information (Mbit/s)				
Débit en ligne (Mbit/s) (Note 4)				
Code de ligne (Note 3)				
Longueur maximale du système (km) (Note 2)				
Profondeur (m)	jusqu'à ~ 4000			
Type de fibre	G.652; G.653; G.654; G.655			
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				
Gigue				

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.

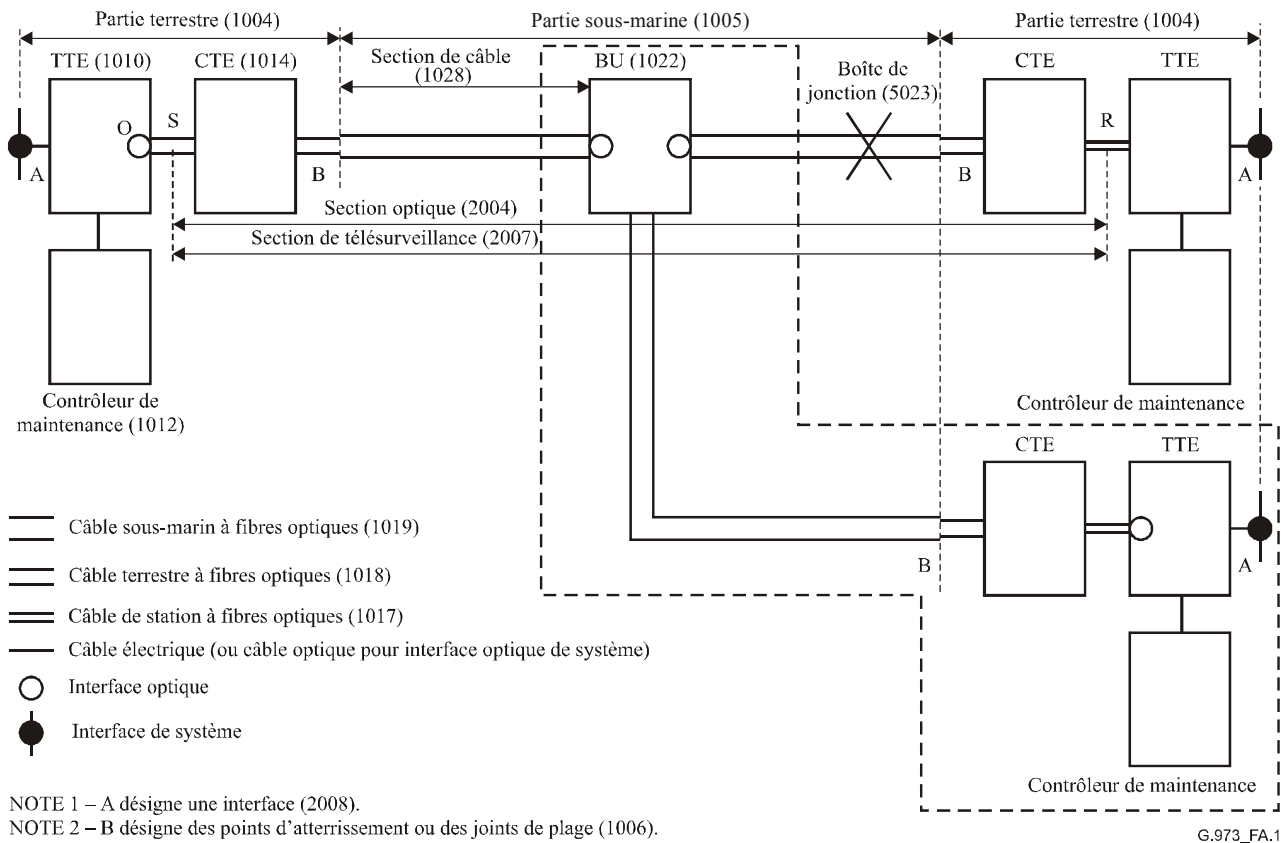
## A.2 Configuration de système

### 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.



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

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.

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 Rec. UIT-T 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.

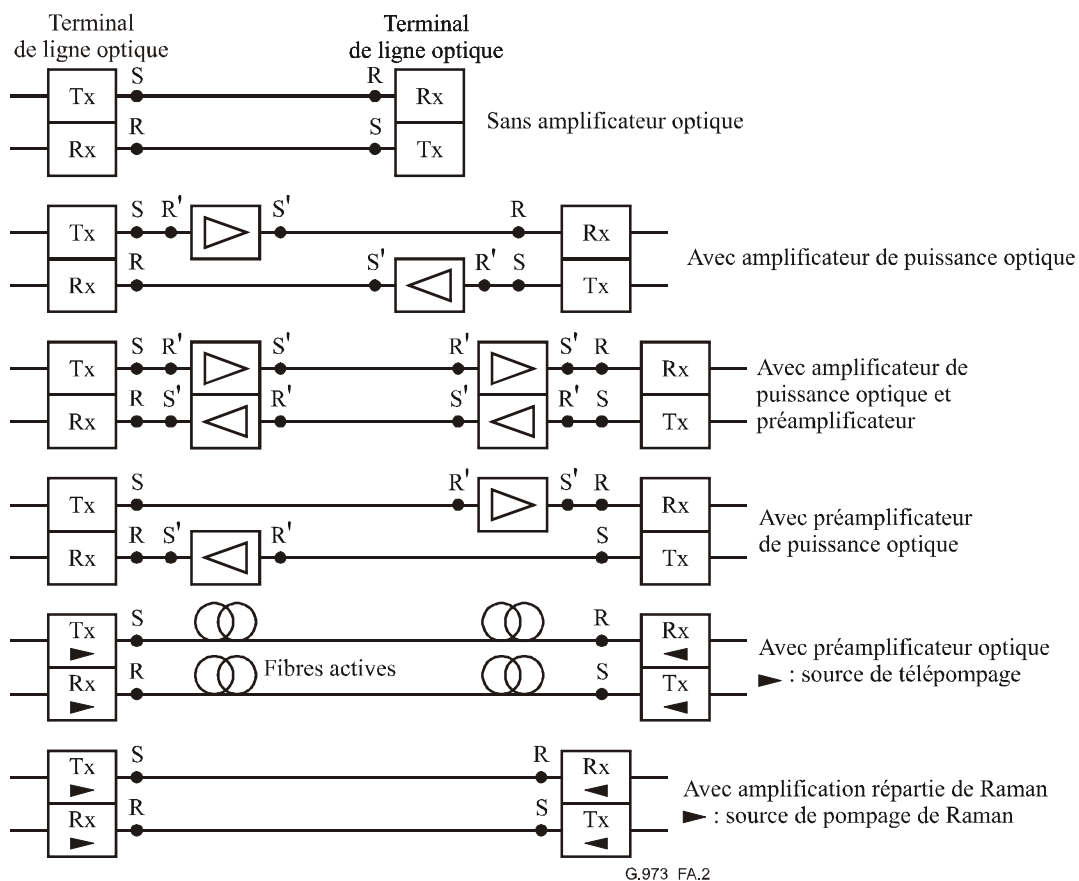


Figure A.2/G.973 – Configurations de système possibles

## 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 Rec. UIT-T 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  $n \times 10^{-p}$ ,  $p$  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 (préfixe 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.

Une voie de liaison spécialisée peut être 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.

## **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 et surveillance en ligne**

#### **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.

- i) La fibre dopée constitue, en combinaison avec un isolateur optique, un dispositif entièrement passif qui peut être implémenté, comme illustré dans la Figure B.1, 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 ou des lasers 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.

- ii) Amplification répartie de Raman  
A l'étude.

## 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).

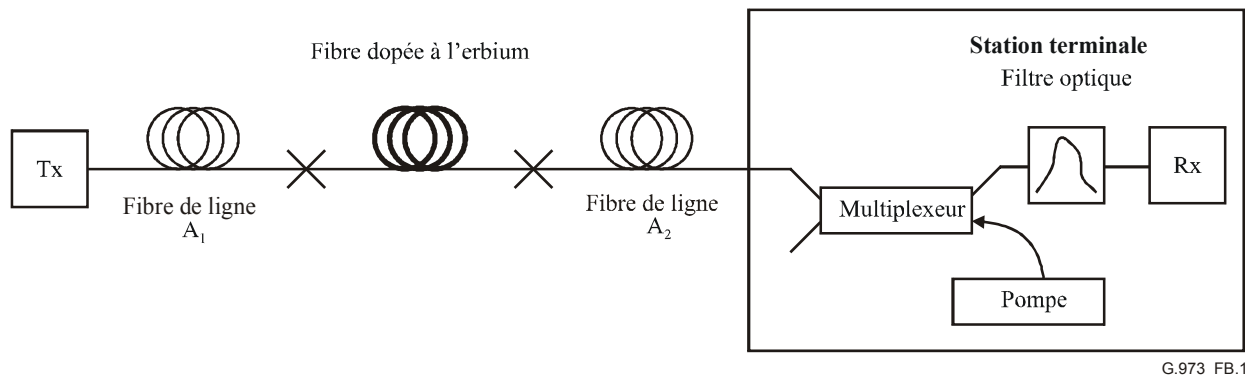
Par rapport à l'exemple donné sur la Figure B.1, le gain de liaison est exprimé comme suit:

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

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

$A_1$  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 ( $A_2$ ). (Voir figure B.1)



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

## B.3 Surveillance en ligne du tronçon de pompage

La performance du système sans répéteurs avec un amplificateur réparti de Raman et un amplificateur à télépompage dépend singulièrement de la puissance de la pompe, de l'affaiblissement des fibres dans le tronçon de pompage et des conditions de défaillance. Un système de surveillance en ligne du tronçon de télépompage doit être en mesure de surveiller l'état et la performance à partir d'une station terrestre. Ce système de surveillance des lignes doit pouvoir fonctionner, sans nuire à la performance du système, lorsque la liaison est en service ou qu'elle est hors service.

Dans la Figure B.2 est représentée la configuration de base de la surveillance en ligne dans un système en câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteurs. Le réflectomètre temporel optique (OTDR, *optical time domain reflectometer*), l'un des systèmes possibles, est employé surtout pour la caractérisation et la localisation des défaillances des fibres optiques. Il peut être mis en place comme un système de surveillance des caractéristiques relatives au gain des amplificateurs optiques.

Deux caractéristiques utiles sont obtenues dans le cadre de la surveillance en ligne:

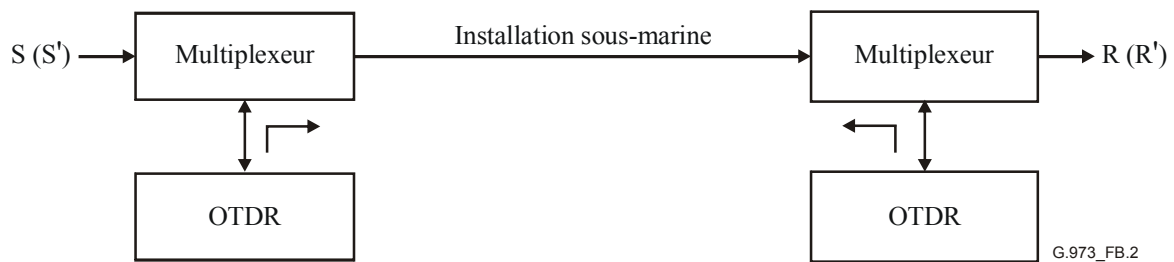
- le gain d'amplification répartie de Raman (distribution du gain de l'amplificateur optique);
- le gain d'amplification optique de l'amplificateur à télépompage.

NOTE 1 – Aucun isolant optique n'est requis dans un amplificateur optique à télépompage pour déterminer le gain d'amplification optique de celui-ci. Lors de la mise en œuvre d'amplificateurs optiques à télépompage avec des isolants optiques, on ne pourra pas déterminer le gain de l'amplificateur.

NOTE 2 – La capacité de surveillance en ligne du gain d'amplification répartie de Raman ne sera pas affectée par les isolants optiques dans un amplificateur à télépompage.

En ce qui concerne les techniques de détection, les réflectomètres OTDR se classent en deux catégories portant sur les techniques de détection directe et les techniques de détection cohérente. Pour la surveillance en ligne, le réflectomètre OTDR cohérent (COTDR) présente plus d'avantages que celui qui applique la détection directe, parce qu'il possède une sensibilité de détection élevée et une sélectivité excellente pour un signal faiblement rétrodiffusé en présence du bruit d'émission spontanée accumulé.

La spécification relative au signal lumineux d'essai pour le réflectomètre, précise que ce signal doit être de faible puissance et de forme et de longueur d'onde qui n'affectent pas la performance de la transmission. L'injection d'un signal lumineux d'essai de forte puissance dans les systèmes d'amplification entraîne, notamment, des dégradations de la performance de la transmission. (Voir Figure B.2.)



**Figure B.2/G.973 – Exemple d'une surveillance en ligne au moyen d'un réflectomètre OTDR**



## SÉRIES 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
<b>Série G</b>	<b>Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques</b>
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	RGT et maintenance des réseaux: systèmes de transmission, circuits téléphoniques, télégraphie, télécopie 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 de données et communication entre systèmes ouverts
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information, protocole Internet et réseaux de nouvelle génération
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication