



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

**UIT-T**

SECTEUR DE LA NORMALISATION  
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS  
DE L'UIT

**G.974**

(03/93)

**SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES  
DE LIGNE NUMÉRIQUE**

---

**CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES SUR  
CÂBLE SOUS-MARIN À FIBRES OPTIQUES  
ÉQUIPÉS DE RÉGÉNÉRATEURS**

**Recommandation UIT-T G.974**

(Antérieurement «Recommandation du CCITT»)

---

## AVANT-PROPOS

L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) est un organe permanent de l'Union internationale des télécommunications (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 que les Commissions d'études de l'UIT-T doivent examiner et à propos desquels elles doivent émettre des Recommandations.

La Recommandation UIT-T G.974, élaborée par la Commission d'études XV (1988-1993) de l'UIT-T, a été approuvée par la CMNT (Helsinki, 1-12 mars 1993).

---

## NOTES

1 Suite au processus de réforme entrepris au sein de l'Union internationale des télécommunications (UIT), le CCITT n'existe plus depuis le 28 février 1993. Il est remplacé par le Secteur de la normalisation des télécommunications de l'UIT (UIT-T) créé le 1<sup>er</sup> mars 1993. De même, le CCIR et l'IFRB ont été remplacés par le Secteur des radiocommunications.

Afin de ne pas retarder la publication de la présente Recommandation, aucun changement n'a été apporté aux mentions contenant les sigles CCITT, CCIR et IFRB ou aux entités qui leur sont associées, comme «Assemblée plénière», «Secrétariat», etc. Les futures éditions de la présente Recommandation adopteront la terminologie appropriée reflétant la nouvelle structure de l'UIT.

2 Dans la présente Recommandation, le terme «Administration» désigne indifféremment une administration de télécommunication ou une exploitation reconnue.

© UIT 1994

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

		<i>Page</i>
1	Introduction .....	1
2	Caractéristiques et qualité de fonctionnement du système .....	1
2.1	Caractéristiques et qualité de fonctionnement des sections de ligne numériques .....	1
2.2	Caractéristiques et qualité de fonctionnement des sections optiques.....	2
2.3	Fiabilité du système .....	3
3	Caractéristiques et qualité de fonctionnement de l'équipement terminal .....	3
3.1	Considérations générales .....	3
3.2	Qualité de transmission.....	3
3.3	Dispositions à prendre à la suite d'une alarme .....	4
3.4	Commutation automatique.....	4
4	Caractéristiques et qualité de fonctionnement du répéteur.....	4
4.1	Caractéristiques du signal à l'interface optique.....	4
4.2	Caractéristiques de gigue .....	5
5	Caractéristiques et performances du câble .....	5
5.1	Caractéristiques de transmission.....	5
5.2	Caractéristiques mécaniques et résistance à l'environnement.....	5
5.3	Caractéristiques électriques .....	6
Annexe A	– Mise en œuvre de systèmes sur câble sous-marin à fibres optiques équipés de régénérateurs .....	8
A.1	Introduction .....	8
A.2	Configuration des systèmes .....	8
A.3	Caractéristiques du signal de ligne .....	10
A.4	Exploitation du système.....	11
A.5	Caractéristiques des répéteurs et des unités de dérivation .....	11
A.6	Fabrication et installation.....	12
A.7	Maintenance.....	14



# CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES SUR CÂBLE SOUS-MARIN À FIBRES OPTIQUES ÉQUIPÉS DE RÉGÉNÉRATEURS

(Helsinki, 1993)

## 1 Introduction

La présente Recommandation traite essentiellement de la qualité de fonctionnement et des conditions d'interface des systèmes sur câble sous-marin à fibres optiques équipés de régénérateurs. La mise en œuvre pratique de ces systèmes est examinée séparément dans l'Annexe A à la présente Recommandation.

## 2 Caractéristiques et qualité de fonctionnement du système

### 2.1 Caractéristiques et qualité de fonctionnement des sections de ligne numériques

Les sections de ligne numériques établies au travers du système doivent être conformes aux Recommandations pertinentes du CCITT.

#### 2.1.1 Caractéristiques des signaux numériques à l'interface du système

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

Plusieurs débits binaires d'interface peuvent coexister dans un seul et même système sur câble sous-marin à fibres optiques.

#### 2.1.2 Performance d'erreur globale

La performance d'erreur d'un système sur câble sous-marin à fibres optiques doit être conforme à la Recommandation G.821 pendant la durée de vie nominale du système. Les paramètres pertinents sont les minutes dégradées, les secondes gravement erronées et les secondes erronées. Ils sont déduits de la Recommandation G.821, qui prescrit le taux d'erreur à 64 kbit/s, et sont établis au prorata de la longueur. Des informations sur l'extrapolation de la qualité de fonctionnement du système à partir de la qualité au niveau 64 kbit/s sont données dans l'Annexe D/G.821 (*Livre bleu*).

#### 2.1.3 Disponibilité du système

Les caractéristiques de fonctionnement en ce qui concerne le temps d'indisponibilité sont extraites de l'Annexe A/G.821 (*Livre bleu*), et établies au prorata de la longueur. On obtient l'attribution pour une section de ligne numérique (DLS) (*digital line section*) en multipliant l'attribution par km par la longueur de la DLS.

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

Conformément à l'Annexe A/G.821 (*Livre bleu*), une période de temps d'indisponibilité commence lorsque le taux d'erreur sur les bits (BER) (*bit error ratio*) est moins bon que  $1 \times 10^{-3}$  pendant chaque seconde d'une période de dix secondes consécutives. On considère que ces dix secondes appartiennent au temps d'indisponibilité. La période d'indisponibilité se termine lorsque le BER est meilleur que  $1 \times 10^{-3}$  pendant chaque seconde d'une période de dix secondes consécutives. On considère que ces dix secondes appartiennent au temps de disponibilité.

La spécification de l'indisponibilité s'applique au temps d'indisponibilité causé par les défaillances de composants du système; elle englobe, par exemple, la commutation des lasers, les défaillances des terminaux ainsi que les opérations de supervision et de maintenance qui entraînent des interruptions de dix secondes ou plus. Elle ne comprend pas les défaillances causées par les chalutiers ou par d'autres facteurs externes, y compris le temps de reconfiguration de la téléalimentation du système et toute période pendant laquelle le système est mis hors tension pour réparation. De même, les défaillances qui nécessitent l'intervention d'un navire câblé ne sont pas incluses dans le calcul du temps d'indisponibilité.

## 2.1.4 Caractéristiques de gigue

Les caractéristiques de la gigue d'un système sur câble sous-marin à fibres optiques doivent être conformes à la Recommandation G.823 pendant la durée de vie nominale du système. Cela s'applique en particulier:

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

## 2.1.5 Répartition de la qualité de fonctionnement entre les différentes parties du système

On obtient la qualité de fonctionnement de bout en bout pour une section de ligne numérique (DLS) (*digital line section*) donnée en multipliant l'attribution spécifiée par km par la longueur de la DLS. Lorsqu'il est nécessaire d'attribuer une dégradation de qualité à diverses portions de la DLS, une dégradation correspondant à une longueur fixe (généralement 125 km) est attribuée à chaque équipement de station terminale et on attribue à la partie sous-marine une valeur égale à la différence entre la spécification de la DLS et l'attribution à la station terminale au prorata de la longueur.

## 2.2 Caractéristiques et qualité de fonctionnement des sections optiques

### 2.2.1 Bilan de puissance optique

Les erreurs engendrées le long des parties sous-marines des systèmes équipés de régénérateurs s'accumulent et la performance d'erreur globale dépend, en conséquence, de la performance d'erreur de chaque section optique.

La qualité optique d'une section optique est caractérisée par son bilan de puissance optique, à savoir la différence entre les puissances optiques moyennes, exprimées en dBm, aux deux extrémités d'une section optique, que l'on peut obtenir en tenant compte des caractéristiques des composants optiques de l'équipement aux deux extrémités de la section élémentaire de câble. On peut utiliser le bilan de puissance optique pour calculer la longueur de la section élémentaire de câble qui permet de répondre aux conditions de performance d'erreur globale requises pour chaque section de ligne numérique incluse dans le système sur câble sous-marin à fibres optiques.

On peut, pour calculer le bilan de puissance optique, utiliser plusieurs méthodes, dont la méthode du cas le plus défavorable, la méthode statistique et la 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 du signal optique modulé par un signal électrique pseudo-aléatoire avec une densité de puissance spécifiée, présente à l'entrée de la fibre optique amorce d'un récepteur, au-dessous de laquelle l'équipement de réception présenterait un taux d'erreur sur les bits supérieur à  $10^{-x}$ .
- Puissance optique de saturation du récepteur (dBm)  
Puissance optique moyenne du signal optique modulé par un signal électrique pseudo-aléatoire avec une densité de puissance spécifiée, présente à l'entrée de la fibre optique amorce d'un récepteur, au-dessus de laquelle l'équipement de réception présenterait un taux d'erreur sur les bits supérieur à  $10^{-x}$ .
- Plage dynamique (dB)  
Différence entre la puissance optique de saturation du récepteur et la sensibilité du récepteur.
- Puissance moyenne injectée (dBm)  
Puissance optique moyenne du signal de ligne optique à la sortie de la fibre optique amorce de l'émetteur.
- Affaiblissement interne de l'équipement (dB)
- Affaiblissement de la section optique (dB)

- Pénalité de fonctionnement du système (dB)  
Prenant en compte la différence entre la qualité d'un régénérateur «idéal» et celle d'un régénérateur «réel» associée à une section complète de câble. Les phénomènes à prendre en considération dans la valeur de ce paramètre comprennent la réinjection optique, les imperfections de l'égalisation, le bruit de partition, la diaphonie entre régénérateurs, la dispersion chromatique, etc.
- Marge de vieillissement (dB)  
Prenant en compte la variation de l'affaiblissement des composants optiques, y compris de celui des fibres, due au vieillissement pendant la durée de vie nominale du système.
- Provision pour réparation (dB)  
Prenant en compte l'augmentation possible de l'affaiblissement de la fibre du câble due aux réparations du câble pendant la durée de vie nominale du système. La valeur de la provision pour réparation dépend de la profondeur marine. Généralement, aucune provision pour réparation n'est attribuée aux sections de câble en eau profonde. On peut obtenir la provision pour les sections en eau peu profonde en multipliant un nombre de réparations, proportionnel à la longueur de la section de câble, par un affaiblissement moyen par réparation égal à l'affaiblissement de deux raccords de câble auquel on ajoute l'affaiblissement d'une longueur de câble proportionnelle à la profondeur marine.
- Marge non assignée  
Provision pour les phénomènes qui ne peuvent être prévus de manière précise.
- Marge de surcharge  
Différence minimale entre la puissance reçue et la puissance optique de saturation du récepteur.

Un paramètre important qu'il convient de spécifier pour faciliter la mise en service du système est la marge garantie, à savoir la marge minimale du bilan de puissance de chaque section optique particulière qui doit être mesurée à un instant donné, par exemple lors de 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 pour réparation et de la marge non assignée.

### 2.3 Fiabilité du système

La fiabilité de la partie sous-marine d'un système sur câble sous-marin 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 pendant la durée de vie nominale du système:  
en ce qui concerne la fiabilité du système, il est en général demandé que le nombre de défaillances nécessitant l'intervention d'un navire câblé pendant la durée de vie nominale du système soit inférieur à trois;
- durée de vie nominale du système:  
période de temps pendant laquelle le système sur câble sous-marin à fibres optiques est conçu pour fonctionner conformément à sa spécification. Généralement, la durée de vie nominale du système est une période de 25 années qui commence à la date de recette provisoire, c'est-à-dire à la date, postérieure à l'installation, où le système est conforme à sa spécification de fonctionnement.

## 3 Caractéristiques et qualité de fonctionnement de l'équipement terminal

### 3.1 Considérations générales

Le but de l'équipement terminal est d'assembler les affluents pour les transmettre sur le système sur câble sous-marin à fibres optiques, d'assurer la téléalimentation électrique de l'installation immergée et d'assurer des fonctions de contrôle et de maintenance.

### 3.2 Qualité de transmission

#### 3.2.1 Caractéristiques du signal numérique à l'interface du système

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

### 3.2.2 Caractéristiques du signal à l'interface optique

Le signal à l'interface optique doit être conforme au bilan de puissance de la section optique terminale. Au moment de l'installation du système, certaines limites indiquées ci-dessous doivent, en particulier, être respectées:

- *Puissance moyenne minimale à l'entrée du TTE (dBm)*  
Puissance optique moyenne du signal optique en ligne qui doit être présente à l'interface optique d'entrée du terminal afin que le bilan de puissance optique de la section de câble offre la marge garantie.
- *Puissance moyenne minimale à la sortie du TTE (dBm)*  
Puissance optique moyenne du signal optique en ligne qui doit être présente à l'interface optique de sortie du terminal afin que le bilan de puissance optique de la section de câble offre la marge garantie.

### 3.2.3 Caractéristiques de gigue

Les caractéristiques de gigue du TTE d'un système sur câble sous-marin à fibres optiques doivent être conformes à la Recommandation G.823 pendant toute la durée de vie du système. Cela s'applique en particulier:

- à la tolérance en gigue, pour chaque section de ligne numérique, à l'interface d'entrée du système;
- à la gigue maximale de sortie, pour chaque section de ligne numérique, à l'interface de sortie du système;
- à la caractéristique de transfert de gigue, le terminal étant rebouclé sur lui-même, pour chaque section de ligne numérique, entre l'interface d'entrée et l'interface de sortie du système.

Il suffit que les caractéristiques de gigue du TTE (tolérance de gigue, gigue maximale de sortie, caractéristiques de transfert de gigue) à l'interface optique soient compatibles avec la spécification particulière du système.

## 3.3 Dispositions à prendre à la suite d'une alarme

L'équipement terminal doit détecter les défaillances et prendre les mesures en conséquence, comme indiqué en détail dans les Recommandations pertinentes du CCITT (voir en particulier le Tableau 4/G.921).

## 3.4 Commutation automatique

Lorsque la commutation automatique est utilisée pour répondre aux conditions générales de disponibilité:

- la dégradation du trafic due à la commutation doit être réduite au minimum de manière à être compatible avec la qualité générale de fonctionnement 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 contrôlé comme l'équipement en service, sauf certaines parties spécifiques, par exemple l'émetteur optique.

# 4 Caractéristiques et qualité de fonctionnement du répéteur

## 4.1 Caractéristiques du signal à l'interface optique

Le signal à l'interface optique doit être conforme au bilan de puissance de la section optique. Au moment de l'assemblage du système, certaines limites indiquées ci-dessous doivent, en particulier, être respectées:

- *Puissance moyenne minimale à l'entrée du répéteur (dBm)*  
Puissance optique moyenne du signal optique en ligne qui doit, au moment de l'assemblage de la liaison, être présente à l'interface optique d'entrée du répéteur afin que le bilan de puissance optique de la section de câble offre la marge garantie.

- *Puissance moyenne minimale à la sortie du TTE (dBm)*

Puissance optique moyenne du signal optique en ligne qui doit, au moment de l'assemblage de la liaison, être présente à l'interface optique de sortie du répéteur afin que le bilan de puissance optique de la section de câble offre la marge garantie.

Pour les systèmes intégrés, des paramètres similaires doivent être spécifiés, dans le cadre de la spécification d'intégration, à l'interface optique de la ligne d'intégration.

## **4.2 Caractéristiques de gigue**

Il suffit que les caractéristiques de gigue du répéteur (tolérance de gigue, gigue maximale de sortie, caractéristiques de transfert de gigue) à l'interface optique soient compatibles avec la spécification du système.

Pour les systèmes intégrés, les mêmes paramètres, la densité spectrale de la gigue à la sortie du répéteur et la gigue de réglage doivent être spécifiés, dans le cadre de la spécification d'intégration, à l'interface optique d'intégration.

# **5 Caractéristiques et performances du câble**

## **5.1 Caractéristiques de transmission**

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

Les caractéristiques de transmission des fibres installées dans une section élémentaire de câble doivent être maintenues dans des limites de variation spécifiées par rapport aux caractéristiques de la fibre avant câblage; en particulier, la conception du câble, les jonctions de câble et la fibre doivent être telles que les courbures et les microcourbures de la fibre créent une augmentation négligeable de l'affaiblissement. Il convient de tenir compte de ce qui précède pour déterminer le rayon de courbure minimal des fibres dans le câble et dans les équipements (jonctions de câbles optiques, terminaisons, répéteurs, etc.).

L'affaiblissement de la fibre et la dispersion chromatique doivent rester stables dans des limites spécifiées pendant la durée de vie nominale du système; le câble doit, en particulier, être conçu de manière à réduire aux niveaux acceptables aussi bien la pénétration d'hydrogène de l'extérieur que l'émission d'hydrogène à l'intérieur du 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.

## **5.2 Caractéristiques mécaniques et résistance à l'environnement**

### **5.2.1 Protection de la fibre par la structure du câble**

La capacité de survie de la fibre dépend de la propagation des défauts à l'intérieur de la structure du verre. Elle dépend de l'état mécanique initial de la fibre avant le câblage, de la structure physique de la fibre (type de revêtement, contraintes internes), des conditions d'environnement pendant la production de la fibre, et du niveau du test de sélection appliqué à la fibre avant son étirage. 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.

La résistance de la structure du câble ainsi que celle de la fibre déterminent le comportement mécanique global du câble. Ces résistances 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 pendant la pose, le relevage et la réparation ainsi que de toute charge permanente ou de tout allongement résiduel que supporte le câble installé.

On peut distinguer deux types généraux de structures de câble pour protéger les fibres optiques:

- la structure de câble serrée où les fibres sont solidement maintenues dans le câble si bien que l'allongement de la fibre est essentiellement égal à celui du câble;
- la structure de câble lâche où les fibres sont libres de se déplacer à l'intérieur du câble si bien que l'allongement de la fibre est inférieur à celui du câble, et qu'il 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 la pénétration longitudinale de l'eau après une rupture du câble à la profondeur d'utilisation doit rester limitée.

## 5.2.2 Caractéristiques mécaniques de la fibre

Les caractéristiques mécaniques de la fibre dépendent, dans une large mesure, de l'application d'un test de contrôle à la longueur totale de la fibre. Le test de contrôle de la fibre optique est caractérisé par la charge appliquée à la fibre ou par l'allongement de la fibre et par la durée d'application du test. Le niveau du test de contrôle doit être déterminé en fonction de la structure du câble. Les épissures du câble doivent être également soumises à un test de contrôle.

Il convient de tenir compte de la résistance mécanique de la fibre et des épissures pour déterminer le rayon de courbure minimal de la fibre dans le câble et dans les équipements (répéteurs, unités de dérivation, boîtes de jonction de câbles ou têtes de câble).

## 5.2.3 Caractéristiques mécaniques du câble

Le câble, avec les boîtes de jonction de câbles, les têtes de câble et les transitions de câble, doit être manipulé avec précaution par les navires câbliers pendant les opérations de pose et de relevage; il doit résister à de multiples passages sur le davier d'un navire câblier.

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

Lorsque le câble est accroché par un grappin, une ancre ou un attirail de pêche, il se rompt généralement pour une charge approximativement égale à une fraction (selon le type de câble et les caractéristiques du grappin) de la charge de rupture définie pour le câble en ligne droite; il existe alors un risque de réduction de la durée de vie et de la fiabilité de la fibre et du câble au voisinage du point de rupture en raison notamment de la contrainte appliquée à la fibre ou de la pénétration d'eau; la partie endommagée du câble doit être remplacée; sa longueur doit être maintenue dans des limites spécifiées.

Plusieurs paramètres indiqués ci-après sont définis dans la Recommandation G.972 pour caractériser la résistance mécanique du câble et son aptitude à être installé, relevé et réparé; il convient de les utiliser comme guide lors de la manipulation du câble:

- charge de rupture du câble, mesurée lors de l'essai de qualification;
- charge du câble provoquant la rupture de la fibre, mesurée lors de l'essai de qualification;
- charge transitoire du câble, susceptible d'être accidentellement appliquée lors des opérations de relevage;
- charge opérationnelle du câble, susceptible d'être appliquée lors des réparations;
- allongement permanent du câble, qui caractérise l'état du câble après la pose;
- rayon de courbure minimal du câble, qui sert de guide pour la manipulation du câble.

## 5.2.4 Protection du câble

Le câble sous-marin à fibres optiques doit être muni d'une bonne protection contre les risques de l'environnement à sa profondeur d'utilisation: protection contre la faune marine, les morsures de poisson et l'abrasion, ainsi que des armures contre les agressions et les activités des navires. Différents types de câbles protégés sont définis dans la Recommandation G.972, notamment:

- le câble à simple armure qui est généralement utilisé jusqu'à une profondeur d'environ 700 mètres;
- le câble à double armure qui est généralement utilisé jusqu'à une profondeur d'environ 400 mètres;
- le câble à armure «roc» qui est généralement utilisé jusqu'à une profondeur d'environ 200 mètres.

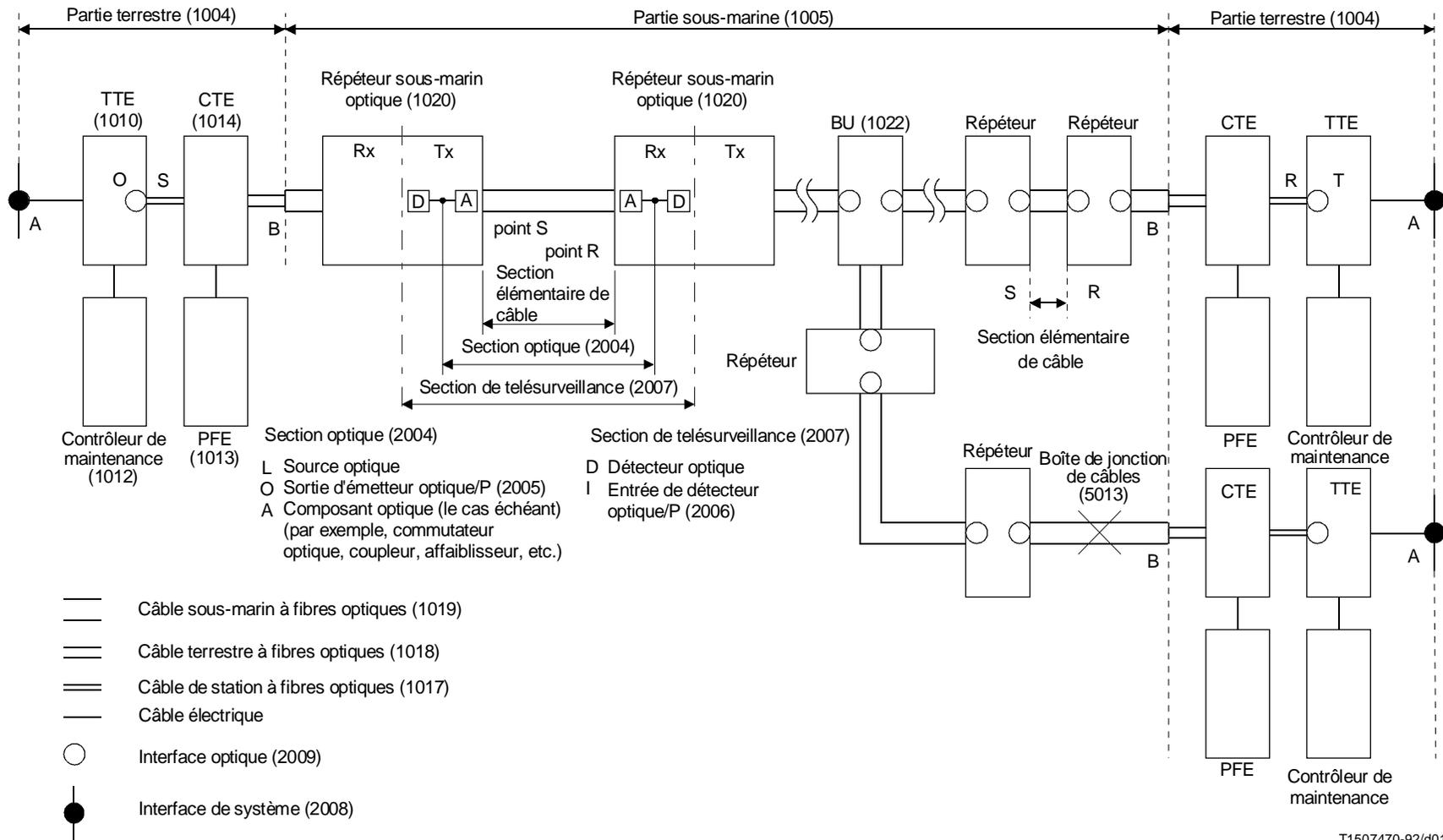
Les profondeurs d'utilisation ne sont pas limitées aux exemples ci-dessus.

Le câble terrestre à fibres optiques doit protéger le système et le personnel contre les décharges électriques, les brouillages industriels et la foudre. On utilise généralement deux types de câbles terrestres protégés:

- le câble terrestre blindé muni d'un blindage maintenu au potentiel de la terre et conçu de manière à être directement enfoui;
- le câble blindé en conduite revêtu d'un blindage de sécurité circulaire (qui peut aussi être un blindage de protection contre les morsures de poisson) et conçu de manière à pouvoir être tiré dans des conduites.

## 5.3 Caractéristiques électriques

Le câble doit permettre la téléalimentation électrique des répéteurs ou unités de dérivation et comporter un conducteur à faible résistance linéique ainsi qu'un isolant contre les hautes tensions.



T1507470-92/d01

NOTES

- |  |  |
|--|--|
| 1 A désigne une interface de système (2008).                         | 4 B-B représente une partie sous-marine (1005).                      |
| 2 B désigne des points d'atterrissage ou des joints de plage (1006). | 5 X désigne une boîte de jonction de câbles (5013).                  |
| 3 A-B représente une partie terrestre (1004).                        | 6 Les numéros entre parenthèses renvoient à la Recommandation G.972. |

FIGURE 1/G.974

Exemple de système en câbles sous-marins à fibres optiques de régénération

## Annexe A

### Mise en œuvre de systèmes sur câble sous-marin à fibres optiques équipés de régénérateurs

(Cette annexe fait partie intégrante de la présente Recommandation)

#### A.1 Introduction

La présente annexe décrit divers aspects des pratiques relatives aux systèmes sur câble sous-marin à fibres optiques telles qu'elles sont couramment employées dans les systèmes équipés de régénérateurs. Les paramètres typiques des systèmes sont illustrés dans le Tableau A.1.

Les informations données dans la présente annexe doivent servir de guide dans la pratique courante et non être considérées comme une recommandation relative à des systèmes futurs ou existants.

#### A.2 Configuration des systèmes

##### A.2.1 Éléments constitutifs d'un système sur câble sous-marin à fibres optiques

Le but d'un système sur câble sous-marin à fibres optiques est d'établir des liaisons de transmission entre deux stations terminales ou davantage. Lorsque le système sur câble relie deux stations terminales seulement, on peut lui appliquer le terme de liaison par câble sous-marin à fibres optiques. Dans l'autre cas, on peut lui appliquer le terme de réseau de câbles sous-marins à fibres optiques.

La Figure 1 illustre la configuration de base des systèmes sur câble sous-marin à fibres optiques et leur délimitation. Cette configuration pourrait inclure, selon les besoins de chaque système, des répéteurs sous-marins optiques ou des unités de dérivation sous-marines optiques.

Sur la Figure 1, A désigne les interfaces de système à la station terminale (où le système peut être raccordé à des liaisons numériques terrestres ou à d'autres systèmes sur câble sous-marin) et B désigne les joints de plage ou les points d'atterrissage. Les lettres entre parenthèses dans les sections ci-après renvoient à la figure susmentionnée.

Un système sur câble sous-marin à fibres optiques se compose des éléments suivants:

- une partie terrestre entre l'interface du système dans la station terminale (A) et le joint de plage ou point d'atterrissage (B) qui comprend le câble terrestre à fibres optiques, les raccordements terrestres et l'équipement terminal du système;
- une partie sous-marine posée sur le fond de la mer entre les joints de plage ou les points d'atterrissage (B) qui comprend le câble sous-marin à fibres optiques et, si besoin est, les équipements sous-marins [c'est-à-dire unité(s) de dérivation, boîte(s) de jonction de câbles et répéteur(s) sous-marins optiques].

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 en cas échéant: il existe plusieurs types de câbles caractérisés par leur structure mécanique tels que les câbles de grand fond, les câbles protégés, les câbles à armure légère, les câbles à simple armure, les câbles à double armure et les câbles à armure roc.

Le câble terrestre à fibres optiques nécessite également une protection. Le câble terrestre à fibres optiques transporte, en particulier, le courant de téléalimentation des répéteurs et, dans ces conditions, il peut exister une haute différence de potentiel entre le conducteur du câble et le sol, de sorte qu'une protection du personnel est nécessaire.

Les répéteurs sous-marins optiques comportent des régénérateurs qui sont conçus de manière à accepter un signal optique entrant, maintenu dans certaines limites, et à le régénérer de telle sorte que le signal optique de sortie soit, lui aussi, maintenu dans certaines limites. Les répéteurs comportent également des unités pour assurer les fonctions de télésurveillance, de protection et d'alimentation électrique. Ces circuits constituent l'unité optoélectronique du répéteur et sont placés dans le boîtier étanche et résistant à la pression du répéteur.

Une unité de dérivation (BU) (*branching unit*) sous-marine optique est insérée dans la partie sous-marine d'un réseau de câbles sous-marins à fibres optiques lorsqu'il est nécessaire d'interconnecter plus de deux sections de câble. Selon les besoins du réseau, cet équipement peut comprendre une partie ou la totalité des sous-ensembles suivants:

- connexion de fibre directe;
- unité de commutation de fibre;
- régénérateurs optiques pour chaque fibre; et
- unité de commutation de trajet d'alimentation.

En outre, la BU peut assurer l'échange de signaux entre les trajets du signal optique; on l'appelle alors un multiplexeur de dérivation sous-marin (UBM) (*undersea branching multiplexer*).

## **A.2.2 Configuration de la transmission**

La configuration de la transmission caractérise le flux d'informations échangées entre les stations terminales par l'intermédiaire du système sur câble sous-marin à fibres optiques.

Une section de câble à fibres optiques peut contenir un certain nombre de paires de fibres optiques et une paire de fibres optiques peut servir de support à un certain nombre de sections de ligne numériques. Le nombre de sections de ligne numériques établies par une section de câble à fibres optiques est indiqué par le produit de ces deux nombres.

Les sections de ligne numériques dont le support est assuré par la même paire de fibres optiques suivent la paire de fibres en passant par les répéteurs et les unités de dérivation. Elles peuvent être séparées entre différentes paires de fibres lorsqu'elles passent par un multiplexeur de dérivation sous-marin.

## **A.2.3 Configuration pour la téléalimentation**

### **A.2.3.1 Considérations générales**

La configuration pour la téléalimentation caractérise la circulation du courant d'alimentation entre les stations terminales en passant par le système sur câble sous-marin à fibres optiques.

### **A.2.3.2 Liaison par câble sous-marin à fibres optiques**

Dans une liaison par câble sous-marin à fibres optiques, le courant circule d'un PFE au PFE opposé le long du conducteur électrique du câble sous-marin à fibres optiques, le trajet de retour étant établi par la mer via les électrodes de terre de téléalimentation installées aux deux extrémités.

### **A.2.3.3 Réseau de câbles sous-marins à fibres optiques**

Dans un réseau de câbles sous-marins à fibres optiques, un trajet d'alimentation principal est également établi entre deux stations d'alimentation principales par l'intermédiaire des conducteurs d'alimentation des sections de câble à fibres optiques reliées en série. Les dérivations qui ne font pas partie du trajet principal d'alimentation sont alimentées, le cas échéant, par le conducteur d'alimentation du câble sous-marin optique, entre le PFE de leur station terminale et l'unité de dérivation, le trajet de retour étant établi par la mer via une électrode de terre de téléalimentation installée à la station terminale et une électrode de mer située sur l'unité de dérivation. Une commutation du trajet d'alimentation dans la BU permet de modifier cette configuration, notamment en cas de défaillance.

Pour éviter la corrosion, le sens du courant d'alimentation est tel que l'électrode de mer située sur l'unité de dérivation reste cathodique. Dans certaines configurations de réseau de câbles sous-marins à fibres optiques, il peut être nécessaire, pour maintenir cette condition, de modifier le sens du courant d'alimentation lorsqu'on modifie la configuration de l'alimentation. Il faut alors utiliser des répéteurs «bipolaires» qui peuvent être alimentés dans un sens ou l'autre.

### **A.2.3.4 Protection mutuelle des PFE**

Dans certaines situations, notamment en cas d'urgence, le PFE installé à une extrémité d'une liaison peut fournir la totalité de la puissance nécessaire pour une liaison donnée, alors que, dans des conditions normales d'exploitation, cette puissance totale est partagée entre les équipements de téléalimentation installés aux deux extrémités de la liaison.

Cette possibilité est utilisée en cas de défaillance du PFE, pour augmenter la disponibilité du système; elle est également utilisée en cas de court-circuit du câble pour maintenir le trafic et/ou faciliter la localisation des dérangements.

#### A.2.4 Télésurveillance et télémaintenance du système

L'équipement de télésurveillance et de télémaintenance situé dans le terminal assure généralement, en association avec l'unité de télésurveillance du répéteur (ou de la BU), la localisation des défauts, le contrôle du fonctionnement du répéteur et la commutation de redondance télécommandée.

Les moyens de télésurveillance comprennent généralement un ou plusieurs des éléments suivants:

- fourniture, en service, d'informations suffisantes pour permettre la maintenance préventive, notamment si la commutation de redondance est assurée;
- mise en œuvre d'une localisation supplémentaire hors service des défauts ou contrôle du système par un rebouclage télécommandé à partir de terminaux appropriés;
- indication de l'apparition prochaine de défaillances de l'équipement en service afin que des mesures préventives puissent être prises ou prévues;
- moyens de localisation des défaillances permanentes et intermittentes d'une durée et d'une fréquence telles que le système ne répond pas aux conditions de fonctionnement requises.

En principe, le système de télésurveillance permet la localisation des défauts à une section de télésurveillance près. D'autres moyens, tels que la réflectométrie optique et la mesure électrique, qui utilisent des équipements installés dans les stations terminales ou à bord des navires câblés peuvent permettre d'augmenter la précision de la localisation des défauts.

La télésurveillance du système peut être facilitée par un équipement informatisé placé à une ou aux deux extrémités.

#### A.2.5 Intégration du système

Une liaison ou un réseau de câbles sous-marins à fibres optiques peut être construit à l'aide de deux systèmes sous-marins à fibres optiques (c'est-à-dire d'ensemble d'équipements tels que câbles, répéteurs, équipements terminaux, BU, etc.), ou davantage, conçus indépendamment par des fournisseurs différents.

Pour intégrer le réseau sous-marin à fibres optiques, il faut assurer la compatibilité de ces divers types de conception. Tel est le but de la spécification d'intégration.

### A.3 Caractéristiques du signal de ligne

#### A.3.1 Structure du signal de ligne

La trame de ligne et le débit binaire de ligne résultent des opérations de multiplexage et de codage effectuées par l'équipement terminal de transmission (TTE) (*terminal transmission equipment*), compte tenu de l'inclusion des canaux de service et de surveillance.

Le code en ligne est adapté aux caractéristiques de la partie sous-marine. Il peut être utilisé à des fins telles que l'adaptation du spectre de fréquences du signal de ligne optique à l'interface optique et le contrôle du taux d'erreur binaire de ligne aux répéteurs ou dans le terminal de transmission à la réception. Les violations du code de ligne peuvent être utilisées pour la télésurveillance (contrôle du système et/ou transmission d'informations relatives à la surveillance).

#### A.3.2 Taux d'erreur en ligne

On peut mesurer adéquatement la qualité de fonctionnement de la partie sous-marine des systèmes équipés de régénérateurs à l'aide du taux d'erreur en ligne qui est le taux d'erreur à un emplacement donné du système sur câble sous-marin à fibres optiques.

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

En pratique, la partie sous-marine est caractérisée par le taux d'erreur en ligne apparent qui est la valeur traitée à partir du comptage des erreurs de ligne assuré par l'équipement de télésurveillance des répéteurs. En général, l'équipement de télésurveillance détecte les violations du code en 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, à savoir le taux d'erreur en ligne réel, en éliminant du calcul les violations délibérées du code en ligne.

## **A.4 Exploitation du système**

### **A.4.1 Communication de terminal à terminal**

En général, au moins deux canaux de service sont établis entre deux stations terminales: un par le système sur câble sous-marin à fibres optiques pour l'exploitation et la maintenance du système, l'autre par des moyens externes pour maintenir les communications entre les deux stations terminales en cas de défaillance du système.

En particulier, un canal de service est généralement prévu pour permettre la transmission de messages de terminal à terminal entre les équipements de télésurveillance de stations terminales correspondantes et pour fournir des informations sur l'état du système et des sections de ligne numériques ainsi que sur les activités de surveillance en cours, afin de faciliter le contrôle, la surveillance ou la localisation des défauts au niveau général du système.

Au moins une liaison entre opérateurs est établie entre les stations terminales qui échangent du trafic, pour l'intercommunication du personnel des stations terminales.

### **A.4.2 Fonction et caractéristiques de l'équipement de téléalimentation (PFE) (*power feeding equipment*)**

#### **A.4.2.1 Conditions de fonctionnement normales du PFE**

Le PFE fournit, par l'intermédiaire du conducteur d'alimentation du câble avec retour par la mer, un courant électrique stabilisé pour alimenter les circuits électriques d'un ou de plusieurs répéteurs et/ou unités de dérivation sous-marins optiques. Ce courant est généralement réglable et diminue légèrement en fonction de la charge résistive du PFE.

Les variations dans le temps du courant du PFE, qui peuvent être causées par les variations de la température ambiante, dans des limites spécifiées, les variations et les régimes transitoires de la tension de la source d'alimentation, ou par la commutation de redondance dans le PFE, sont maintenues entre des limites spécifiées. La stabilité de courant du PFE est définie de manière à répondre aux conditions générales de stabilité requises pour le système sur câble sous-marin à fibres optiques. La stabilité du courant du PFE est généralement exprimée en pourcentage du courant nominal du PFE.

La tension à la sortie du PFE est réglée automatiquement de manière à maintenir le courant du PFE à une valeur constante en présence de tensions naturellement induites. On estime généralement que ces tensions naturellement induites qui s'accumulent le long d'une liaison peuvent atteindre une valeur de 0,3 V/km (est-ouest) et qu'elles varient lentement en fonction du temps (moins de 10 V/s).

#### **A.4.2.2 Protection du système**

Le PFE est généralement équipé de dispositifs destinés à protéger le PFE proprement dit et la partie sous-marine contre les courants excessifs ou les tensions excessives en cas de défaillance électrique dans le PFE proprement dit ou à un autre endroit du système.

En particulier, une protection par mise à la terre du PFE est assurée afin d'acheminer automatiquement le courant d'alimentation vers la terre de la station si l'électrode de terre de la téléalimentation du système est déconnectée ou est exposée à une différence de potentiel excessive par rapport à la terre de la station. Ce dispositif fonctionne de manière à éviter toute interruption du système sur câble sous-marin à fibres optiques et à empêcher une élévation du potentiel de terre de l'équipement de téléalimentation qui serait suffisante pour endommager l'équipement ou mettre le personnel en danger.

#### **A.4.2.3 Protection du personnel du PFE**

La protection du personnel du PFE a pour but d'empêcher l'accès du personnel à des potentiels dangereux, que ceux-ci soient engendrés à l'extrémité proche ou lointaine du système sur câble sous-marin à fibres optiques. L'équipement de protection comprend en particulier des verrouillages au niveau de l'équipement terminal du câble, une mise hors tension d'urgence au niveau du PFE et des dispositifs de mise à la terre qui permettent de décharger à la terre le conducteur du câble avant de le manipuler.

## **A.5 Caractéristiques des répéteurs et des unités de dérivation**

### **A.5.1 Considérations générales**

Les unités de dérivation et répéteurs sous-marins optiques sont capables de fonctionner conformément aux recommandations relatives à la qualité du système pendant la durée de vie nominale du système et dans les conditions d'environnement existant à la profondeur d'installation (température, pression, etc.).

Les unités de dérivation et répéteurs sous-marins optiques sont conçus de manière à pouvoir être manipulés, c'est-à-dire posés, relevés et remplacés sans provoquer de dégradation de la qualité de fonctionnement du câble, des boîtes de jonction de câbles, des répéteurs, des unités de dérivation et des terminaisons de câble, sous réserve que les spécifications relatives à la manipulation soient respectées.

Les unités de dérivation et les répéteurs sous-marins optiques sont conçus de manière à pouvoir être transportés et stockés dans des 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.

Les unités de dérivation et répéteurs sous-marins optiques sont 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 répéteurs sous-marins optiques sont dimensionnés de telle sorte qu'ils peuvent être manipulés par l'équipement approprié d'un navire câblé.

L'interface d'entrée optique du répéteur (point R) sur chaque fibre entrante est définie comme se situant à l'endroit où la fibre du répéteur est épissurée avec la fibre du câble.

L'interface de sortie optique du répéteur (point R) sur chaque fibre sortante est définie comme se situant à l'endroit où la fibre du répéteur est épissurée avec la fibre du câble.

### **A.5.2 Eléments constitutifs du répéteur (ou de la BU)**

Les principaux éléments constitutifs du répéteur (ou de la BU) sont les suivants:

- *Boîtier du répéteur (ou de la BU)*

Partie mécanique contenant l'unité optoélectronique. Le boîtier est conçu de manière à assurer la résistance à la pression de l'eau, l'étanchéité, une haute résistance mécanique, le raccordement électrique et optique avec les sections de câble de chaque côté du répéteur (ou de la BU), l'isolement contre les hautes tensions et une faible impédance thermique entre l'unité optoélectronique du répéteur (ou de la BU) et la mer.

- *Unité optoélectronique du répéteur (ou de la BU)*

Partie mécanique composée d'un ou de plusieurs régénérateurs électro-optiques et/ou de circuits de surveillance et/ou de circuits d'alimentation électrique et de protection et/ou d'échangeurs de données et/ou de commutateurs de redondance.

### **A.5.3 Fonctionnement de l'équipement de télésurveillance et de télémaintenance**

L'unité de télésurveillance du répéteur (ou de la BU) permet, en association avec l'équipement de télésurveillance et de télémaintenance dans le terminal, la localisation des défauts, le contrôle de la qualité de fonctionnement du répéteur et la commutation de redondance télécommandée, comme indiqué en détail en A.2.4 ci-dessus.

## **A.6 Fabrication et installation**

### **A.6.1 Qualité dans les systèmes sur câble sous-marin à fibres optiques**

On ne peut répondre aux conditions de haute qualité de fonctionnement et de fiabilité requises pour les systèmes sur câble sous-marin à fibres optiques que si l'on applique des procédures de qualité strictes lors de la conception, de la fabrication et de la pose des systèmes. Bien que les procédures de qualité soient particulières à chaque fournisseur de câbles sous-marins à fibres optiques, les principes de base suivants s'appliquent généralement.

#### **A.6.1.1 Qualification de la conception et des technologies**

Cette activité vise, dans le cadre du processus de mise au point, à démontrer que les caractéristiques d'une technologie, d'un composant ou d'un ensemble d'équipement sont compatibles avec la qualité de fonctionnement globale du système et permettent d'être raisonnablement assuré que l'objectif de fiabilité pourra être atteint. La qualification comprend des essais sous contrainte élevée destinés à évaluer la robustesse des technologies, des composants ou des sous-ensembles d'équipement et à déterminer la procédure de sélection, ainsi que des essais 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 technique, des composants ou des ensembles 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**

Cette activité vise, dans le cadre du processus de fabrication, à s'assurer de l'aptitude de chaque composant ou ensemble d'équipement à fonctionner conformément à ses spécifications de qualité et de fiabilité une fois installé. Pour l'équipement sous-marin, chaque composant est individuellement certifié.

La certification est fondée sur les résultats des essais de sélection destinés à éliminer tous les articles ou composants non satisfaisants, notamment ceux qui sont exposés à des défaillances prématurées.

### **A.6.1.3 Inspection en cours de fabrication**

Cette activité vise, dans le cadre du processus de fabrication, à 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 en cours de fabrication peut être partagée entre le fabricant et les acheteurs d'un système sur câble sous-marin à fibres optiques.

## **A.6.2 Procédures d'assemblage et de pose**

Un relevé du tracé est effectué avant la pose du câble de manière à choisir le tracé du câble et les moyens de protection du câble (protection légère, armure, ensouillage). Le relevé du tracé consiste à étudier le profil, la température et les variations saisonnières, la morphologie et la nature des fonds marins, la position des câbles et conduits existants, l'historique des défaillances de câble, les activités halieutiques et minières, les courants marins, l'activité sismique, la législation nationale et internationale, etc.

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

Le chargement à bord consiste à installer la partie sous-marine, ou des fractions de celle-ci, à bord du navire câblé, avant la pose. La liaison est généralement mise hors tension pour les opérations de chargement. Des essais sont effectués périodiquement pendant le chargement afin de 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 être testé en cours de pose afin de s'assurer que le système n'a subi aucune dégradation importante. Les essais lors de la pose comprennent des essais de transmission et de fonctionnement ainsi que, le cas échéant, des essais sur les sous-ensembles redondants. Pour permettre les essais pendant la pose du câble, la liaison peut être mise sous tension, à condition que les règles de sécurité soient respectées.

Lors de l'installation, une longueur de câble supplémentaire prédéterminée (mou du câble) est posée afin de s'assurer que le câble repose convenablement au fond de la mer.

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

Le câble peut être ensouillé au fond de la mer pour accroître la protection du câble. On peut ensouiller le câble pendant la pose en utilisant une charrue marine tractée par le navire câblé ou après la pose en utilisant un robot submersible auto-propulsé ou d'autres moyens.

### **A.6.3 Mise en service du système**

On procède aux essais de mise en service avant l'ouverture au trafic du système afin de s'assurer que le système répond aux conditions de qualité de transmission globales requises et qu'il fonctionne correctement.

Si on utilise un type de conception avec redondance pour se conformer aux exigences de fiabilité, on peut utiliser des composants redondants pour remédier aux défaillances qui se produisent pendant la pose ou avant la mise en service. Cependant, 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 par navire câblé.

## **A.7 Maintenance**

### **A.7.1 Maintenance périodique**

La maintenance périodique est effectuée à partir de stations terminales à l'aide du système de surveillance. Elle consiste à contrôler périodiquement les paramètres du système et, le cas échéant, à commander la commutation de redondance préventive.

### **A.7.2 Maintenance en mer**

Les systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques peuvent être sujets à des pannes dues notamment à des agressions externes et aux défaillances de composants. Il est important de définir et de mettre au point des procédures et des équipements de réparation efficaces et bien établis pour faciliter les réparations et limiter les pertes de trafic.

La maintenance en mer est généralement effectuée par des navires câblers de réparation spécialisés.

#### **A.7.2.1 Localisation des défauts**

Pour les systèmes équipés de répéteurs sous-marins optiques, on obtient une première localisation à une section de surveillance près en utilisant le système de surveillance.

Pour les sections de câble situées aux extrémités, on peut localiser les défaillances à partir des stations terminales, en utilisant des mesures électriques adéquates (résistance, capacité, isolement, etc.) et la réflectométrie optique.

De même, la localisation des défauts sur le câble peut se faire depuis le navire câbler après le relevage en utilisant les mêmes méthodes.

L'«electroding» peut être utilisé pour repérer le câble.

#### **A.7.2.2 Relevage du câble**

Pendant le relevage du câble, il peut être nécessaire, afin de réduire la tension mécanique appliquée au câble, de couper celui-ci au fond avant de relever séparément chaque extrémité.

#### **A.7.2.3 Réparation en mer**

Plusieurs méthodes, à choisir selon la profondeur, peuvent être utilisées pour la réparation en mer:

- lors d'une réparation en eau peu profonde, il peut être nécessaire de rajouter une longueur de câble, sans rajouter de répéteur; une marge pour réparation est souvent incluse dans le bilan de puissance optique des sections en eau peu profonde, puisqu'elles sont le plus sujettes à des agressions extérieures;
- lors d'une réparation en eau profonde, il est en général nécessaire d'ajouter une longueur de câble et un répéteur pour compenser l'excès d'atténuation s'il est plus élevé que la marge disponible; en général le bilan de puissance optique des sections en eau profonde ne comprend pas de marge pour réparation, car ce type de réparation est peu fréquent.

Lorsqu'un défaut est localisé à une section de surveillance près, la section entière peut être remplacée par un minisystème sans localisation supplémentaire. Cette méthode peut faire gagner du temps mais réclame davantage d'équipement de réserve.

Des procédures de sécurité en réparation sont appliquées à bord des navires câblers et dans les stations terminales, pour protéger le personnel qui travaille à bord des navires câblers. En particulier, les procédures de sécurité sur l'énergie comportent la mise à la terre du câble dans les stations terminales, à bord des navires câblers, et au niveau des unités de dérivation.

TABLEAU A.1/G.974

## Paramètres indicatifs des systèmes en câbles sous-marins à fibres optiques de régénération

Systèmes	280M	420M	560M	2500M	1800M
Mise au point/utilisation commerciale (année)	Utilisation commerciale (1987)	Utilisation commerciale (1989)	Utilisation commerciale (1991)	Mise au point (1993)	Utilisation commerciale (1991)
Capacité de transmission (64 kbit/s par canal)	~3840	~5760	~7680	~30 720	~24 192
Débit binaire d'information (Mbit/s)	~280	~420	~560	~2488	~1800
Débit binaire en ligne (Mbit/s)	~296	~442	~591	~2592	~1870
Code en ligne	24B1P				Embrouillé NRZ (SDH)
Longueur maximale du système (km)	Transocéanique (> 8000 km)				Nationale (~1000 km)
Espacement des répéteurs (km)	> 50		> 100	> 70	> 100
Profondeur marine (m)	~8000				
Type de fibre	G.652		G.652, G.654	G.653	
Longueur d'onde de fonctionnement	~1310		~1550		
Durée de vie nominale du système (année)	25				
Fiabilité	< 3 réparations en 25 ans			MTBF 10 ans	
Performance d'erreur	G.821				
Gigue	G.823				