UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T G.976

(06/2004)

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

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

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

Méthodes de test applicables aux systèmes de câbles optiques sous-marins

Recommandation UIT-T G.976

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE G

SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX NUMÉRIQUES

CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX	G.100–G.199
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES SYSTÈMES ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	G.200–G.299
CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX À COURANTS PORTEURS SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.300–G.399
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX HERTZIENS OU À SATELLITES ET INTERCONNEXION AVEC LES SYSTÈMES SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.400–G.449
COORDINATION DE LA RADIOTÉLÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES	G.450–G.499
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.600–G.699
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.700–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999
Généralités	G.900–G.909
Paramètres pour les systèmes à câbles optiques	G.910–G.919
Sections numériques à débits hiérarchisés multiples de 2048 kbit/s	G.920–G.929
Systèmes numériques de transmission par ligne à débits non hiérarchisés	G.930–G.939
Systèmes de transmission numérique par ligne à supports MRF	G.940–G.949
Systèmes numériques de transmission par ligne	G.950–G.959
Section numérique et systèmes de transmission numériques pour l'accès usager du RNIS	G.960–G.969
Systèmes sous-marins à câbles optiques	**G.970–G.979**
Systèmes de transmission par ligne optique pour les réseaux locaux et les réseaux d'accès	G.980–G.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.976

Méthodes de test applicables aux systèmes de câbles optiques sous-marins

Résumé

De nombreuses méthodes de test sont propres à certains systèmes de câbles optiques sous-marins, et donc propres à certains concepteurs ou fournisseurs de systèmes. Cependant, il faut qu'il existe entre, d'une part, le concepteur ou le fournisseur du système et, d'autre part, l'acheteur ou l'exploitant du système, une même interprétation de l'objet général des tests et de la signification des résultats.

L'objet de la présente Recommandation est de mettre l'accent sur les tests applicables aux systèmes de câbles sous-marins à fibres optiques en donnant la liste des principaux tests utilisables et de décrire des méthodes de test propres à ces systèmes.

Source

La Recommandation UIT-T G.976 a été approuvée le 13 juin 2004 par la Commission d'études 15 (2001-2004) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

Historique

1.0	G.976	1997-04-08
2.0	G.976	2000-10-06
3.0	G.976	2004-06-13

Cette révision a consisté à compléter la description des caractéristiques mécaniques pour tenir compte des épissures des fibres, et à mettre à jour toutes les listes conformément à la révision de Recommandations pertinentes.

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 2005

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
1	Domaine d'application	1
2	Références	1
2.1	Références normatives	1
2.2	Références informatives	2
3	Termes et définitions	2
4	Abréviations	2
5	Objet des tests des systèmes de transmission par câble sous-marin à fibres optiques	3
5.1	Tests de qualification	3
5.2	Tests d'assurance de la qualité	4
5.3	Tests d'installation	5
5.4	Tests de recette du système à câble	7
5.5	Tests de maintenance	8
6	Liste des tests à effectuer sur les systèmes de transmission par câble sous-marin à fibres optiques et méthodes de test applicables	8
6.1	Tests sur les fibres optiques du câble sous-marin à fibres optiques	9
6.2	Tests sur le câble sous-marin à fibres optiques	11
6.3	Tests sur des amplificateurs de fibres optiques dans les répéteurs sous-marins optiques (OSR)	13
6.4	Tests sur l'équipement terminal de transmission	14
6.5	Tests sur l'équipement de téléalimentation	14
6.6	Tests sur la liaison	14
7	Description de méthodes de test spécialement applicables aux systèmes de transmission par câble sous-marin à fibres optiques	16
7.1	Tests applicables aux fibres optiques d'un câble sous-marin	16
7.2	Tests applicables au câble sous-marin à fibres optiques	17
7.3	Tests sur des amplificateurs de fibres optiques dans les répéteurs sous-marins optiques (OSR)	27
7.4	Tests applicables à l'équipement terminal de transmission	29
7.5	Tests applicables à l'équipement de téléalimentation	29
7.6	Tests applicables à la liaison	29
Annexe A – Définition des termes relatifs aux tests sur les câbles sous-marins à fibres optiques		31
A.1	Facteur Q	31
Appendice I – Définitions détaillées applicables aux systèmes de transmission par câble sous-marin à fibres optiques		32
I.1	Marge de sécurité du câble	32
I.2	Résistance nominale permanente à la traction (NPTS, *nominal operating tensile strength*)	32

Page

I.3 Résistance nominale à la traction pendant les manipulations (NOTS, *nominal operating tensile strength*)..... 32

I.4 Résistance nominale transitoire à la traction (NTTS, *nominal transient tensile strength*) 33

Recommandation UIT-T G.976

Méthodes de test applicables aux systèmes de câbles optiques sous-marins

1 Domaine d'application

Il est essentiel de soumettre les systèmes de câbles sous-marins à fibres optiques à des tests. En effet, les tests sont – à condition que ces systèmes aient été bien conçus et que leur technologie ait été parfaitement définie – le seul moyen de garantir la qualité, la durée de vie et la fiabilité de ces systèmes.

De nombreuses méthodes de test sont propres à certains systèmes, et donc propres à certains concepteurs ou fournisseurs de systèmes. Cependant, il faut qu'il existe entre, d'une part, le concepteur ou le fournisseur du système et, d'autre part, l'acheteur ou l'exploitant du système, une même interprétation de l'objet général des tests et de la signification des résultats.

Il faut utiliser des méthodes de test générales recommandées par l'UIT-T dans la mesure où elles peuvent être appliquées aux systèmes de câbles sous-marins à fibres optiques. Toutefois, une certaine adaptation de ces méthodes aux caractéristiques spécifiques des systèmes de câbles sous-marins à fibres optiques peut s'avérer nécessaire. Par ailleurs, certaines méthodes de test spécifiques à certains systèmes de câbles sous-marins à fibres optiques ne sont pratiquement d'aucune utilité pour les autres systèmes.

L'objet de la présente Recommandation est de mettre l'accent sur les tests applicables aux systèmes de câbles sous-marins à fibres optiques en donnant la liste des principaux tests utilisables et de décrire des méthodes de test propres à ces systèmes.

2 Références

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.

2.1 Références normatives

– Recommandation UIT-T G.650.1 (2004), *Définitions et méthodes de test applicables aux attributs linéaires déterministes des fibres et câbles optiques monomodes*.

– 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.661 (1998), *Définition et méthodes de mesure des paramètres génériques relatifs aux dispositifs et sous-systèmes amplificateurs optiques*.

– Recommandation UIT-T G.671 (2002), *Caractéristiques de transmission des composants et sous-systèmes optiques*.

– Recommandation UIT-T G.783 (2004), *Caractéristiques des blocs fonctionnels des équipements de la hiérarchie numérique synchrone*.

– Recommandation UIT-T G.810 (1996), *Définitions et terminologie des réseaux de synchronisation*.

– 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. 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.828 (2000), *Paramètres et objectifs relatifs aux caractéristiques d'erreur pour les conduits numériques synchrones internationaux à débit constant*.

– Recommandation UIT-T G.972 (2004), *Définition des termes relatifs aux systèmes de câbles optiques sous-marins*.

– Recommandation UIT-T L.12 (2000), *Epissurage des fibres optiques*.

– CEI 61290, *Amplificateurs à fibres optiques – Spécification de base*.

2.2 Références informatives

– CEI TR 62285 (2002), *Méthodes de mesure du coefficient de non-linéarité – Guide d'application*.

3 Termes et définitions

Les termes utilisés dans la présente Recommandation sont définis dans la Rec. UIT-T G.972.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

ATM méthode de test alternative (*alternative test method*)

CF facteur de compression (*compression factor*)

GF platitude du gain (*gain flatness*)

MFD diamètre de champ de mode (*mode field diameter*)

MTC câble terrestre marinisé (*marinized terrestrial cable*)

NF facteur de bruit (*noise figure*)

NG gain nominal (*nominal gain*)

NOTS résistance nominale à la traction pendant les manipulations (*nominal operating tensile strength*)

NPTS résistance nominale permanente à la traction (*nominal permanent tensile strength*)

NSIP puissance nominale d'entrée du signal (*nominal signal input power*)

NSOP puissance nominale de sortie du signal (*nominal signal output power*)

NTTS résistance nominale transitoire à la traction (*nominal transient tensile strength*)

OSR répéteur sous-marin optique (*optical submarine repeaters*)

OTDR réflectométrie optique dans le domaine temporel (*optical time domain reflectometry*)

PDG variation du gain en fonction de la polarisation (*polarization dependent gain*)

PDL affaiblissement dû à la polarisation (*polarization dependent loss*)

PFE équipement de téléalimentation (*power feeding equipment*)

PHB saturation spectralement sélective due à la polarisation (*polarization hole burning*)

PMD dispersion modale de polarisation (*polarization mode dispersion*)

RTM méthode de test recommandée (*recommended test method*)

SSG gain pour les petits signaux (*small signal gain*)

STE équipement terminal du système (*system terminal equipment*)

TM méthode de test (*test method*)

TTE équipement terminal de transmission (*terminal transmission equipment*)

5 Objet des tests des systèmes de transmission par câble sous-marin à fibres optiques

Les tests doivent être effectués à différentes périodes de la vie d'un système (développement, fabrication, exploitation) pour différentes fins. Une grande partie des tests qui n'intéresse que le concepteur et le fournisseur du système n'est pas traitée dans la présente Recommandation. Cependant, les tests intéressent l'acheteur et l'exploitant du système. Dans ce dernier cas, il s'agit des tests de qualification, des tests d'assurance de la qualité, des tests d'installation, des tests de recettes et des tests de maintenance.

5.1 Tests de qualification

Les tests de qualification font partie du programme de développement car ils permettent de choisir des configurations et des technologies adaptées et de vérifier ensuite qu'elles correspondent bien à la performance, à la fiabilité et à la durée de vie exigées pour le système. Ils sont effectués sur chaque composant, matériau, sous-ensemble, élément d'équipement et sur le système lui-même. Les tests effectués par les fabricants-fournisseurs de composants ou de matériaux conviennent le plus souvent et sont donc utilisés. Le programme de tests est défini pour chaque élément en tenant compte de ses caractéristiques spécifiques et de l'expérience déjà acquise sur des éléments analogues. Les tests de qualification comprennent généralement la caractérisation appropriée de la performance, la caractérisation et la qualification des technologies ainsi que les tests de durée de vie.

5.1.1 Tests de caractérisation de la performance

La caractérisation de la performance est destinée à démontrer que l'élément répond bien aux spécifications de transmission dans toute la gamme des conditions ambiantes spécifiées.

5.1.2 Tests de caractérisation des technologies

La caractérisation des technologies est destinée à évaluer la fiabilité d'une technologie et à identifier les mécanismes de défaillance possibles (avec une interaction au niveau de la conception ou de la technique afin d'éviter l'apparition de mécanismes dangereux), et d'établir des modèles qui permettent de prévoir le comportement des dispositifs. Ces tests peuvent simuler les conditions d'utilisation des différents éléments et permettent de définir des procédures de tri et de sélection, afin d'éliminer les dispositifs qui pourraient présenter prématurément des défaillances ou ne pas satisfaire aux conditions de durée de vie. Certains de ces tests sont exécutés sur un élément en fonctionnement, d'autres dans des conditions de stockage. On peut également utiliser des contraintes élevées (température élevée, conditions mécaniques, électriques ou optiques difficiles), avec parfois un niveau accru de contraintes avec des variations lentes ou rapides.

5.1.3 Tests de qualification des technologies

La qualification des technologies est destinée à confirmer la qualité d'une technologie et le caractère adéquat de la procédure de sélection. Les conditions de tests sont choisies en tenant compte des résultats des tests de caractérisation. Par exemple, les tests peuvent être effectués à plusieurs températures, ce qui permet d'évaluer l'énergie d'activation ou un facteur d'accélération.

5.1.4 Tests de durée de vie

Les tests de vieillissement sont destinés à évaluer la durée de vie et la fiabilité, par rapport à des critères de fin de vie choisis en tenant compte des caractéristiques de fonctionnement du système. L'accélération par la température ou d'autres moyens, utilisant un modèle bien établi ou dérivé, peut être utilisée. Une partie des tests de durée de vie peut être effectuée dans des conditions proches des conditions d'exploitation du système.

5.1.5 Programmes de test

Les programmes de test pour ces différents tests doivent indiquer le nombre de dispositifs à tester et décrire les conditions de test et la méthodologie employée.

Cependant, la plupart des programmes de test sont propres aux fournisseurs.

5.2 Tests d'assurance de la qualité

Il peut être nécessaire de faire référence aux normes ISO.

Les tests d'assurance de la qualité sont exécutés pendant la fabrication afin de vérifier que la qualité et la fiabilité définies lors de la conception ne sont pas altérées par le processus de fabrication. Il comporte des tests de contrôle de fabrication, des tests de sélection ou d'acceptation des composants et des tests de recette des sous-ensembles, sous-unités ou équipements.

5.2.1 Tests de contrôle de fabrication

Les tests de contrôle de fabrication sont effectués durant la fabrication des sous-ensembles, des équipements, des fibres optiques et du câble afin de s'assurer que les opérations de fabrication sont compatibles avec la qualité exigée. Pour le contrôle de fabrication, on effectue tout ou partie des tests suivants:

– les tests de qualification des processus de fabrication qui consistent à fabriquer un prototype industriel conformément à la procédure de fabrication définie, avant de démarrer la fabrication, afin de régler les derniers détails du processus de fabrication et de vérifier sa validité;

– les tests de qualification des outils de fabrication, effectués périodiquement, éventuellement après réétalonnage des outils au cours de la fabrication afin de vérifier que leurs caractéristiques sont conformes aux spécifications de fabrication; ces tests peuvent consister à fabriquer des outils que l'on soumet ensuite à des tests parfois destructifs;

– les tests de qualification des opérateurs sont effectués après leur formation puis périodiquement au cours de la fabrication, afin de s'assurer de l'aptitude d'un exploitant à effectuer des tâches conformément aux spécifications de fabrication; ces tests peuvent consister à fabriquer des dispositifs qui sont ensuite soumis à des tests parfois destructifs;

– l'inspection visuelle, effectuée à des étapes précises du processus de fabrication sur chaque élément produit afin de contrôler visuellement les résultats d'une opération ou d'une séquence d'opérations, ces tests ne sont pas destructifs et peuvent être effectués par microscopie optique, radioscopie ou autre.

5.2.2 Tests de sélection des composants

Chaque composant (électronique, optoélectronique, optique fibre optique incluse et matériau brut) utilisé dans un système de transmission par câble sous-marin à fibres optiques est testé individuellement afin de s'assurer qu'il sera conforme aux spécifications au cours de la durée de vie nominale du système. La procédure de test est définie au cours de la qualification, en tenant compte des résultats des tests de caractérisation des technologies. Selon la nature du composant, les tests de sélection ou les tests de recettes peuvent comprendre tout ou partie des tests suivants:

– les tests de qualification par lot qui sont des tests destructifs effectués sous des contraintes fortes sur quelques échantillons du lot, et qui sont destinés à s'assurer que la fiabilité générale du lot est satisfaisante, et éliminer les lots non satisfaisants;

– les tests de stabilisation, qui sont des tests sous contraintes fortes appliqués à tous les composants et qui se traduisent par une stabilisation des caractéristiques;

– les tests par tri effectués sur tous les composants des lots sélectionnés afin d'identifier et d'éliminer les dispositifs peu fiables qui tomberaient prématurément en panne; le niveau de contrainte doit être choisi de manière à ne pas réduire fortement la fiabilité ou la durée de vie des composants;

– tests de longue durée, appliqués durant une période suffisamment longue à quelques échantillons ou à tous les composants si nécessaire, avec des conditions voisines des conditions réelles de fonctionnement du système afin d'observer l'évolution de leurs caractéristiques et d'éliminer les composants dont la durée de vie serait insuffisante.

5.2.3 Tests en usine des sous-ensembles, sous-unités ou équipements

Ces tests sont faits en usine sur tous les sous-ensembles (par exemple circuit imprimé), sous-unités (unité électronique de répéteur, convertisseur du système de téléalimentation, etc.) ou parties d'équipement (longueur de câble, répéteur ou équipement terminal, etc.). Ils consistent à vérifier la performance des équipements (caractéristiques de transmission, caractéristiques fonctionnelles, etc.) dans les conditions ambiantes nominales spécifiées pour l'élément considéré.

5.3 Tests d'installation

Ces tests sont effectués au cours de l'assemblage de parties (ou de l'installation complète immergée), pendant le chargement sur le navire câblier, au cours de la pose des installations immergées, pendant et après l'installation de l'équipement de station terminal. Ils ont pour but de vérifier qu'à chaque étape importante de l'installation du système, les caractéristiques fonctionnelles et la performance de l'équipement installé sont conformes aux spécifications qui garantissent le bon fonctionnement de tout le système.

5.3.1 Tests au cours de l'assemblage de la partie sous-marine

Généralités

A chaque opération de raccordement (câble-câble, câble-répéteur/amplificateur, ...), des tests de vérification de la qualité mécanique et électrique (le cas échéant) du raccordement sont effectués.

Systèmes avec régénération

Les tests de performance qui incluent l'évaluation de la qualité de transmission, des tests de surveillance et des tests fonctionnels (par exemple de bouclage, de commutation d'émetteur, etc.) sont effectués sur chaque répéteur et après assemblage de sections. Il s'agit de s'assurer que la qualité de transmission correspond bien aux marges spécifiées pour chaque section de régénération, que le système de surveillance est conforme à ses propres spécifications et que les répéteurs fonctionnent correctement. Les résultats des tests sont comparés avec ceux obtenus dans l'usine de fabrication des répéteurs.

Avant le chargement d'une partie complètement assemblée destinée à être immergée, les tests de qualité de transmission (taux d'erreur binaire de bout en bout, comptage des erreurs dans chaque répéteur, la gigue, etc.), les tests de surveillance et les tests fonctionnels sur les répéteurs sont utilisés pour vérifier la conformité avec les spécifications.

Systèmes avec amplification

Etant donné que la qualité de la transmission mesurée sur une section amplifiée ne représente pas la qualité de transmission de la totalité de la liaison ou d'une partie de cette liaison, ces tests utilisent des mesures et des techniques adaptées définies au cours du processus de développement. Comme les conditions ambiantes ne sont pas les mêmes que celles que l'on rencontre au fond de la mer, on estime que ces tests ne sont pas totalement représentatifs de la performance du système. Ils peuvent inclure des tests sur chaque amplificateur optique (facteur de bruit, gain et longueur d'onde au gain crête ... surveillance), et sur chaque section de fibre câblée (affaiblissement, dispersion chromatique, dispersion modale de polarisation, etc.). Il faut au moins effectuer des tests de transmission du signal optique, des tests de surveillance et des tests fonctionnels (par exemple bouclage, commutation de laser de pompage, etc.) sont effectués pendant le raccordement de chaque amplificateur optique ou sur chaque partie assemblée pour s'assurer qu'il fonctionne conformément aux caractéristiques nominales du système.

A la fin de l'assemblage d'une partie, on vérifie que les spécifications de l'interface avec les autres parties sont respectées (exemple: mesure ou calcul du facteur Q, mesure du rapport signal à bruit optique, du spectre optique, de la dispersion chromatique cumulée, de la dispersion de mode polarisation ... et de toute autre mesure de paramètre ou calcul représentatif de la qualité de transmission). Le cas échéant, toutes les fonctions implémentées dans les amplificateurs sont aussi vérifiées au moyen du système de surveillance. On préfère, et en particulier lorsque toute l'installation immergée doit être posée en une fois, mesurer la performance en utilisant éventuellement les techniques de compensation temporaires (par exemple sur la dispersion chromatique) pour tenir compte des conditions ambiantes différentes de celles que l'on rencontre au fond de la mer.

Comme les technologies d'amplification sont nouvelles et en évolution constante, la nature des tests à effectuer pourra fortement changer.

Systèmes sans répéteur

Ces tests sont principalement liés aux caractéristiques optiques des fibres câbles afin de s'assurer que le bilan de puissance optique et les dégradations de propagation éventuellement, permettront d'obtenir une qualité de transmission avec des marges suffisantes. Lorsque des techniques, tel le télépompage d'une fibre amplificatrice en ligne, sont utilisées, d'autres tests tels ceux portant sur la transmission du signal peuvent s'avérer nécessaires.

5.3.2 Tests au cours du chargement et de la pose de la partie à immerger

Systèmes avec régénération et amplification

Pendant le chargement des parties à immerger sur le navire câblier, le système peut être alimenté afin de vérifier que ces parties n'ont pas subi de dommage. Après le chargement, cette partie sera alimentée et des tests seront effectués afin de vérifier la stabilité des caractéristiques de ces parties sur une période de temps suffisamment longue.

Au cours des opérations de pose, le système doit si possible être alimenté tout en veillant à la sécurité du personnel, afin de tester le système et de vérifier l'absence d'anomalie ou de dégradation importante susceptible de réduire la performance finale du système. Après installation complète d'une partie immergée, la performance nécessaire de l'interface sera vérifiée afin de garantir que le raccordement avec les autres parties offrira la qualité requise. L'importance de ces tests d'interface

est plus grande lorsque le système en câble provient de plusieurs fournisseurs étant donné que les différentes parties peuvent être de conception différente.

Systèmes sans répéteur

Pendant les opérations de pose, la qualité de transmission des fibres doit être observée de manière continue ou périodique. En cas d'utilisation de certaines techniques, tel le télépompage de fibres amplificatrices immergées, il faudra réaliser des tests spécifiques complémentaires.

5.3.3 Tests après installation des équipements terminaux

Après l'installation des équipements dans chaque station de câble, des tests fonctionnels (dont des tests d'alarme), de performance et de sécurité doivent être effectués afin de vérifier la conformité avec les spécifications pour les conditions ambiantes régnant dans chaque station terminale. Ces tests doivent porter sur la performance, les fonctionnalités et les moyens de maintenance de chaque équipement et leur interfonctionnement. Il faut au moins effectuer des tests sur:

– l'équipement de téléalimentation branché sur une charge fictive (sauf pour les systèmes sans répéteur);
– l'équipement terminal de transmission en configuration bouclée;
– le contrôleur de maintenance informatisé connecté à l'équipement de terminal de transmission et à l'équipement de téléalimentation.

5.4 Tests de recette du système à câble

Ces tests ont lieu après les tests d'installation de l'équipement terminal dans chaque station et après la pose des installations immergées. Ils permettront de vérifier que le système installé est conforme aux spécifications techniques, compte tenu des marges prévues en début de vie pour garantir la qualité de transmission et permettre les opérations de maintenance et les réparations au cours de la vie utile spécifiée. On pourra prévoir les tests suivants:

Tests de performance et test de fonctionnalité de bout en bout

Ces tests sont exécutés entre les accès d'entrée/sortie du système en câble afin de vérifier que les spécifications techniques sont respectées pour ce qui est de la qualité de transmission et des fonctionnalités de tout le système.

Tests de performance et tests fonctionnels des installations immergées

Les tests fonctionnels et de qualité de transmission effectués sur les répéteurs/amplificateurs permettent de vérifier l'existence de marges suffisantes lors de l'installation du système. Les tests du système de surveillance et de localisation des pannes sont également réalisés. Les paramètres de test peuvent varier selon le type de système et la technique de transmission utilisée (voir § 5.3.1). Des tests de démonstration portant sur la transmission et sur les marges utilisent l'équipement terminal de transmission et le système de surveillance. Pour les systèmes avec amplification, des paramètres indirects tels le facteur Q, le rapport signal optique à bruit, le spectre optique peuvent également être utilisés. Les tests de recette se déroulent pendant une période de stabilisation au cours de laquelle tous les paramètres utiles du système en câble installé sont enregistrés. Ces résultats constituent des données de référence pour l'exploitation et la maintenance du système et ses éventuelles réparations.

Tests des équipements de station terminale

Ces tests de performance et ces tests fonctionnels sont effectués sur ces équipements (équipement terminal de transmission, téléalimentation, contrôleur de maintenance, etc.) dans leur configuration opérationnelle avec les installations immergées.

5.5 Tests de maintenance

Ces tests sont exécutés au cours de la durée de vie opérationnelle du système en fonctionnement normal et lors des opérations de maintenance. Ils sont utilisés pour vérifier périodiquement la performance du système dans le cadre de la maintenance préventive, pour localiser les pannes et pour évaluer les dégradations éventuelles des marges dues aux réparations.

5.5.1 Tests systématiques

Ces tests sont exécutés sur l'installation immergée depuis les stations terminales en utilisant le système de surveillance. Ils sont effectués en service automatiquement ou bien à la demande de l'exploitant. Les résultats obtenus sont comparés aux précédentes données de référence. Ces tests ne doivent pas altérer la qualité de transmission en dessous des seuils spécifiés et ne sont pas adaptés aux systèmes sans répéteur.

Des tests systématiques similaires sont également exécutés sur l'équipement terminal.

5.5.2 Tests utilisés pour la localisation des pannes sur les installations immergées

Ces tests peuvent être exécutés hors service à partir de la station terminale en utilisant le système de surveillance ou avec des moyens externes (par exemple, réflectométrie optique dans le domaine temporel, réflectométrie optique dans le domaine temporel cohérent, mesures de résistance et de capacitance sur le conducteur, etc.). Ils sont utilisés pour localiser et identifier les pannes avec une précision maximale. En général, une réflectométrie optique dans le domaine temporel (OTDR, *optical time domain reflectometry*) est utilisée à cet effet et, en particulier, une réflectométrie optique temporelle cohérente (COTDR, *coherence optical time domain reflectometry*) présente un bon potentiel dans la localisation de défauts des systèmes OFA de longue distance à cause de sa meilleure sensibilité et de sa meilleure sélectivité en fréquence.

Depuis le navire câblier, avant de récupérer l'élément en panne du câble ou de l'équipement immergé, des tests de localisation du câble peuvent être effectués en utilisant par exemple la technique de l'electroding.

5.5.3 Tests effectués pendant et après une réparation sur une installation immergée

Après récupération du câble à proximité du point où se trouve la panne, des tests sont effectués afin de localiser plus précisément la panne et de déterminer sa nature. On peut à cette fin procéder par réflectométrie optique temporelle et mesure d'isolement.

Après une réparation, des tests sont exécutés pour vérifier la qualité mécanique, la qualité électrique et la qualité de transmission de cette réparation avant la pose. Pour les systèmes avec régénération, les marges de puissance des sections réparées sont mesurées en utilisant les informations sur la qualité de transmission données par le système de surveillance. Pour les systèmes avec amplification, des méthodes analogues à celles utilisées durant l'installation du système et des tests de recette peuvent être utilisés.

6 Liste des tests à effectuer sur les systèmes de transmission par câble sous-marin à fibres optiques et méthodes de test applicables

Le présent paragraphe contient des références aux méthodes de test propres aux systèmes sous-marins et des références aux méthodes générales de test étudiées dans le cadre d'autres questions et qui sont directement applicables aux systèmes de transmission par câble sous-marin à fibres optiques.

6.1 Tests sur les fibres optiques du câble sous-marin à fibres optiques

6.1.1 Généralités

Le présent paragraphe contient une énumération et une description des tests à effectuer sur les fibres optiques du câble sous-marin. On trouvera dans les Recommandations UIT-T G.650.1 et G.650.2 une description générale des tests pour les fibres optiques monomodes. Le but du présent paragraphe est d'énumérer les tests portant sur les fibres optiques du câble sous-marin Ces tests sont étroitement liés aux caractéristiques de transmission des systèmes de transmission à câble sous-marin à fibres optiques. Le Tableau 1 contient un récapitulatif de toutes les caractéristiques testées et de toutes les Recommandations applicables ainsi que des types de fibres et de systèmes associés.

Tableau 1/G.976 – Liste des tests types à effectuer sur les fibres optiques du câble sous-marin

Tests	Définis dans	Décrits dans	Applicables à	Systèmes concernés
Diamètre de champ de mode (MFD, *mode field diameter*)	3.3.2/G.650.1	5.1/G.650.1	F	Tous les systèmes
Diamètre de gaine	3.4.3/G.650.1	5.2/G.650.1	F	Tous les systèmes
Erreur de concentricité du cœur	3.4.8/G.650.1	5.2/G.650.1	F	Tous les systèmes
Non-circularité de gaine	3.4.6/G.650.1	5.2/G.650.1	F	Tous les systèmes
Surface effective (A_{eff})	Appendice II.2/ G.650.2	Appendice III/ G.650.2	F	Systèmes à longue distance avec amplification optique
Coefficient de non-linéarité (n_2/A_{eff})	Appendice II.4/ G.650.2	7.1.2.2/G.976	F	Systèmes à longue distance avec amplification optique
Affaiblissement	3.6.2/G.650.1	5.4/G.650.1	F, C	Tous les systèmes
Longueur d'onde de coupure de fibre (λ_c)	3.6.1/G.650.1	5.3/G.650.1	F	Tous les systèmes
Dispersion chromatique	3.5.1/G.650.1	5.5/G.650.1	F, C	Tous les systèmes
Uniformité de la dispersion chromatique	A étudier	Appendice II/ G.650.1	F, C	Tous les systèmes
Dispersion modale de polarisation (PMD, *polarization mode dispersion*)	3.1.1/G.650.2	5.1/G.650.1	F, C	Tous les systèmes
Tests d'épreuve	3.2.3/G.650.1	5.6/G.650.1	F	Tous les systèmes
F fibre non câblée C fibre câblée				

6.1.2 Tests optogéométriques

Dans le présent paragraphe sont décrites les caractéristiques optogéométriques des fibres optiques du câble sous-marin à tester.

6.1.2.1 Diamètre de champ de mode (MFD)

Le diamètre de champ de mode est un paramètre qui est lié à la distribution du champ du mode fondamental (LP_{01}) dans la fibre optique. Cette caractéristique revêt une grande importance car elle

est étroitement liée au degré des non-linéarités optiques qui influent sur la qualité de transmission des systèmes de transmission par câble sous-marin à fibres optiques, et plus particulièrement des systèmes à amplification optique et à longue distance.

6.1.2.2 Diamètre de gaine, erreur de concentricité du cœur et non-circularité de la gaine

Le diamètre de la gaine, l'erreur de concentricité du cœur et la non-circularité de la gaine sont des paramètres qui décrivent les caractéristiques optogéométriques de la fibre optique.

6.1.2.3 Surface efficace (A_{eff}, *effective area*)

La surface efficace (A_{eff}) est un paramètre qui est étroitement lié aux non-linéarités de la fibre optique qui influent sur la qualité de transmission des systèmes de transmission par câble sous-marin à fibres optiques, et plus particulièrement des systèmes à amplification optique et à longue distance.

6.1.2.4 Coefficient de non-linéarité (n_2/A_{eff}, *non-linear coefficient*)

Le coefficient de non-linéarité (n_2/A_{eff}) est un paramètre qui exprime les non-linéarités de la fibre optique. Ces non-linéarités de la fibre optique influent sur la qualité de transmission des systèmes à câble sous-marin à fibres optiques, plus particulièrement des systèmes à amplification optique et à longue distance.

6.1.3 Tests sur les caractéristiques de transmission

Dans le présent paragraphe sont décrites les caractéristiques de transmission des fibres optiques du câble sous-marin à tester.

6.1.3.1 Affaiblissement

L'affaiblissement résulte des pertes dans les fibres optiques du câble sous-marin et des pertes dues aux épissures. La distance de transmission maximale des systèmes de transmission par câble sous-marin à fibres optiques dépend fortement de cet affaiblissement.

6.1.3.2 Longueur d'onde de coupure de la fibre (λ_c)

La longueur d'onde de coupure de la fibre (λ_c) est la longueur d'onde la plus courte en fonctionnement monomode.

6.1.3.3 Dispersion chromatique

La dispersion chromatique des fibres optiques du câble sous-marin est une caractéristique importante car elle se traduit par une distorsion du signal dans les flux de données transmis qui peut être gênante pour les systèmes à longue distance ou à fort débit de données.

Les paramètres suivants expriment la dispersion chromatique des fibres optiques:

– coefficient de dispersion chromatique;
– pente à la dispersion nulle;
– longueur d'onde à la dispersion nulle.

6.1.3.4 Uniformité de la dispersion chromatique

A étudier.

6.1.3.5 Dispersion modale de polarisation (PMD)

Une forte dispersion modale de polarisation des fibres optiques d'un câble sous-marin se traduit par une distorsion de forme d'onde des flux de données transmis et donc par une dégradation des caractéristiques de transmission du système.

6.1.4 Tests mécaniques

Les fibres optiques du câble sous-marin sont soumises à des tests d'épreuve afin d'évaluer leurs caractéristiques mécaniques.

Il convient également de soumettre les épissures des fibres à des tests d'épreuve. Il est très important d'établir un certain niveau de résistance mécanique pour l'épissure, lié à sa durée de vie prévue. Comme les fibres optiques juste après leur fabrication, l'épissure est soumise à un test de traction pendant une courte durée. Certaines machines d'épissurage effectuent ce test une fois les fibres épissurées placées dans les mandrins d'épissurage, et d'autres, une fois celles-ci placées dans les porte-fibres pour l'application de la protection thermorétractable. On élimine alors les épissures dont la résistance est inférieure au niveau du test d'épreuve.

La machine d'épissurage doit pouvoir réaliser le test d'épreuve automatiquement ou manuellement. Le temps de déchargement doit être court afin de réduire au minimum la baisse de résistance lors du déchargement.

On trouvera des informations pertinentes sur cette question dans la Rec. UIT-T L.12.

6.1.5 Fabrication, installation et conditions ambiantes

Les fibres optiques du câble sous-marin doivent être testées avant leur câblage, car le processus de câblage peut modifier certaines caractéristiques des fibres. Il peut donc être nécessaire de répéter certains tests sur les fibres optiques du câble sous-marin après leur câblage.

De plus, les conditions ambiantes (pression, tension et température des fibres optiques des câbles sous-marins) qui sont différentes avant et après l'installation du câble au fond de la mer influent sur les caractéristiques des fibres optiques du câble sous-marin. Il convient donc d'en évaluer précisément les effets.

6.2 Tests sur le câble sous-marin à fibres optiques

Dans le présent paragraphe, le Tableau 2 contient la liste et une description des tests applicables aux câbles sous-marins destinés à être utilisés avec ou sans répéteur.

Cette liste de tests, établie à partir de programmes types de tests, n'est pas exclusive ou exhaustive. Certains de ces tests ne sont pas utilisables en production car ils sont soit mal adaptés à une utilisation sur les chaînes de production soit de nature destructive – utilisés pour déterminer les limites de capacité. Des tests supplémentaires ou des conditions de tests spécifiques doivent être implémentés, le cas échéant, en vue de s'assurer que le type de câble proposé convient bien à sa destination.

Tableau 2/G.976 – Tests types sur les câbles sous-marins à fibres optiques

Référence	Caractéristique testée	Type d'échantillon	Avec répéteur	Sans répéteur
7.2.1	Transmission			
7.2.1.1	Affaiblissement dû à la fabrication	E	x	x
7.2.1.2	Déformation d'une fibre câblée	E	x	x
7.2.1.3	Température	E, R	x	x
7.2.1.4	Pression	E, R	x	x
7.2.2	Mécanique			
7.2.2.1	Traction (fixe)	E, R	x	x
7.2.2.2	Traction (libre)	E, R	x	x
7.2.2.3	Traction (rupture)	E, R	x	x
7.2.2.4	Fatigue	E	x	x
7.2.2.5	Passage en poulie	E, R	x	x

Tableau 2/G.976 – Tests types sur les câbles sous-marins à fibres optiques

Référence	Caractéristique testée	Type d'échantillon	Avec répéteur	Sans répéteur
7.2.3	Manipulation			
7.2.3.1	Ecrasement	E	x	x
7.2.3.2	Choc	E	x	x
7.2.3.3	Résistance à la flexion	E	x	x
7.2.4	Fiabilité			
7.2.4.1	Pénétration de l'eau	E	x	x
7.2.4.2	Corrosion	E, R	x	x
7.2.4.3	Haute tension	E, R	x	
7.2.4.4	Intégrité d'isolation	E, R	x	x
7.2.5	Opérationnelle			
7.2.5.1	Adhérence	E	x	x
7.2.5.2	Anneaux stoppeurs	E	x	x
7.2.5.3	Equipement d'installation	E, R	x	x

E	échantillon de câble ayant été précédemment lové et déroulé.
R	échantillon de câble comportant des raccords ou des terminaisons.
Avec répéteur	applicable aux câbles sous-marins à fibres optiques avec répéteur.
Sans répéteur	applicable aux câbles sous-marins à fibres optiques sans répéteur.
x	Indique l'étape de qualification à tester.

NOTE – Parfois, la longueur de l'échantillon de câble relié à des raccords ou à des terminaisons peut être raccourcie pour faciliter les tests.

6.2.1 Caractéristiques de transmission

Des tests sont effectués sur le câble sous-marin afin de mesurer ses caractéristiques de transmission, ses caractéristiques optiques et ses caractéristiques électriques (le cas échéant) compte tenu des contraintes mécaniques, des variations de température et des pressions externes auxquelles il est soumis pendant sa fabrication et tout au long de son exploitation.

6.2.2 Caractéristiques mécaniques

Des tests sont effectués sur le câble sous-marin afin de mesurer ses caractéristiques mécaniques compte tenu des opérations de pose, de récupération et de réparation depuis un navire et de fixer un degré connu de sécurité.

6.2.3 Manutention

Des tests sont exécutés sur le câble sous-marin pour déterminer ses caractéristiques de manutention au cours du transfert et de son stockage sur une gamme de températures étendue en tenant compte des éventuels chocs et impacts.

6.2.4 Fiabilité

Des tests sont exécutés sur le câble sous-marin pour déterminer sa fiabilité en ce qui concerne son exposition à long terme à l'eau de mer et aux gradients de champ électrique en service, et pour ce qui est de la corrosion potentielle, des phénomènes électrochimiques et de l'infiltration de l'eau dans l'éventualité d'une rupture de câble.

6.2.5 Manipulation

Les tests sont exécutés sur le câble sous-marin pour déterminer sa facilité de manipulation externe, par exemple en ce qui concerne l'utilisation d'anneaux stoppeurs dans les conditions météorologiques les plus mauvaises et l'utilisation d'équipements d'installation conventionnels.

6.3 Tests sur des amplificateurs de fibres optiques dans les répéteurs sous-marins optiques (OSR)

6.3.1 Généralités

Le présent paragraphe énumère et décrit les essais effectués sur les amplificateurs optiques de répéteurs sous-marins optiques (OSR). On trouvera dans la Rec. UIT-T G.661 une description générale des tests pour les amplificateurs optiques. Le but du présent paragraphe est d'énumérer les tests effectués sur les amplificateurs optiques des répéteurs OSR. Les tests énumérés ici sont récapitulés dans le Tableau 3.

Tableau 3/G.976 – Listes de tests types effectués sur des amplificateurs optiques des répéteurs OSR

Tests	Définis dans	Décrits dans
Gain pour les petits signaux (SSG)	4.1/G.661	5/G.661
Gain nominal (NG)	6.3.2.2/G.976	5/G.661
Platitude du gain (GF)	6.3.2.3/G.976	5/G.661
Facteur de compression (CF)	6.3.2.4/G.976	5/G.661
Facteur de bruit (NF)	4.13/G.661	5/G.661
Puissance nominale de sortie du signal (NSOP)	4.12/G.661	5/G.661
Puissance nominale d'entrée du signal (NSIP)	A étudier	5/G.661
Variation du gain en fonction de la polarisation (PDG)	4.10/G.661	A étudier
Affaiblissement dû à la polarisation (PDL)	3.2.23/G.671	5/G.671
Saturation spectralement sélective due à la polarisation (PHB)	4.30/G.661	A étudier
Dispersion modale de polarisation (PMD)	4.31/G.661	CEI 61290-11-1
NOTE – Les systèmes à longue distance avec amplification optique sont les seuls systèmes pertinents.		

6.3.2 Tests sur les caractéristiques des amplificateurs des fibres optiques des répéteurs OSR

Dans le présent paragraphe sont décrites les caractéristiques des amplificateurs des fibres optiques des répéteurs OSR à tester.

6.3.2.1 Gain pour les petits signaux (SSG, *small signal gain*)

Gain de l'amplificateur, fonctionnant en régime linéaire, lorsqu'il est totalement indépendant de la puissance d'entrée du signal optique, à une longueur d'onde de signal donnée et à une puissance optique de pompage donnée, pour les amplificateurs à fibres optiques (OFA, *optical fibre amplifier*).

6.3.2.2 Gain nominal (NG, *nominal gain*)

Il s'agit, dans un amplificateur OFA connecté extérieurement à une fibre de jarretière d'entrée, de l'augmentation de puissance optique du signal, de l'extrémité de sortie de la fibre de jarretière au port de sortie de l'amplificateur optique et elle est exprimée en dB.

6.3.2.3 Platitude du gain (GF, *gain flatness*)

La platitude du gain est l'aplatissement du gain d'un amplificateur OFA en fonction de la longueur d'onde au point nominal de fonctionnement. Il convient que la platitude du gain cumulée le long d'une section de ligne numérique sous-marine soit conforme à la capacité de préaccentuation de l'équipement terminal de transmission (TTE, *terminal transmission equipment*) du côté de l'émetteur et à la dégradation correspondante attribuée dans le tableau de bilan de puissance.

6.3.2.4 Facteur de compression (CF, *compression factor*)

Il s'agit de la différence exprimée en dB entre le gain de signal faible et le gain nominal. Un amplificateur OFA fonctionnant en compression sera plus à même de compenser de lentes fluctuations de puissance d'entrée ou des augmentations d'affaiblissement en ligne compressé.

6.3.2.5 Facteur de bruit (NF, *noise figure*)

Diminution du rapport signal/bruit (SNR), au niveau de la sortie d'un détecteur optique à rendement quantique unitaire, due à la propagation d'un signal limité par le bruit de grenaille à travers l'amplificateur optique, exprimée en dB.

6.3.2.6 Puissance nominale de sortie du signal (NSOP, *nominal signal output power*)

Puissance optique minimale de sortie d'un signal pour une valeur de puissance optique d'entrée de signal spécifiée, dans les conditions nominales de fonctionnement.

6.3.2.7 Puissance nominale d'entrée du signal (NSIP, *nominal signal input power*)

A étudier.

6.3.2.8 Variation du gain en fonction de la polarisation (PDG, *polarization dependent gain*)

Variation maximale du gain due à la variation de l'état de polarisation du signal d'entrée, dans les conditions nominales de fonctionnement.

6.3.2.9 Affaiblissement dû à la polarisation (PDL, *polarization dependent loss*)

Variation maximale de la perte par insertion due à la variation de l'état de polarisation du signal d'entrée sur tous les états de polarisation.

6.3.2.10 Saturation spectralement sélective due à la polarisation (PHB, *polarization hole burning*)

A étudier.

6.3.2.11 Dispersion modale de polarisation (PMD, *polarization mode dispersion*)

Différence maximale de temps de propagation de groupe entre n'importe quels états de polarisation pendant la propagation à travers l'amplificateur optique (OA, *optical amplifier*).

6.4 Tests sur l'équipement terminal de transmission

A étudier.

6.5 Tests sur l'équipement de téléalimentation

Il convient d'effectuer des tests afin de s'assurer de la sécurité du personnel.

6.6 Tests sur la liaison

6.6.1 Généralités

Le présent paragraphe contient des informations sur les tests à effectuer sur la liaison par systèmes de transmission par câble sous-marin à fibres optiques. Il s'agit de donner un tableau qui renvoie

aux paragraphes des Recommandations pertinentes contenant une description des paramètres de performance, ainsi que leurs définitions et les objectifs associés.

Les tests sur la liaison par câble sous-marin à fibres optiques portent sur les caractéristiques d'erreur totale, les caractéristiques de gigue totale et contrôle des marges.

Les paramètres de performance, les Recommandations applicables et les systèmes pertinents sont récapitulés dans le Tableau 4. Il faut noter que toutes les Recommandations ne prennent pas en compte l'augmentation de débit binaire due à l'implémentation de la correction d'erreur directe (FEC, *forward error correction*).

Tableau 4/G.976 – Liste des paramètres de performance d'un système de câble sous-marin à fibres optiques

Caractéristiques	Paramètres de performance	Décrits dans	Objectif de performance spécifié au	Systèmes concernés
Caractéristiques d'erreur totale	Taux de secondes erronées (ESR, *errored second ratio*)	4.2.2.1/G.821	5/G.821	PDH (débit < débit primaire)
	Taux de secondes erronées (ESR)	3.2.5.1/G.828 4.7.1/G.826	6.1/G.828 7.1/G.826	SDH, PDH (débit égal et supérieur au débit primaire)
	Taux de secondes gravement erronées (SESR, *severely errored second ratio*)	4.2.2.2/G.821	5/G.821	PDH (débit < débit primaire)
	Taux de secondes gravement erronées (SESR)	3.2.5.2/G.828 4.7.2/G.826	6.1/G.828 7.1/G.826	SDH, PDH (débit égal et supérieur au débit primaire)
	Taux de blocs erronés résiduels (BBER, *background block error ratio*)	3.2.5.3/G.828 4.7.3/G.826	6.1/G.828 7.1/G.826	SDH, PDH (débit égal et supérieur au débit primaire)
Gigue (Note 1)	Gigue maximale autorisée	7.1/G.810	5.1/G.823	PDH
	Tolérance de gigue	15.1/G.783	15.1/G.783	SDH
Surveillance de la marge (Note 2)	Facteur Q	7.6/G.976		PDH, SDH

NOTE 1 – Applicable uniquement aux systèmes avec régénération.

NOTE 2 – Les marges de systèmes peuvent être évaluées à partir de la performance globale et le facteur Q est un paramètre supplémentaire utile pour le contrôle des marges et en particulier pour les systèmes avec amplification optique. Par conséquent, la mesure d'un facteur Q n'est pas obligatoire.

6.6.2 Caractéristique d'erreur totale

Il convient que la caractéristique d'erreur d'un système de transmission par câble sous-marin à fibres optiques soit conforme aux valeurs spécifiées dans les Recommandations pertinentes tout au long de la durée de vie nominale du système, à savoir la Rec. UIT-T G.821 pour les systèmes à hiérarchie numérique plésiochrone (PDH, *plesiochronous digital hierarchy*) et les Recommandations UIT-T G.826 et G.828 pour les systèmes à hiérarchie numérique synchrone (SDH, *synchronous digital hierarchy*).

6.6.3 Gigue

Il convient que la gigue dans un système de transmission par câble sous-marin à fibres optiques soit conforme aux valeurs spécifiées dans la Recommandation UIT-T G.823 pour la PDH et dans la Rec. UIT-T G.783 pour la SDH et ceci tout au long de la durée de vie nominale du système.

6.6.4 Contrôle des marges

Le facteur Q au niveau d'un récepteur optique est lié à la caractéristique d'erreur d'un système de transmission par câble sous-marin à fibres optiques. Par conséquent, la connaissance du facteur Q au niveau d'un récepteur optique donne une indication sur la marge applicable au système.

7 Description de méthodes de test spécialement applicables aux systèmes de transmission par câble sous-marin à fibres optiques

Le présent paragraphe contient les descriptions de méthodes de test propres aux systèmes sous-marins et de méthodes de test générales étudiées dans le cadre d'autres questions et nécessitant une adaptation particulière pour pouvoir être appliquées aux systèmes sous-marins.

7.1 Tests applicables aux fibres optiques d'un câble sous-marin

7.1.1 Généralités

Le présent paragraphe contient la description de méthodes de test propres aux fibres optiques d'un câble sous-marin.

7.1.2 Méthodes de test relatives aux caractéristiques optogéométriques

Le présent paragraphe contient la description de méthodes de test spécifiques relatives aux caractéristiques optogéométriques des fibres optiques d'un câble sous-marin.

7.1.2.1 Surface efficace (A_{eff})

Plusieurs méthodes de mesure de la surface efficace ont été proposées. Elles sont décrites dans l'Appendice III/G.650.2. Pour définir la méthode de test recommandée et les autres méthodes de test, un complément d'étude est nécessaire.

7.1.2.2 Coefficient non linéaire (n_2/A_{eff})

Plusieurs méthodes ont été proposées pour la mesure du coefficient de non-linéarité, notamment:

– la méthode de modulation autophase (SPM, *self-phase modulation*);

– la méthode de modulation transphase (XPM, *cross-phase modulation*);

– la méthode interférométrique auto-compensée (SCI, *self-compensated interferometric*);

– la méthode du mélange de quatre ondes (FWM, *four-wave mixing*).

Les méthodes de test relatives au coefficient de non-linéarité n'ont toutefois pas encore été déterminées. Pour définir la méthode de test recommandée et les autres méthodes de test, un complément d'étude est nécessaire.

NOTE – La méthode SPM est décrite dans la Norme CEI TR 62285.

7.1.3 Méthodes de test relatives aux caractéristiques de transmission

Le présent paragraphe contient la description de méthodes de test propres aux caractéristiques de transmission des fibres optiques contenues dans un câble sous-marin.

7.1.3.1 Dispersion modale de polarisation (PMD)

Il existe plusieurs méthodes de mesure de la dispersion modale de polarisation des fibres optiques contenues dans un câble sous-marin.

Certaines de ces méthodes de mesure utilisent le domaine temporel, comme par exemple:

RTM

– Technique d'évaluation du paramètre de Stokes.

ATM

– La méthode de l'analyseur fixe (FA, *fixed analyser*);
– La méthode de l'état de polarisation (SOP, *state-of-polarization*);
– Des méthodes interférométriques (type de référence de trajet à l'air libre, type de fibre de référence).

La technique d'évaluation du paramètre de Stokes est une méthode de mesure de référence (RTM, *reference test method*) unique pour ce qui concerne la dispersion modale de polarisation (PMD). Les autres méthodes sont des méthodes ATM.

7.2 Tests applicables au câble sous-marin à fibres optiques

L'objectif des tests est d'évaluer les caractéristiques d'un câble sous-marin de type donné dans des conditions types d'installation, de service et de relevage.

La suite des opérations et des manipulations auxquelles les échantillons ont été soumis ainsi que leur constitution avant le test doivent être tels que l'état des échantillons soit représentatif de l'état du câble dans la pratique, par exemple:

– les échantillons doivent avoir été enroulés et déroulés plusieurs fois, compte tenu du diamètre d'enroulement minimal donné dans les spécifications nominales du câble;
– les fibres doivent comporter des épissures;
– les échantillons doivent comporter des raccords, des terminaisons, etc.

Les tests décrits visent avant tout à qualifier le câble à fibres optiques même si certains tests peuvent faire partie de procédures normalisées d'assurance de la qualité de fabrication. Le paragraphe 6.2 donne les structures de programmes de tests types, pour les câbles avec répéteurs et les câbles sans répéteur; ces structures comprennent notamment la constitution recommandée des échantillons de test.

On peut se baser sur l'installation ou la réparation réussie d'un système de transmission par câble pour qualifier les composantes d'un système *uniquement* pour les conditions dans lesquelles s'est faite l'installation ou la réparation; il est possible que les conditions correspondant au cas le plus défavorable n'aient pas été rencontrées dans de tels cas. Il faudrait, au besoin, prévoir d'autres tests ou d'autres conditions de test spécifiques, afin de garantir que le système de transmission par câble proposé est adapté à l'objectif fixé.

Adéquation des tests

Le critère d'adéquation d'un test dépend de la spécification du système en projet.

Méthodes pratiques propres à assurer le bon fonctionnement du système

La présente Recommandation permet de quantifier les caractéristiques types d'un câble et de ses accessoires. La conformité à la présente Recommandation ne garantit pas en elle-même le bon fonctionnement pendant l'installation ou la réparation d'un câble, car il relève de la responsabilité unique de l'installateur. La présente Recommandation peut toutefois servir à déterminer la marge de sécurité du câble, comme l'indique l'Appendice I.

Interprétation de termes

La définition des termes "marge de sécurité de câble", "résistance nominale transitoire à la traction (NTTS)", etc., applicables à la présente Recommandation est donnée dans la Recommandation UIT-T G.972. Pour de plus amples renseignements sur l'interprétation des termes, se reporter à l'Appendice I.

7.2.1 Caractéristiques de transmission

7.2.1.1 Caractéristique d'affaiblissement d'un câble manufacturé

Objectif

– Montrer que l'affaiblissement d'une section de câble assemblé peut satisfaire à la marge spécifiée pour le système.

Les tests de transmission peuvent être réalisés sur des sous-sections de câble manufacturé; les mesures d'affaiblissement sont faites systématiquement aux différentes étapes de fabrication. L'affaiblissement supplémentaire dû aux réparations et au vieillissement (effets de l'hydrogène, de rayonnements nucléaires, etc.) doit être évalué séparément dans le cadre de l'analyse de la marge pour le système.

Méthode de test

L'affaiblissement d'une fibre peut être mesuré à l'aide d'un équipement approprié disponible sur le marché. Cet affaiblissement est mesuré de préférence conformément à la Rec. UIT-T G.650.1.

Conditions de test

Il est préférable de faire les mesures dans une plage de température spécifiée conformément à la Rec. UIT-T G.650.1.

7.2.1.2 Déformation d'une fibre câblée

Objectif

– Montrer que la valeur de la sous-longueur résiduelle d'une fibre (contrainte) ou de sa surlongueur résiduelle est comprise dans les limites nominales spécifiées pour le câble.

La mesure de la longueur d'une fibre fait partie du processus de qualification au moment de la conception. Des mesures complémentaires en usine peuvent être faites dans le cadre des procédures d'assurance de la qualité.

Méthode de test

Les contraintes dans une fibre peuvent être mesurées à l'aide d'un équipement approprié disponible sur le marché. La sous-longueur ou la surlongueur d'une fibre peuvent être déterminées par comparaison avec des mesures de longueur équivalente de câble.

Conditions de test

Il est préférable de faire les mesures dans une plage de températures spécifiées conformément aux spécifications de température du câble.

7.2.1.3 Stabilité en température

Objectifs

– Montrer que les caractéristiques optiques du câble ne sont pas modifiées par les conditions de température ambiante régnant pendant son transport, son service et son stockage.

– Spécifier les éventuelles conditions spécifiques de transport ou de stockage qui garantissent que les caractéristiques optiques ne sont pas modifiées.

Méthode de test

L'échantillon de câble est soumis à plusieurs cycles de températures entre les températures spécifiées, compte tenu des conditions applicables aux sections marines et aux sections terrestres, pour les phases d'installation et de stockage (généralement entre –20° C et +50° C). Les caractéristiques suivantes sont évaluées par rapport aux valeurs nominales spécifiées pour le câble:

– les augmentations éventuelles de l'affaiblissement optique;
– la structure apparente du ou des échantillons de câble testés.

Conditions de test

L'affaiblissement optique et la résistance du fil central (ou du conducteur composite), le cas échéant, sont observés tout au long du test.

7.2.1.4 Résistance à la pression hydraulique

Objectif

– Montrer que le câble peut supporter, à la fois optiquement et électriquement, la pression maximale du fond de la mer.

Méthode de test

Une certaine longueur de câble est placée à l'intérieur d'une enceinte hermétique. Des bouchons hermétiques au niveau desquels l'assemblage de fibres optiques peut sortir servent à sceller les extrémités de l'échantillon. La pression régnant à l'intérieur de l'enceinte est augmentée jusqu'à un niveau correspondant à la pression maximale du fond de la mer. L'affaiblissement optique est surveillé tout au long du test. Les caractéristiques suivantes sont évaluées par rapport aux valeurs nominales spécifiées pour le câble:

– les augmentations éventuelles de l'affaiblissement optique;
– la structure apparente du ou des échantillons de câble testés;
– l'absence d'infiltration d'eau dans l'échantillon testé.

L'intégrité du ou des échantillons après le test de pression peut être confirmée par un test approprié de tension électrique.

Conditions de test

La longueur de l'échantillon de câble doit être fonction de la précision de l'équipement de test. La durée minimale du test est généralement de 30 minutes, voire davantage; si un certain fluage ou un affaiblissement supplémentaire est détecté, le test doit être poursuivi jusqu'à 24 heures. Les paragraphes 7.2.4.3 et 7.2.4.4 contiennent la description de tests de tension appropriés.

7.2.2 Caractéristiques mécaniques

7.2.2.1 Test de traction avec torsion limitée

Objectifs

– Montrer que le câble peut supporter la charge de traction maximale attendue pendant la pose et le relevage avec un degré de sécurité connu.
– Montrer que les fibres optiques ne subissent pas de déformation excessive pendant ou après l'application de la charge.
– Déterminer si les caractéristiques du câble soumis à la charge de traction permettraient de réutiliser le câble après une opération de relevage.

Méthode de test

Les échantillons de câble ont à chacune de leurs extrémités un dispositif d'ancrage et sont installés dans un équipement de traction. Les extrémités des fibres doivent être fixées aux dispositifs d'ancrage de telle manière que la déformation des fibres puisse être mesurée avec précision et que les effets d'extrémité puissent être détectés. Le câble testé doit être suffisamment long pour que les effets d'extrémité soient négligeables et que les mesures soient suffisamment précises; il est possible de raccorder plusieurs fibres optiques afin d'augmenter la longueur du trajet. L'affaiblissement optique et la déformation des fibres sont évalués de façon continue tout au long du test. La charge de traction et l'allongement du câble sont mesurés de façon continue tout au long du test. Les caractéristiques suivantes sont évaluées par rapport aux valeurs nominales spécifiées pour le câble:

– les augmentations éventuelles de l'affaiblissement optique;
– la structure apparente du ou des échantillons de câble testés;
– la stabilité de l'allongement du câble lorsque celui-ci est soumis à la charge maximale;
– les caractéristiques de la charge en fonction du couple de torsion.

Conditions de test

Le câble est fixé de telle manière qu'il ne subisse pas de torsion pendant l'allongement. Il est soumis à une charge égale à sa résistance nominale transitoire à la traction (NTTS, *nominal transient tensile strength*) et maintenu dans cet état pendant une courte durée, au moins une heure en général. Le test peut être répété plusieurs fois pour contrôler les effets d'hystérésis. Différents tests peuvent être effectués pour des échantillons de câble comportant des raccords et pour d'autres n'en comportant pas.

7.2.2.2 Test de traction avec couple de torsion minimal

Objectifs

– Montrer que le câble peut supporter la charge de traction maximale attendue pendant la pose et le relevage avec un degré de sécurité connu.
– Montrer que les fibres optiques ne subissent pas de déformation excessive pendant et après l'application de la charge.

Méthode de test

Les échantillons de câble ont à chacune de leurs extrémités un dispositif d'ancrage et sont installés dans un équipement de traction. Les extrémités des fibres doivent être fixées aux dispositifs d'ancrage de telle manière que la déformation des fibres puisse être mesurée avec précision et que les effets d'extrémité puissent être détectés. Le câble testé doit être suffisamment long pour que les effets d'extrémité soient négligeables et que les mesures soient suffisamment précises; il est possible de raccorder plusieurs fibres optiques afin d'augmenter la longueur du trajet. L'affaiblissement optique et la déformation des fibres sont surveillés de façon continue tout au long du test. La charge de traction, l'allongement du câble et la torsion du câble sont mesurés de façon continue tout au long du test. Les caractéristiques suivantes sont évaluées par rapport aux valeurs nominales spécifiées pour le câble:

– les augmentations éventuelles de l'affaiblissement optique;
– la structure apparente du ou des échantillons de câble testés;
– la stabilité de l'allongement du câble lorsque celui-ci est soumis à la charge maximale;
– la valeur de la torsion du câble et de la déformation du câble/des fibres pendant et après l'application de la charge.

Conditions de test

Le câble est fixé de telle manière que la torsion soit possible à l'une de ses extrémités. Il est soumis à une charge égale ou supérieure à sa tension nominale de déploiement en profondeur et il est maintenu dans cet état pendant une courte durée, au moins une heure en général. Le test peut être répété plusieurs fois pour contrôler les effets d'hystérésis. Différents tests peuvent être effectués pour des échantillons de câble comportant des raccords et pour d'autres n'en comportant pas.

7.2.2.3 Test de traction avec rupture

Objectifs

– Montrer que le câble peut supporter la charge de traction maximale attendue pendant la pose et le relevage avec un degré de sécurité connu.

– Montrer que le câble ne rompt pas à une charge inférieure à sa résistance nominale à la traction.

Méthode de test

Les échantillons de câble ont à chacune de leurs extrémités un dispositif d'ancrage et sont installés dans un équipement de traction. La longueur de l'échantillon testé peut être réduite au minimum en fonction de considérations de sécurité, à condition que cette longueur soit suffisante pour la précision de la mesure. La charge de traction et l'allongement du câble sont mesurés de façon continue tout au long du test. L'affaiblissement optique et la déformation des fibres sont surveillés autant que possible au cours du test.

Conditions de test

Le câble est normalement fixé de telle manière que toute torsion soit impossible pendant l'allongement. Une charge croissante est appliquée au câble jusqu'à ce qu'une rupture se produise dans l'un des porteurs, conduisant alors à une avalanche de ruptures; cela correspond à la charge de rupture du câble.

Marge de sécurité d'un câble

Différence de charge de traction entre la charge de rupture mesurée et la charge maximale à l'installation ou à la récupération spécifiée par l'installateur. La marge de sécurité peut, en général, être exprimée en pourcentage de la charge mesurée à la rupture. Se reporter à l'Appendice I pour de plus amples renseignements.

7.2.2.4 Test de fatigue mécanique

Objectif

– Montrer que le câble peut supporter une charge périodique équivalente à celle qui lui serait généralement appliquée au cours d'une réparation par un navire.

Méthode de test

Les échantillons de câble ont à chacune de leurs extrémités un dispositif d'ancrage et sont installés dans un équipement de traction, qui, de préférence, comporte une poulie. Le câble est soumis à plusieurs cycles de charge entre une charge faible et une charge élevée, afin de simuler l'effet du mouvement du navire câblier (dû au mouvement des vagues) sur le câble suspendu au-dessus de sa profondeur nominale maximale dans les conditions météorologiques les plus défavorables. L'affaiblissement optique et la charge de traction sont surveillés tout au long du test. Les conditions météorologiques et la profondeur nominale simulées sont enregistrées. Les caractéristiques suivantes sont évaluées par rapport aux valeurs nominales spécifiées pour le câble:

– les augmentations éventuelles de l'affaiblissement optique;

– l'aspect et le niveau de l'adhérence des couches entre elles de la structure du ou des échantillons de câble testés.

Conditions de test

Le câble testé doit être suffisamment long pour que les effets d'extrémité soient négligeables et que les mesures soient suffisamment précises; il est possible de raccorder plusieurs fibres optiques afin d'augmenter la longueur du trajet. Il convient de préciser le nombre de cycles, qui doit tenir compte de la durée prévue pour la réparation par un navire ainsi que de la durée prévisible d'un cycle de vague.

7.2.2.5 Tests de davier

Objectif

– Montrer que le câble peut supporter la courbure normale sur le davier sous la charge de traction maximale attendue, pendant la pose, le maintien et le relevage.

Méthode de test

Les deux extrémités de l'échantillon de câble sont équipées d'un dispositif d'ancrage, et l'échantillon est installé sur un banc de traction de telle manière qu'il soit en contact avec au moins un quadrant d'un ou plusieurs daviers. Les terminaisons du câble ne doivent pas tourner. Le câble testé doit être suffisamment long pour que les effets d'extrémité soient négligeables et que les mesures soient suffisamment précises; il est possible de raccorder plusieurs fibres optiques afin d'augmenter la longueur du trajet. L'affaiblissement optique et la charge de traction sont surveillés de façon continue tout au long du test. Les caractéristiques suivantes sont évaluées par rapport aux valeurs nominales spécifiées pour le câble:

– les augmentations éventuelles de l'affaiblissement optique;
– l'aspect et le niveau de l'adhérence des couches entre elles de la structure du ou des échantillons de câble testés.

Conditions de test

Le câble est soumis à plusieurs cycles sur le ou les daviers à vitesse constante et à charge constante, pour 30 à 50 translations de câble à faible charge correspondant à la charge maximale de déploiement du câble. La charge est alors augmentée jusqu'à être équivalente à la tension de relevage appliquée au câble lorsque celui-ci est à sa profondeur nominale maximale et dans les conditions météorologiques les plus défavorables; le câble est ensuite soumis à au moins trois translations supplémentaires. On précisera le diamètre du davier, généralement compris entre 2,5 m et 3 m.

7.2.3 Caractéristiques de manipulation

7.2.3.1 Résistance à l'écrasement

Objectif

– Montrer que le câble peut supporter une pression asymétrique due à un stockage dans une cuve ou à une manipulation par un équipement de navire machine de type "tirer-retenir" (DOHB, *draw off/hold back*), par exemple.

Méthode de test

Un court échantillon de câble, en général de 5 m, est maintenu dans un mandrin de presse horizontale, qui soumet l'échantillon à une charge pendant une période limitée. La charge, qui est appliquée sur une longueur de câble d'au moins 0,1 m, est enregistrée. L'affaiblissement optique et le déplacement du mandrin sont surveillés tout au long du test. Les caractéristiques suivantes sont évaluées par rapport aux valeurs nominales spécifiées pour le câble:

– les augmentations éventuelles de l'affaiblissement optique;

– l'aspect et le niveau d'adhésion intercouches de la structure du ou des échantillons de câble testés; l'intégrité du ou des échantillons peut être confirmée par un test de résistance à la pression hydraulique ou par un test de tension électrique approprié – on notera qu'un test doit être réalisé dès qu'un dommage mécanique permanent significatif a été observé.

Conditions de test

Une charge équivalente à la force maximale par unité de longueur qui s'applique sur le câble est appliquée à la portion testée pendant au moins une heure; cette charge est ensuite relâchée. La force maximale doit correspondre au poids de la longueur de câble stockée dans une cuve (pleine) de navire câblier – dont la profondeur est généralement de 10 m – qui s'applique sur la couche inférieure de câble, ou bien celle qui est appliquée par les machines du navire, si cette dernière force est plus importante.

7.2.3.2 Résistance aux chocs

Objectif

– Montrer que le câble peut résister aux secousses et aux chocs pendant la fabrication ou la pose.

Méthode de test

Un court échantillon de câble, en général de 5 m, est posé sur un plateau en acier plat et lisse. On laisse tomber un cylindre en acier sur l'échantillon depuis une certaine hauteur. Un tube à faible frottement peut servir à guider le cylindre. L'affaiblissement optique est surveillé tout au long du test. Les caractéristiques suivantes sont évaluées par rapport aux valeurs nominales spécifiées pour le câble:

– les augmentations éventuelles de l'affaiblissement optique;

– l'aspect et le niveau d'adhésion intercouche de la structure du ou des échantillons de câble testés; l'intégrité du ou des échantillons peut être confirmée par un test de résistance à la pression hydraulique ou par un test de tension électrique approprié – on notera qu'un test doit être réalisé dès qu'un dommage mécanique permanent significatif a été observé.

Conditions de test

On laisse tomber un cylindre de X mm de diamètre et pesant Y kg depuis une hauteur de Z mètres sur le câble; ce cylindre fera des impacts en différents endroits du câble et avec diverses orientations. Pour les câbles "de grand fond", on choisit généralement pour X, Y et Z les valeurs respectives suivantes: 50, 2 et 1; pour les câbles armés, on choisit généralement pour X, Y et Z les valeurs respectives suivantes: A, B et C. Le test doit être répété plusieurs fois pour des questions de cohérence.

7.2.3.3 Résistance à la flexion

Objectif

– Montrer que le câble peut supporter la manipulation de l'usine au navire, de cuve à cuve ou du navire à la côte aux températures comprises dans la plage nominale.

Méthode de test

L'échantillon de câble est courbé alternativement entre deux attaches de manière à former au moins un quart de cercle dont le diamètre vaut généralement 2 m. L'affaiblissement optique est évalué tout au long du test. La température ambiante est enregistrée. Les caractéristiques suivantes sont évaluées par rapport aux valeurs nominales spécifiées pour le câble:

– les augmentations éventuelles de l'affaiblissement optique;
– l'aspect et le niveau de l'adhérence intercouche de la structure du ou des échantillons de câble testés.

Conditions de test

L'échantillon de câble subit 50 flexions à température ambiante. Il est ensuite soumis à 50 flexions à la fois à une température basse et à une température élevée, dans les limites de la plage de températures nominale du câble. Aux températures extrêmes, situées en dehors de la plage nominale, les caractéristiques de flexion du câble peuvent parfois être déterminées par des tests de température appropriés sur les composants.

7.2.4 Caractéristiques de fiabilité

7.2.4.1 Infiltration de l'eau

Objectifs

– Evaluer la limite d'infiltration d'eau le long du câble en cas de rupture du câble au fond de la mer.
– Montrer que la longueur maximale d'infiltration d'eau est conforme à la spécification nominale.

Méthode de test

La longueur maximale d'infiltration de l'eau est généralement évaluée par l'une des deux méthodes de test détaillées ci-dessous. Si les conditions sont différentes (échantillons de longueur plus courte, niveaux de pression plus bas, etc.), il faut extrapoler les données, en expliquant l'extrapolation, du test afin de montrer que le câble est conforme à la spécification nominale.

Méthode de test 1

L'une des extrémités de l'échantillon de câble est scellée et l'autre extrémité est protégée de l'exposition à la pression grâce à l'utilisation d'une fixation spéciale ou d'un disque de découpe calibré. L'échantillon de câble est placé à l'intérieur d'une grande enceinte hermétique qui est alors remplie d'eau à une certaine pression. L'échantillon de câble est retiré au bout d'un certain nombre de jours; son intérieur est alors inspecté sur toute la longueur pour détecter les éventuelles infiltrations d'eau; l'adjonction préalable d'un colorant fluorescent dans l'eau qui remplit l'enceinte peut faciliter l'inspection ultérieure étant donné que le colorant peut tout simplement être révélé par une lumière UV.

Méthode de test 2

L'échantillon de câble est placé à l'intérieur d'un long récipient hermétique, l'extrémité distante baignant dans l'eau; l'extrémité proche sort de l'enceinte par une bague spéciale de manière qu'elle baigne dans l'atmosphère. Une certaine pression hydraulique est appliquée dans l'enceinte aussi rapidement que possible; on mesure le temps que l'eau met pour traverser l'échantillon jusqu'à l'atmosphère, la présence de l'eau étant détectée électriquement.

Conditions de test

La longueur de l'échantillon de câble est de préférence égale à 100 m, voire davantage. Une pression correspondant à la profondeur maximale de pose du câble est appliquée à la face ouverte

de l'échantillon; la pression est maintenue pendant le nombre de jours nécessaires pour montrer la limite d'infiltration d'eau spécifiée, en général 14 jours. En cas d'utilisation d'autres conditions de test, correspondant à des prescriptions de système spécifiques, ces conditions de test doivent être enregistrées.

7.2.4.2 Test de corrosion

Objectifs

– Montrer que l'installation submersible peut résister à une exposition à long terme à l'eau de mer.

– Montrer que la présence de corrosion n'entraînera pas de dégradation de la fonction mécanique, optique et électrique de l'installation.

L'expression "installation submersible" comprend les câbles, les raccords et les terminaisons.

Méthode de test

L'installation submersible est immergée dans de l'eau de mer à température élevée pendant un certain temps. Elle est ensuite inspectée pour en déterminer le degré de corrosion et, le cas échéant, la quantité d'hydrogène qui s'est formée. Il faut faire en sorte que les extrémités du câble soient scellées correctement avant le test. En cas d'utilisation d'une eau de mer artificielle, il faut en préciser la spécification.

Conditions de test

Des conditions de test permettant un vieillissement accéléré sont actuellement à l'étude; l'une des propositions examinées consiste à immerger les échantillons testés pendant 18 mois dans une eau de mer ventilée à 50° C.

7.2.4.3 Test à haute tension

Objectif

– Montrer qu'un câble conçu pour permettre l'alimentation de répéteurs ou de régénérateurs peut supporter des gradients de champ électrique en cours de service tout au long de sa durée de vie.

Méthode de test

Un câble long est placé dans une réserve remplie d'eau conductrice au potentiel de terre. Une tension continue positive est appliquée entre le conducteur métallique du câble et l'eau. Il ne doit pas y avoir de phénomène de claquage sinon les spécifications du modèle de fiabilité ne sont pas satisfaites.

Conditions de test

La tension appliquée s'exprime par la formule VT^k, où V est la tension de service, T la durée du test et k une constante. Les valeurs de V et T choisies pour le test sont fonction du modèle de fiabilité s'appliquant aux câbles et aux raccords, compte tenu de la charge électrique à laquelle câbles et raccords seront soumis tout au long de leur durée de vie nominale. Le facteur d'accélération k, déterminé de façon empirique, est propre au matériau d'isolation utilisé.

7.2.4.4 Test d'intégrité des isolants

Objectifs

– Montrer que l'isolation du câble est continue afin d'éviter la corrosion dans les fissures internes.

– Montrer que l'isolation du câble permettra une localisation du câble par electroding basse fréquence, lorsque les câbles seront conçus avec cette caractéristique.

Méthode de test

Un câble long est placé dans une réserve remplie d'eau au potentiel de terre. Une tension continue positive est appliquée entre le conducteur métallique du câble et l'eau. Il ne doit se produire aucune panne de tension pendant le test.

Conditions de test

La tension appliquée et la durée d'application sont fonction du niveau de résistance des isolants qui sera nécessaire pour le câble tout au long de sa durée de vie.

7.2.5 Tests d'exploitation

7.2.5.1 Test d'adhérence des couches internes du câble

Objectif

– Montrer que divers éléments constitutifs du câble adhèrent suffisamment entre eux de telle sorte qu'on puisse pincer le câble sans occasionner de dommage.

Méthode de test

Les câbles les mieux adaptés aux tests d'adhérence des couches internes sont les câbles destinés à être posés en eaux profondes, à savoir les câbles de grand fond (LW, *lightweight*) et les câbles légers protégés (LWP, *lightweight protected*). Un échantillon de câble de 150 à 250 mm de longueur est préparé de manière à pouvoir effectuer le test sur une certaine longueur d'isolant (en général 25 mm), après préexposition du porteur au pincement. La force nécessaire pour déclencher le mouvement intercouche entre des éléments de câble adjacents est évaluée en fonction des spécifications du câble.

Conditions de test

L'échantillon est placé dans une installation de traction de telle manière que le porteur puisse être soumis à un pincement et à une traction sans que certains éléments ne subissent de mouvement. La force de traction est augmentée jusqu'à ce que le mouvement intercouche se produise entre les éléments de câble testés.

7.2.5.2 Tests relatifs aux anneaux stoppeurs de câble

Objectif

– Montrer que le câble peut être pincé par des anneaux stoppeurs dans les conditions météorologiques d'utilisation les plus défavorables.

Méthode de test

Les échantillons de câble ont à l'une de leurs extrémités un dispositif d'ancrage et à l'autre un anneau stoppeur situé approximativement à 10 mètres de l'extrémité opposée. L'échantillon est installé dans un équipement de traction. La charge imposée à l'échantillon est alors augmentée jusqu'à une charge élevée équivalente à la traction s'appliquant sur le câble lorsqu'il est à sa profondeur maximale nominale et lorsque les conditions météorologiques sont les plus défavorables. L'affaiblissement optique est observé tout au long du test; les conditions météorologiques et la profondeur nominale simulées sont enregistrées. Il convient de préciser le type d'anneau stoppeur de câble utilisé dans le test, sa constitution, sa taille, etc. Les caractéristiques suivantes sont évaluées par rapport aux spécifications nominales du câble:

– les augmentations éventuelles de l'affaiblissement optique;

– le déplacement de l'anneau stoppeur sur le câble;

– l'aspect et le niveau de l'adhérence intercouche de la structure du ou des échantillons de câble testés;
– la rotation éventuelle du câble au niveau de l'anneau stoppeur.

Conditions de test

En général, le test dure au moins 90 minutes.

7.2.5.3 Tests avec les équipements d'installation

Objectifs

– Montrer que le câble et les raccords peuvent être manipulés par les équipements d'installation classiques.
– Montrer que le câble peut être déployé par un équipement d'installation sans qu'il ne se produise de glissement entre le câble et l'équipement et sans que le câble ne subisse de dommages discernables.

Méthode de test

Les échantillons de test sont préparés avec un dispositif d'ancrage à l'une des extrémités de sorte que le câble raccordé puisse être retenu par l'équipement d'installation. Il convient de décrire le type d'équipement d'installation utilisé dans le test, sa constitution, le type de pince, etc.

Conditions de test

L'équipement d'installation retient l'échantillon, la force de retenue étant équivalente à la charge de déploiement maximale dans les conditions météorologiques les plus défavorables. Il convient également de déterminer la charge nécessaire pour retenir le câble à l'aide d'une pince statique située dans l'équipement d'installation, lorsque le câble est mouillé et lorsqu'il est sec.

NOTE – Il n'est généralement pas nécessaire de réaliser des tests complets avec un équipement d'installation classique une fois que la compatibilité initiale du câble a été établie; d'autres moyens pourront être mieux adaptés, au cas où une garantie supplémentaire serait nécessaire.

7.3 Tests sur des amplificateurs de fibres optiques dans les répéteurs sous-marins optiques (OSR)

7.3.1 Généralités

Le présent paragraphe décrit les méthodes de test qui sont spécifiques aux amplificateurs optiques des répéteurs sous-marins optiques (OSR).

Les directives à suivre pour la mesure de la plupart des paramètres définis au § 6.3 sont généralement fournies dans la série CEI 61290 "Amplificateurs à fibres optiques – Spécification de base". Le Tableau 5 indique les méthodes de test recommandées, regroupe les paramètres de test en groupes homogènes et cite pour chaque groupe le ou les numéros des spécifications CEI de base qui s'appliquent.

NOTE 1 – L'évaluation comparée des méthodes de test indiquée dans les Spécifications CEI de base est actuellement en cours de développement. Lorsqu'elles seront disponibles, les méthodes de test de référence choisies et les éventuelles autres méthodes test pour chaque paramètre pertinent défini dans la présente Recommandation seront indiquées.

NOTE 2 – Les méthodes de test indiquées dans les Spécifications CEI de base n'ont été préparées que pour les amplificateurs de fibres optiques (OFA). L'extrapolation de ces méthodes aux SOA est à l'étude.

7.3.1.1 Paramètres de gain

Les paramètres de gain sont liés au gain de l'amplificateur et comprennent le gain pour les petits signaux (SSG), le gain nominal (NG), la platitude du gain (GF), le facteur de compression (CF), la variation du gain en fonction de la polarisation (PDG), etc.

7.3.1.2 Paramètres de bruit

Les paramètres de bruit sont liés au bruit de l'amplificateur et comprennent le facteur de bruit (NF), etc.

7.3.1.3 Paramètres de puissance optique

Les paramètres de puissance optique sont liés à la puissance optique de l'amplificateur et comprennent la puissance nominale de sortie du signal (NSOP), la puissance nominale d'entrée du signal (NSIP), l'affaiblissement dû à la polarisation (PDL), etc.

7.3.2 Méthodes de tests appliquées aux paramètres de puissance optique des amplificateurs de fibres optiques pour les répéteurs sous-marins optiques

Tableau 5/G.976 – Méthodes de test recommandées pour les paramètres définis au § 6.3

Groupe de paramètres de test	Paramètres du § 6.3 impliqués	Méthode de test (TM) – Numéro de la Spécification CEI de base
Paramètres de gain	Gain pour les petits signaux (SSG) Gain nominal (NG) Platitude de gain (GF) Facteur de compression (CF) Variation du gain en fonction de la polarisation (PDG)	61290-1-1: TM pour analyseur de spectre optique 61290-1-2: TM pour analyseur de spectre électrique 61290-1-3: TM pour appareil de mesure de puissance optique
Paramètres de bruit	Facteur de bruit (NF)	61290-3-1: TM pour analyseur de spectre optique 61290-3-2: TM pour analyseur de spectre électrique 61290-3-3: TM optique d'impulsions (à l'étude)
Paramètres de puissance optique	Puissance nominale de sortie du signal (NSOP) Puissance nominale d'entrée du signal (NSIP) Affaiblissement dû à la polarisation (PDL)	61290-2-1: TM pour analyseur de spectre optique 61290-2-2: TM pour analyseur de spectre électrique 61290-2-3: TM pour appareil de mesure de puissance optique

7.4 Tests applicables à l'équipement terminal de transmission

7.4.1 Tests de transmission

(A étudier, en relation avec les conditions générales de test données comme exemple dans la Figure 1.)

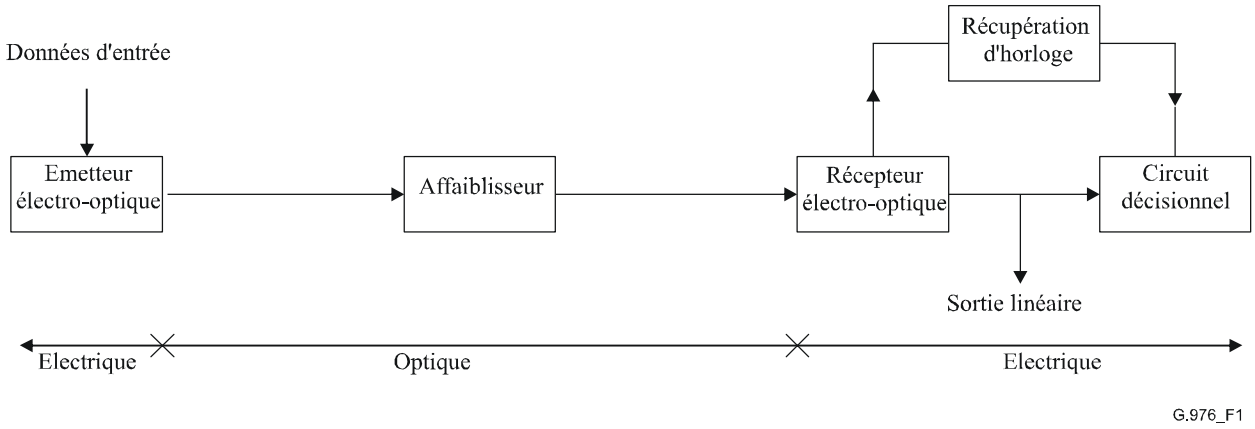

Figure 1/G.976 – Exemple de position de la sortie linéaire pour le test de l'équipement terminal

7.5 Tests applicables à l'équipement de téléalimentation

Ces tests sont propres au type d'équipement de téléalimentation et à la configuration de la liaison.

7.6 Tests applicables à la liaison

7.6.1 Tests de transmission

7.6.1.1 Mesure du facteur Q

Objectifs

– Evaluer le facteur Q de la liaison de bout en bout. Ce facteur permet d'évaluer les dégradations de propagation dues au bruit d'amplification optique, aux effets non linéaires, aux effets de polarisation et à la dispersion chromatique ainsi que les dégradations dues aux fonctions analogiques de l'émetteur et du récepteur optiques. Le facteur Q est représentatif des marges du système sous-marin amplifié.

– En déduire un taux d'erreurs sur les bits (BER, *bit error rate*) théorique du système sur la période temporelle de mesure.

Méthode de test

On détermine le facteur Q en analysant, avant régénération, le signal électrique linéaire reçu, afin de mesurer la distorsion et le bruit engendrés par la propagation et par les fonctions analogiques de l'émetteur et du récepteur optiques (Figure 2). Autrement dit, la qualité du signal reçu doit être analysée sur le signal non régénéré.

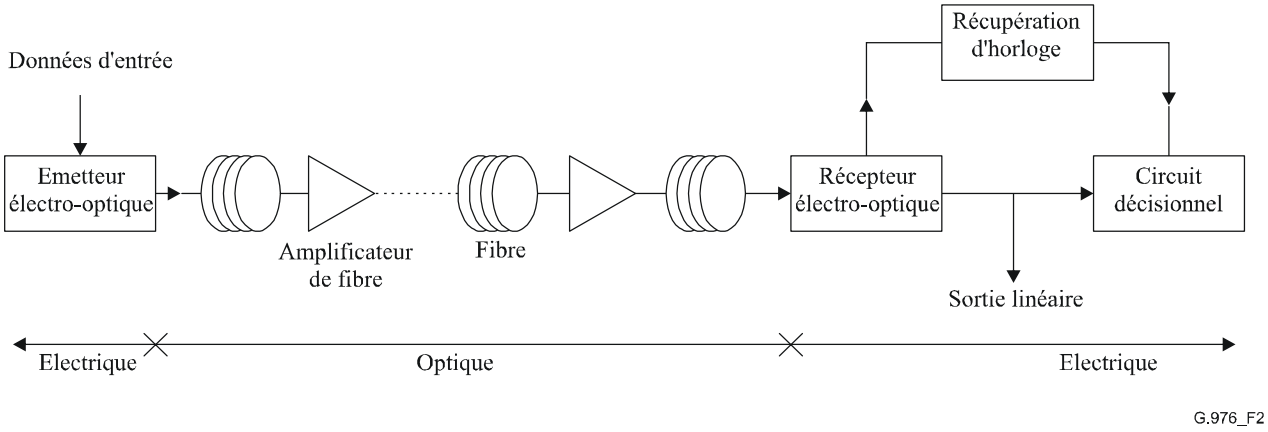

Figure 2/G.976 – Exemple de position de la sortie linéaire pour le test de la liaison

L'une des méthodes d'analyse du signal linéaire est présentée sur la Figure 3. Les sorties des deux circuits décisionnels, l'un utilisant le seuil optimal de décision et l'autre un seuil variable, sont comparées par une porte OU exclusive. Le taux d'erreurs sur les bits est représenté en fonction du seuil. L'interpolation gaussienne des courbes de taux d'erreurs sur les bits mesuré donne les valeurs de $\mu_{1,0}$ et de $\sigma_{1,0}$. Le taux d'erreurs sur les bits minimal théorique pouvant être obtenu est donné par l'équation A-2 de la définition figurant dans l'Annexe A. D'autres implémentations sont possibles.

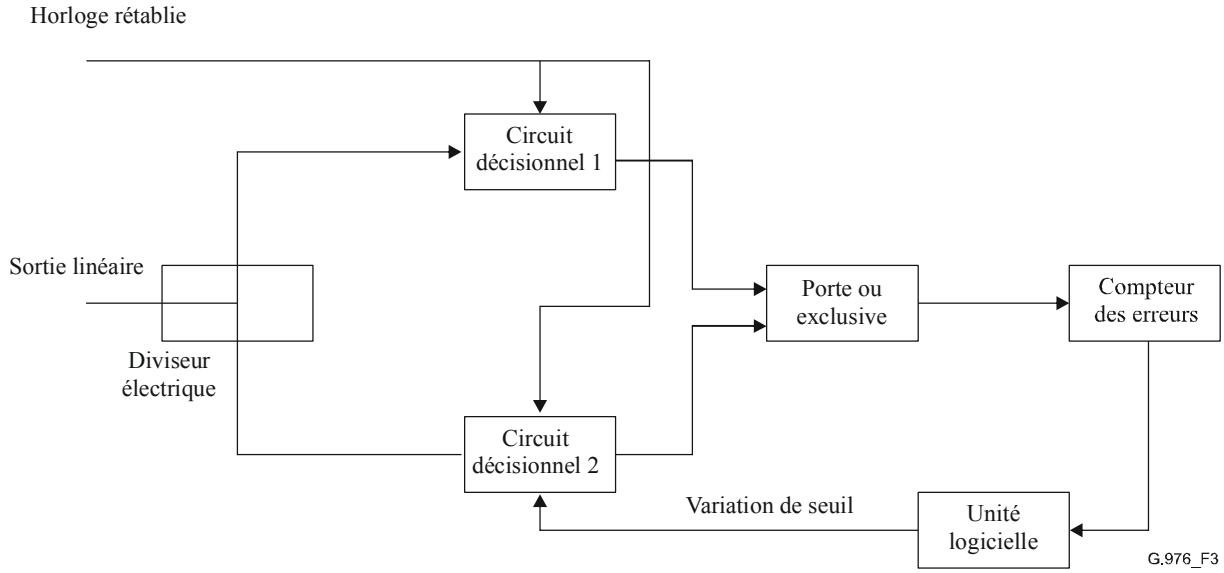

Figure 3/G.976 – Schéma d'une implémentation de l'équipement de mesure de Q

Etant donné que les effets de polarisation entraînent des effets variant avec le temps, les résultats des mesures doivent aussi intégrer une certaine évaluation statistique. Par exemple, si la densité de probabilité de la variable Q est gaussienne, la valeur égale à la valeur moyenne des mesures de Q (Q_{moyen}) moins cinq fois l'écart type de ces mesures ($Q_{moyen} - 5\sigma$) garantira que le système ne se trouvera en dessous de cette valeur qu'avec une probabilité de 10^{-7}.

Conditions de test

Le facteur Q est mesuré à la puissance optique d'entrée nominale au niveau du récepteur. Un ensemble de mesures réalisées sur une période temporelle significative permettra d'évaluer la valeur moyenne (Q_{moyen}) et l'écart type (σ) du facteur Q. En cas de transmission simultanée à plusieurs longueurs d'onde sur la même fibre, cette mesure doit être effectuée à chaque longueur d'onde.

Annexe A

Définition des termes relatifs aux tests sur les câbles sous-marins à fibres optiques

La présente annexe contient les définitions de plusieurs termes relatifs aux tests sur les fibres optiques des câbles sous-marins, ces termes n'étant pas actuellement définis dans les Recommandations de l'UIT-T.

A.1 Facteur Q

Le facteur Q est le rapport signal à bruit au niveau du circuit de décision en tension ou en intensité, il est généralement donné par la formule:

$$Q = \frac{(\mu_1 - \mu_0)}{(\sigma_1 + \sigma_0)} \tag{A-1}$$

dans laquelle $\mu_{1,0}$ est la valeur moyenne en tension ou en intensité des points/espaces, et $\sigma_{1,0}$ l'écart type.

Les relations mathématiques avec le BER (taux d'erreurs sur les bits) lorsque le seuil est fixé à la valeur optimale sont les suivantes:

$$BER = \frac{1}{2} erfc\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \cong \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q^2}{2}} \tag{A-2}$$

avec:

$$erfc(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{\beta^2}{2}} d\beta \tag{A-3}$$

Le facteur Q peut s'exprimer en décibels de préférence à des valeurs linéaires:

$$Q\,(decibels) = 20 \times \mathrm{Log}_{10}\, Q\,(linear) \tag{A-4}$$

Bibliographie

On se reportera pour de plus amples détails à l'article *Margin measurements in optical amplifier systms*, BERGANO *et al*.: IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 5, n° 3, p. 304 à 306, mars 1993.

Appendice I

Définitions détaillées applicables aux systèmes de transmission par câble sous-marin à fibres optiques

L'objet du présent appendice est de donner des définitions plus détaillées tout en tenant compte des termes définis dans la Rec. UIT-T G.972.

I.1 Marge de sécurité du câble

Différence de charge de traction entre la charge de rupture mesurée et la charge maximale à l'installation ou à la récupération spécifiée par l'installateur. La marge de sécurité peut, en général, être exprimée en pourcentage de la charge mesurée à la rupture.

Dans certains cas, la marge minimale de sécurité qui sera appliquée par les installateurs pourra avoir été définie dans la réglementation en vigueur dans leur pays d'origine (exemple: charge de sécurité pour les câbles).

Dans d'autres cas, la marge de sécurité peut être définie à partir de la résistance nominale transitoire à la traction. Cette façon de procéder nécessite cependant un certain nombre de précautions car la valeur attribuée à la résistance nominale transitoire à la traction dépend de la conception du câble, à savoir de sa structure et des matériaux utilisés.

I.2 Résistance nominale permanente à la traction (NPTS, *nominal operating tensile strength*)

Tension maximale permanente supportée par un câble sans réduction notable de la performance, de la durée de vie et de la fiabilité du système.

La résistance nominale permanente à la traction représente la charge maximale résiduelle qui peut être appliquée de manière permanente au câble au fond de la mer après son installation.

Le calcul de la valeur de la NPTS doit tenir compte des éléments suivants:

– conditions de test, c'est-à-dire si les extrémités du câble sont libres de pivoter ou non;

– probabilité de "survie" des fibres (en indiquant la longueur du câble et le nombre de fibres pris en compte) et la valeur donnée par les tests d'épreuve pour les fibres;

– allongement des fibres et du câble soumis à une tension égale à la NPTS.

NOTE – Tout allongement résiduel résultant d'une force égale à la résistance nominale transitoire à la traction doit être compatible avec les valeurs déclarées des paramètres NOTS et NPTS.

I.3 Résistance nominale à la traction pendant les manipulations (NOTS, *nominal operating tensile strength*)

Tension maximale moyenne que le câble peut supporter pendant le temps nécessaire à une manipulation en mer (en général pendant 48 heures) sans réduction notable de la performance, de la durée de vie et de la fiabilité du système.

La NOTS représente la tension maximale moyenne pendant les manipulations, c'est-à-dire pendant les opérations d'installation, de récupération ou de réparation.

Le calcul de la valeur de la NOTS doit tenir compte des éléments suivants:

– conditions de test, c'est-à-dire si les extrémités du câble sont libres de pivoter ou non;

– probabilité de "survie" des fibres (en indiquant la longueur du câble et le nombre de fibres pris en compte) et la valeur donnée par les tests d'épreuve pour les fibres;

– allongement des fibres et du câble soumis à une tension égale à la NOTS.

NOTE – Tout allongement résiduel résultant d'une force égale à la résistance nominale transitoire à la traction doit être compatible avec les valeurs déclarées des paramètres NOTS et NPTS.

I.4 Résistance nominale transitoire à la traction (NTTS, *nominal transient tensile strength*)

Tension maximale à court terme qui peut être appliquée à un câble pendant une opération de relevage d'une durée totale d'une heure sans réduction notable de la performance, de la durée de vie et de la fiabilité du système.

La NTTS représente la tension maximale moyenne pendant les manipulations c'est-à-dire pendant les opérations d'installation, de récupération ou de réparation.

Le calcul de la valeur de la NTTS doit tenir compte des éléments suivants:

– conditions de test, c'est-à-dire si les extrémités du câble sont libres de pivoter ou non;

– probabilité de "survie" des fibres (en indiquant la longueur du câble et le nombre de fibres pris en compte) et la valeur donnée par les tests d'épreuve pour les fibres;

– allongement des fibres et du câble soumis à une tension égale à la NTTS.

NOTE – Tout allongement résiduel résultant d'une force égale à la résistance nominale transitoire à la traction doit être compatible avec les valeurs déclarées des paramètres NOTS et NPTS.

La valeur attribuée à la résistance nominale transitoire à la traction dépend de nombreux éléments et notamment de:

- la fiabilité du système;
- la durée de vie spécifiée;
- les contraintes résiduelles de la fibre après la pose;
- la tension de récupération;
- le temps de réparation à bord du navire;
- les tests d'épreuve;
- la résistance intrinsèque de la fibre;
- le modèle de fiabilité de la fibre;
- la stabilité mécanique du câble;
- la conception mécanique du câble ("serrée" ou "lâche").

Pour la sécurité du système et la sécurité des personnels, la valeur attribuée à la NTTS doit tenir compte de la fiabilité, de la stabilité mécanique et de la fatigue des fils et des tolérances associées.

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

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

Imprimé en Suisse
Genève, 2005