



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

L.27

(10/96)

SÉRIE L: CONSTRUCTION, INSTALLATION ET
PROTECTION DES CÂBLES ET AUTRES ÉLÉMENTS
DES INSTALLATIONS EXTÉRIEURES

**Méthode d'estimation de la concentration en
hydrogène dans les câbles à fibres optiques**

Recommandation UIT-T L.27

(Antérieurement Recommandation du CCITT)

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE L
**CONSTRUCTION, INSTALLATION ET PROTECTION DES CÂBLES ET AUTRES ÉLÉMENTS DES
INSTALLATIONS EXTÉRIEURES**

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

AVANT-PROPOS

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

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

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution n° 1 de la CMNT (Helsinki, 1^{er}-12 mars 1993).

La Recommandation UIT-T L.27, que l'on doit à la Commission d'études 6 (1993-1996) de l'UIT-T, a été approuvée par la CMNT (Genève, 9-18 octobre 1996).

NOTES

1. Dans la présente Recommandation, l'expression «Administration» est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue de télécommunications.
2. Les termes «annexe» et «appendice» aux Recommandations de la série L ont la signification suivante:
 - une *annexe* à une Recommandation fait partie intégrante de la Recommandation;
 - un *appendice* à une Recommandation ne fait pas partie de la Recommandation, il contient seulement quelques explications ou informations complémentaires spécifiques à cette Recommandation.

© UIT 1997

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

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
Introduction	1
Annexe A – Mesure par chromatographie en phase gazeuse de l'hydrogène émis par chaque composant du câble	2
A.1 Principe	2
A.2 Equipement	2
A.3 Procédures de mesure	2
A.4 Analyse	3
Annexe B – Mesurage de la concentration d'hydrogène dans un échantillon de câble	5
B.1 Câble non rempli	5
B.2 Câble rempli	5
Annexe C – Mesurage de l'efficacité à long terme des matériaux absorbant l'hydrogène	6
C.1 Principe	6
C.2 Appareillage	6
C.3 Procédures de mesure	6
C.4 Analyse	6
Appendice I – Expérience acquise au Royaume-Uni en matière de concentration d'hydrogène dans des câbles à fibres optiques hygrofuges en fourreaux	7
I.1 Expérience acquise sur le terrain	7
I.2 Analyse	7
I.3 Références	8
Appendice II – Expérience acquise au Japon en matière d'accroissement de l'affaiblissement dû à la libération d'hydrogène dans un câble à fibres optiques à étanchéité longitudinale	9
II.1 Structure et matériaux constitutifs des câbles à étanchéité longitudinale	9
II.2 Dégagement d'hydrogène par les composants des câbles	9
II.3 Evaluation de l'accroissement d'affaiblissement à cause du dégagement d'hydrogène	9
II.4 Accroissement d'affaiblissement dans un câble infiltré d'eau	10
Appendice III – Expérience acquise en Espagne en matière de libération d'hydrogène dans des câbles à fibres optiques sous étanchéité longitudinale	12
III.1 Structure des câbles	12
III.2 Expérience acquise sur le terrain	12
III.3 Origine du problème	12
III.4 Solution du problème	12

MÉTHODE D'ESTIMATION DE LA CONCENTRATION EN HYDROGÈNE DANS LES CÂBLES À FIBRES OPTIQUES

(Genève, 1996)

Introduction

L'usage de câbles à fibres optiques dans des applications terrestres et sous-marines a fait l'objet d'une expérience considérable, qui a montré que les fibres optiques constituaient un support de transmission stable.

Il existe des situations où la concentration d'hydrogène dans un câble peut atteindre une valeur suffisamment élevée pour provoquer l'augmentation de l'affaiblissement optique de la fibre (voir l'Appendice III). Il est donc nécessaire de déterminer la formation d'hydrogène dans un câble en examinant les façons dont ce gaz peut s'y dégager.

Si le dégagement d'hydrogène par passage à travers la gaine polyoléfine ou par franchissement d'une barrière d'étanchéité compense l'hydrogène formé dans le câble, les concentrations qui en résultent dans le câble ne provoquent pas de modification notable de l'affaiblissement optique (voir Appendices I et II).

Considérant

- a) que l'hydrogène présent dans un câble peut provenir:
 - d'un dégagement par les éléments constituants du câble;
 - d'un phénomène électrolytique entre différents métaux de composants, en présence d'humidité;
 - de la réaction corrosive de composants métalliques en présence d'humidité;
 - de l'air pompé dans les réseaux à câbles pressurisé;
- b) que l'hydrogène peut s'échapper en traversant la gaine du câble, sauf dans le cas de gaines hermétiquement scellées ou lorsque la concentration extérieure d'hydrogène est supérieure à celle qui règne à l'intérieur du cœur de câble;
- c) que la variation d'affaiblissement optique, qui se manifeste le plus nettement aux longueurs d'onde de 1,24 μm et/ou de 1,38 μm , est due:
 - à une variation temporaire des molécules d'hydrogène à l'intérieur du cœur de câble, proportionnelle à la concentration (pression partielle) de ce gaz;
 - à une modification chimique permanente qui dépend du dopant et de sa concentration, due à un radical hydroxyle qui se forme par combinaison chimique des molécules d'hydrogène diffusées et des défauts de structure dans la silice vitreuse de la fibre,

Recommande

- 1) que pour les câbles tels que de l'hydrogène puisse se former et se concentrer dans le cœur de câble jusqu'à une valeur pouvant provoquer une augmentation notable de l'affaiblissement optique:
 - i) la concentration d'hydrogène à prévoir dans le cœur du câble doit être estimée à partir de la connaissance de la quantité d'hydrogène dégagée par les composants du câble. Au besoin, la méthode de mesure par chromatographie en phase gazeuse, décrite dans l'Annexe A, peut être utilisée afin de déterminer la quantité d'hydrogène dégagée par les composants du câble;
 - ii) la concentration d'hydrogène dans les câbles remplis doit être gérée selon une ou plusieurs des conditions suivantes:
 - concentration minimisée par choix judicieux des composants du câble;
 - concentration réduite à zéro par utilisation, dans le câble, d'un matériau absorbant l'hydrogène et ayant une durée de vie utile comparable à celle du câble;
 - concentration exerçant une influence réduite sur la performance optique, grâce à l'utilisation de fibres enrobées ou d'une gaine hermétique autour du cœur de câble en cas de concentration extérieure d'hydrogène dépassant celle qui règne à l'intérieur du cœur de câble;

- iii) l'hydrogène concentré dans les câbles non remplis doit être purgé à intervalles réguliers;
 - iv) on peut soumettre à des essais des tronçons du prototype de câble non rempli ou de courts échantillons (jusqu'à 10 m) spécialement préparés du prototype de câble rempli, afin de confirmer les estimations de concentration en hydrogène au moyen de la méthode de mesure décrite à l'Annexe B;
- 2) que l'efficacité à long terme du matériau absorbeur d'hydrogène, s'il est utilisé, doit être confirmée par la méthode de mesure décrite dans l'Annexe C.

Pour les câbles de construction entièrement diélectrique, il existe une expérience suffisante en matière de caractéristiques de transmission stable pour qu'il ne soit pas nécessaire de vérifier la présence de concentrations notables d'hydrogène, pouvant provoquer un accroissement de l'affaiblissement optique.

Annexe A

Mesure par chromatographie en phase gazeuse de l'hydrogène émis par chaque composant du câble

A.1 Principe

La chromatographie en phase gazeuse peut être utilisée afin d'estimer la concentration en hydrogène dans un récipient. Pour cela, on compare les pics N_2 , O_2 et H_2 , mesurés par chromatographie en phase gazeuse, avec ceux d'une concentration en hydrogène connue. On peut généralement accélérer le dégagement d'hydrogène en augmentant la température ambiante. Des conditions d'accélération telles que la température et le temps dépendent du volume de l'échantillon. La température est habituellement comprise entre $50^\circ C$ et $160^\circ C$ et la durée est au plus de 48 h. La température de réchauffement doit être choisie en dessous du niveau qui ferait fondre ou qui déformerait les matériaux du câble. La durée doit être assez longue pour que l'activité thermique arrive à la saturation. Après activation thermique, la température est ramenée à son niveau initial et la concentration d'hydrogène est mesurée par chromatographie en phase gazeuse. Un diagramme représentant l'estimation de la quantité d'hydrogène libérée dans l'échantillon de câble est représenté sur la Figure A.1.

A.2 Equipement

L'équipement de base est représenté sur la Figure A.2. Un chromatographe en phase gazeuse est utilisé pour l'analyse quantitative de l'hydrogène. Il mesure habituellement la teneur en hydrogène en le séparant des autres gaz grâce à la durée de rétention unique de cet élément dans la colonne, puis en déterminant sa concentration au moyen d'un détecteur de conductibilité thermique. Les conditions habituelles d'un tel chromatographe à gaz sont les suivantes:

- 1) *Colonne*
 - Longueur: de 1 à 4 m
 - Filtre: tamis moléculaire de 5A
 - Température: de $40^\circ C$ à $50^\circ C$
- 2) *Gaz vecteur (argon)*
 - Débit: de 30 à 40 ml/min
- 3) *Détecteur (par conductibilité thermique)*
 - Domaine de température utile: de $25^\circ C$ à $50^\circ C$

A.3 Procédures de mesure

A.3.1 Préparation de l'échantillon

Les câbles à fibres optiques contiennent habituellement les composants suivants:

- fibres de silice revêtues;
- matériaux polymérisés tels que:
 - tubes ou joncs rainurés dans lesquels les fibres de verre de silice revêtues peuvent être insérées;
 - rubans de guipage y compris rubans hydrofuges;

- gelées de remplissage ou poudre hydrofuge pouvant être utilisées comme matériaux de protection contre la pénétration de l'eau;
- composants en métal, en fibre de verre ou en aramide pouvant servir de porteur.

Le spécimen est préparé sous forme d'éprouvette. Il doit être placé dans un récipient d'extraction-concentration de volume connu, rempli d'air ou de gaz inerte (comme l'argon) à la pression atmosphérique. Le récipient est habituellement en verre, plutôt qu'en métal, car les surfaces métalliques offrent un site aux phénomènes d'absorption-désorption de molécules d'hydrogène, ce qui peut compromettre la fiabilité des essais aux faibles concentrations. Le récipient doit être étanche à l'hydrogène et ne pas être lui-même une source d'hydrogène. Dans certains cas, l'échantillon peut être placé dans une ampoule de verre ayant un volume inférieur à celui du récipient et l'ouverture de l'ampoule est scellée afin d'empêcher les fuites d'hydrogène au cours de l'activation thermique. Le volume intérieur du récipient ou de l'ampoule scellée doit alors être d'au moins 10 fois supérieur au volume de l'échantillon pour la réaction d'oxydation.

A.3.2 Etalonnage

La courbe de référence étalonnée du chromatographe gazeux doit être obtenue avant la mesure. Cette procédure générale est schématiquement représentée dans la partie supérieure gauche de l'organigramme de la Figure A.1. On prépare un mélange étalon primaire à $10\,000^{10-6}$ d'hydrogène dans de l'argon, ce gaz de référence étant ensuite dilué aux concentrations désirées de 10, 20, 50 et 100^{10-6} . Le mélange de concentration connue est analysé dans le chromatographe gazeux, et la courbe de référence étalonnée, c'est-à-dire la relation entre la concentration du gaz et la surface sous le pic d'hydrogène, est déterminée par la méthode des moindres carrés. La Figure A.3 montre un exemple de pics et de courbe de référence obtenus en étalonnage.

A.3.3 Mesure

Une fois l'échantillon préparé, l'hydrogène dégazé par l'éprouvette est activé thermiquement selon la procédure indiquée dans le coin supérieur droit de la Figure A.1. A ce stade, la température de l'échantillon est augmentée jusqu'à un niveau prédéterminé, compris entre 50 °C et 160 °C. La limite supérieure de température doit être inférieure au niveau auquel l'éprouvette fondrait ou se déformerait. La durée doit être assez longue pour que le temps nécessaire à l'obtention de l'équilibre thermique puisse être négligé et elle doit être assez courte pour que l'essai soit reproductible. L'air est préférable en tant qu'atmosphère de réaction car les fibres optiques sont, en service habituel, entourées d'air et l'oxydation exerce un effet sur le dégagement d'hydrogène par des matériaux organiques tels que les gelées de remplissage et les résines d'enrobage. Ensuite, l'éprouvette est ramenée à la température ambiante.

Un volume de 0,5 ml de gaz est extrait du récipient ou de l'ampoule et injecté dans le chromatographe à gaz. La concentration en hydrogène est indiquée par la courbe de référence. Si une ampoule a été utilisée, elle doit être brisée dans le récipient avant de relever la mesure. La quantité d'hydrogène émise par l'éprouvette peut être calculée comme suit:

$$H_2 = A \cdot \frac{V_2}{V_1} \quad (\text{ml/g ou ml/cm, pour la masse ou la longueur de l'éprouvette})$$

où:

A est la concentration en hydrogène déduite à partir de la hauteur du pic obtenu sur le chromatogramme du gaz extrait, par comparaison avec la courbe de référence étalonnée

V_1 est le volume injecté dans le chromatographe à gaz

V_2 est le volume interne du récipient

NOTE – Cette méthode permet habituellement de détecter l'hydrogène dans la région de 10^{-5} ml et au-delà.

A.4 Analyse

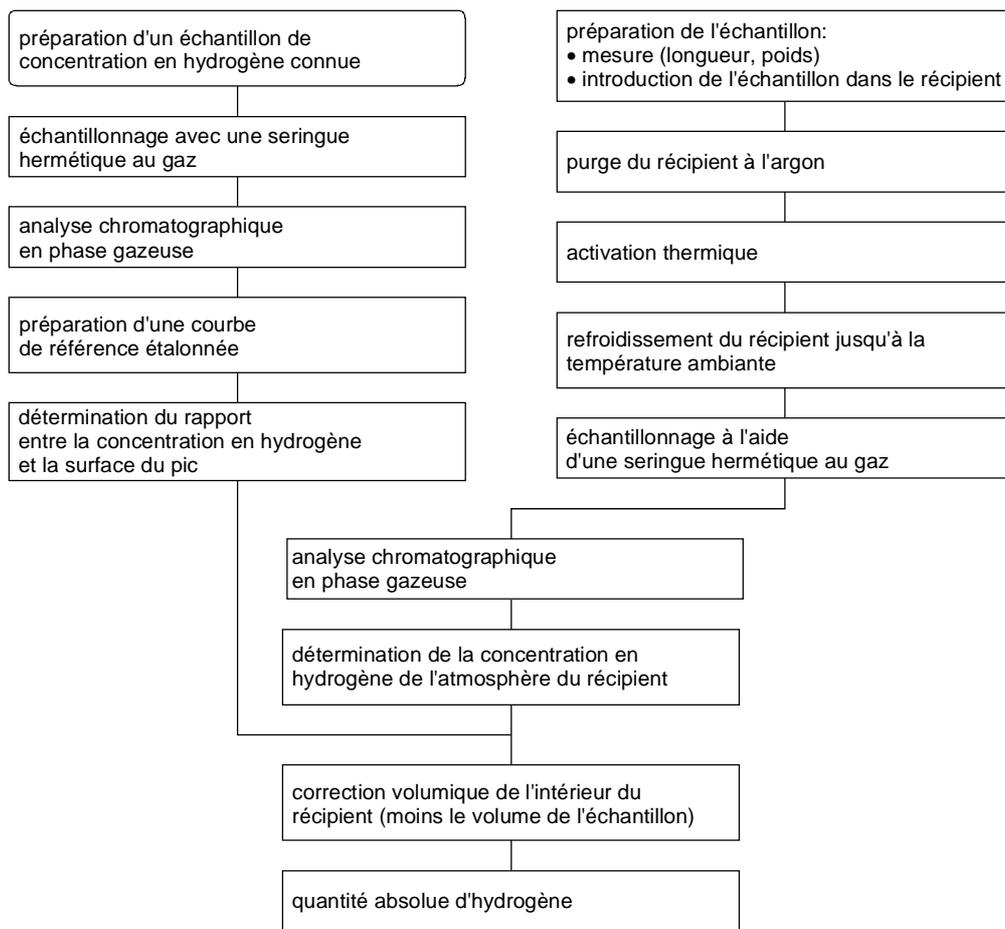
A partir de la mesure décrite ci-dessus, il est possible d'estimer la quantité maximale d'hydrogène libérée par une éprouvette à une température de réchauffement. La variation de libération de l'hydrogène sous l'effet de la variation de la température est supposée suivre une loi d'Arrhenius:

$$\text{Log } [H_2] = f(1/T)$$

où:

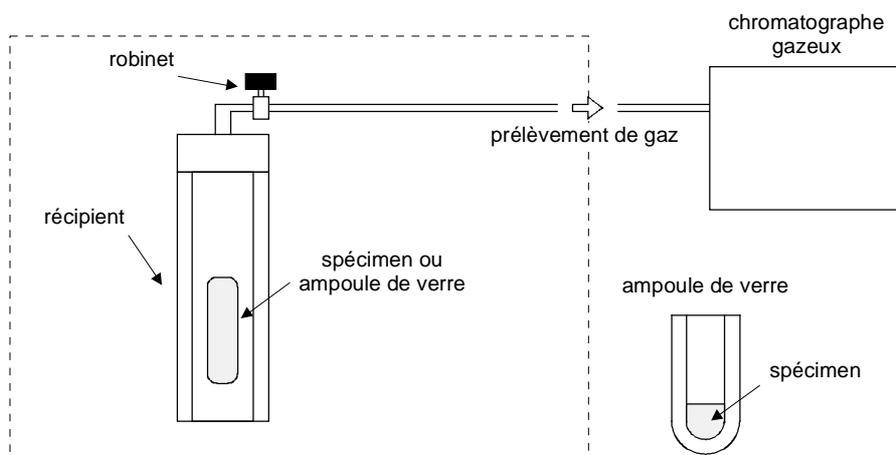
T est la température absolue.

La quantité maximale d'hydrogène libérée par l'éprouvette à la température de service peut être calculée si on connaît la relation entre la quantité d'hydrogène libérée et la température.



T0603940-96/d01

Figure A.1/L.27 – Organigramme de la chromatographie en phase gazeuse



T0603680-94/d02

Figure A.2/L.27 – Configuration de l'appareillage pour mesurer l'hydrogène libéré par des composants de câble

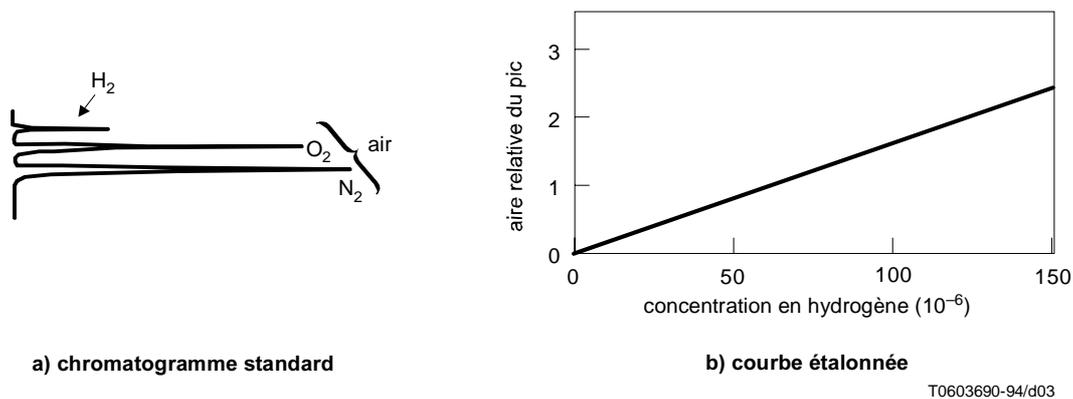


Figure A.3/L.27 – Exemples de chromatogramme et de courbe de référence étalonnée pour la mesure par chromatographie en phase gazeuse

Annexe B

Mesurage de la concentration d'hydrogène dans un échantillon de câble

B.1 Câble non rempli

B.1.1 Méthode en laboratoire

Un tronçon de câble, dont les extrémités sont scellées, est stocké dans une chambre climatique. La technique de chromatographie en phase gazeuse, décrite dans l'Annexe A, est normalement utilisée pour examiner un échantillon de gaz extrait de ce câble.

Pour les gaines de câble non hermétiquement scellées, le mesurage peut être effectué sur un échantillon de gaine afin de déterminer la vitesse de fuite de l'hydrogène par filtration.

B.1.1.1 Préparation de l'échantillon

Afin de sceller hermétiquement les extrémités du câble dans des connecteurs de câble spéciaux, un enduit est appliqué sur la gaine du câble pour la faire adhérer à la colle appliquée sur chacun des connecteurs métalliques du câble. Pour s'assurer de l'herméticité aux gaz de l'appareillage d'essai, celui-ci est tout d'abord raccordé à un tronçon de tube métallique sans soudure gainé de polymère, fermé à ses deux extrémités par une paire de connecteurs de câble collés.

B.1.1.2 Mesure

Une fois le câble stabilisé à la température de la chambre climatique, un échantillon de gaz est prélevé dans le câble et sa concentration en hydrogène mesurée. L'opération est répétée plusieurs fois.

B.1.2 Méthode de terrain

La concentration en hydrogène peut être mesurée directement par la technique de pile à combustible, au moyen par exemple du «contrôleur d'hydrogène exhalé» portable mis au point pour les besoins de la médecine. Si le câble est pressurisé, il est possible de mesurer la concentration de l'hydrogène en contrôlant le gaz prélevé au niveau d'une série de boîtiers de raccordement de gaine par des prises d'air faisant partie des dispositifs de pressurisation du câble le long du trajet du câble. Un mélange air-hydrogène de concentration connue est utilisé pour l'étalonnage du contrôleur.

B.2 Câble rempli

On détermine la concentration en hydrogène dans l'environnement interne du câble en collectant divers échantillons représentatifs dans des tubes de drainage insérés dans un tronçon du câble prototype puis en mesurant ces échantillons conformément au B.1.1.

Les tubes, qui sont suffisamment petits pour ne pas perturber l'atmosphère perméable qui règne dans le câble, sont insérés dans le cœur du câble au moment de sa fabrication. Habituellement, on insère deux drains, de manière que le volume échantillonné soit inférieur à 1% du volume perméable interne du câble.

Annexe C

Mesurage de l'efficacité à long terme des matériaux absorbant l'hydrogène

C.1 Principe

Un essai est requis pour démontrer que le matériau absorbant l'hydrogène est capable d'effectuer ce processus chimique pendant toute la durée de service d'un câble. Cet essai doit montrer que la vitesse d'absorption reste stable dans le temps, de manière que l'on puisse évaluer la quantité de dégazeur (getter) nécessaire pour protéger le câble.

L'essai est effectué comme suit. On place une quantité connue du dégazeur dans un volume fermé, suffisant pour dégazer le matériau. On introduit de l'hydrogène à une pression donnée et on mesure l'absorption d'hydrogène par la baisse de pression après un intervalle de temps déterminé. L'essai est répété après vieillissement accéléré du dégazeur afin d'obtenir une vitesse d'absorption régulière. Une température de 105 °C pendant 1 mois représente 20 ans à la température ambiante si l'on suppose que l'énergie d'activation du processus de vieillissement a une valeur de 11 kcal/mol.

C.2 Appareillage

L'appareillage se compose d'un conteneur métallique équipé de vannes étanches au vide qui peut être mis sous vide et rempli d'hydrogène. Un capteur manométrique surveille en permanence la pression interne.

C.3 Procédures de mesure

- peser le porte-éprouvette à 0,1 g près;
- répartir uniformément 100 g ± 1 g de dégazeur dans le porte-éprouvette et repeser;
- insérer le porte-éprouvette et sceller l'appareil;
- dégazer pendant 24 h à une pression inférieure à 10 Pa;
- introduire de l'hydrogène à 60 kPa;
- après 24 h, relever la pression d'hydrogène et la température.

C.4 Analyse

L'absorption d'hydrogène est calculée par la formule suivante et exprimée en millilitres d'hydrogène à température et pression normales, par gramme de composé:

$$\text{Hydrogène absorbé} = \frac{273(P - P_r)V}{1013(273 + T_r)M}$$

où:

P est la pression initiale en hectopascals

P_r est la pression d'hydrogène après 24 h

T_r est la température (en degrés Celsius)

V est le volume de l'appareillage (en millilitres)

M est la masse du dégazeur (en grammes)

Appendice I

Expérience acquise au Royaume-Uni en matière de concentration d'hydrogène dans des câbles à fibres optiques hygrofuges en fourreaux

I.1 Expérience acquise sur le terrain

L'expérience pratique qui a été acquise au Royaume-Uni porte sur plus de 10⁶ km de fibres optiques posées depuis la fin des années 70. Les câbles sont protégés contre l'humidité par un guipage d'aluminium en ruban. Beaucoup des premiers câbles étaient non remplis et pressurisés. Il a donc été possible de mesurer la concentration en hydrogène dans les câbles posés depuis plusieurs années dans des fourreaux, par contrôle du gaz dégagé de l'intérieur des câbles. La concentration en hydrogène a été mesurée au moyen d'un *contrôleur d'hydrogène exhalé* portatif, qui est décrit dans l'Annexe B. Le pic de concentration d'hydrogène enregistré dans les câbles en fourreau est de 400 ppm (1). On n'a pas rapporté d'augmentation détectable de l'affaiblissement optique avec de telles concentrations d'hydrogène dans les câbles.

I.2 Analyse

En négligeant les effets de solubilité, la pression partielle d'hydrogène à l'intérieur du volume délimité par l'écran pare-vapeur est donnée par l'équation suivante:

$$P = \frac{H}{Q} \left[1 - \left(1 - \frac{P_0 Q}{H} \right) \exp \left(- \frac{Q \cdot t}{V_0} \right) \right] \quad (1)$$

où:

P est la pression partielle de l'hydrogène (atm)

P_0 est la pression partielle initiale de l'hydrogène (atm)

H est la vitesse d'accumulation de l'hydrogène (ml/cm · s)

Q est la vitesse d'échappement de l'hydrogène à travers l'écran pare-vapeur (ml/cm · s)

t est le temps (en secondes)

V_0 est le volume libre par unité de longueur du câble (ml/cm)

En supposant H invariable et la constante de temps V_0/Q faible par rapport à la durée de vie du câble, la concentration de l'hydrogène dans le câble pendant la durée de vie utile tend asymptotiquement vers:

$$P = \frac{H}{Q} \quad (2)$$

comme le montre la Figure I.1.

Prenons un câble dont la structure comporte un pare-vapeur constitué d'une bande longitudinale d'aluminium laminé, refermée avec un recouvrement d'au moins 6 mm. La bande d'aluminium est contre-couchée sur une face avec un enduit polymère de 40 µm d'épaisseur. La chaleur d'extrusion de l'enveloppe de polyéthylène scelle les lèvres en recouvrement formant ainsi un canal de 40 µm × 6 mm de section à travers lequel l'hydrogène peut diffuser. Ce canal constitue la voie d'échappement la plus significative pour l'hydrogène, la diffusion de ce gaz à travers une bande d'aluminium de 150 µm étant beaucoup plus lente.

Le débit Q peut être mesuré directement. De l'azote contenant un taux connu d'hydrogène est insufflé dans des échantillons de câbles entourés chacun d'un tube de cuivre scellé. On mesure le taux d'hydrogène en fonction du temps. En choisissant un certain nombre d'éprouvettes de différentes longueurs, il est possible d'éliminer les effets d'extrémité et de réduire l'incidence des défauts aberrants au niveau des lèvres en recouvrement des éprouvettes.

A 20 °C, le taux de diffusion à travers le pare-vapeur à recouvrement parfait est donné par la formule:

$$Q = 6,1 \times 10^{-10} \text{ ml/s.atm.cm}$$

Le recouvrement comportant des imperfections le long du câble, le taux de diffusion moyen mesuré est de:

$$Q = 3,7 \times 10^{-8} \text{ ml/s.atm.cm}$$

Si la température moyenne du câble installé est de 5 °C, le taux de diffusion moyen ramené à la température du site devient:

$$Q = 1,58 \times 10^{-8} \text{ ml/s.atm.cm}$$

La vitesse d'accumulation de l'hydrogène, qui dépend principalement de l'hydrogène libéré par la corrosion de la bande d'aluminium, répond à la formule suivante, obtenue par mesure:

$$H = 1,5 \times 10^{-11} \text{ ml/s.atm.cm}$$

En effectuant les substitutions dans l'équation (2), on trouve une pression partielle théorique d'hydrogène égale à:

$$P = 1,5 \times 10^{-11} / 1,58 \times 10^{-8} = 949 \times 10^{-6}$$

La valeur enregistrée sur site, de 400×10^{-6} , est beaucoup plus basse parce qu'il y aura toujours, à cause des fuites, un certain flux de gaz dans un système statique pressurisé.

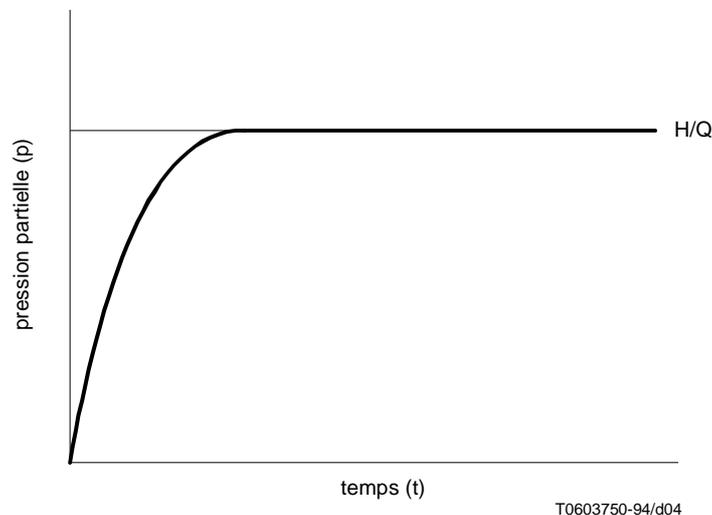


Figure I.1/L.27 – Pression partielle d'hydrogène en fonction du temps dans un échantillon de câble type

I.3 Références

- HORNUNG (S.), CASSIDY (S.A.), REEVE (M.H.) The distribution of H₂ gas along an inland optical fibre cable, Symposium of Optical Fibre Measurements, 1984, *National Bureau of Standards*, NSB-SP-683, p. 85-88, octobre 1984.

Appendice II

Expérience acquise au Japon en matière d'accroissement de l'affaiblissement dû à la libération d'hydrogène dans un câble à fibres optiques à étanchéité longitudinale

II.1 Structure et matériaux constitutifs des câbles à étanchéité longitudinale

Afin d'assurer la stabilité à long terme des propriétés des câbles à fibres optiques, il est important d'empêcher l'eau d'y pénétrer et l'hydrogène de s'y former. C'est à cette fin que des câbles étanches ont été mis au point, dans lesquels des rubans hydrofuges sont guipés autour de chaque jonc rainuré et autour du cœur de câble. Ces câbles sont faciles à fabriquer et à manipuler. Les rubans hydrofuges gonflent en absorbant l'eau et forment une sorte de tampon empêchant la pénétration de l'eau. L'infiltration peut être limitée de cette manière dans les trois mètres à partir du point d'entrée. La stabilité à long terme en ce qui concerne l'accroissement de l'affaiblissement optique doit être vérifiée en raison de l'humidification possible d'un court tronçon du câble.

La Figure II.1 montre la coupe d'un câble comportant de multiples joncs rainurés toronnés autour d'un porteur central. Chaque jonc rainuré se compose d'un fil d'acier central enrobé de polyéthylène. Les rubans de fibres optiques sont insérés dans chaque rainure de jonc en montage serré et un ruban hydrofuge est guipé sur chaque jonc puis sur l'assemblage des joncs. Une gaine de polyéthylène est appliquée sur l'ensemble et tous les fils d'acier sont plaqués d'une fine couche de cuivre. Les rubans hydrofuges et les revêtements des rubans de fibres optiques sont en matériaux qui dégagent peu d'hydrogène.

II.2 Dégagement d'hydrogène par les composants des câbles

Des mesures ont été effectuées conformément à l'Annexe A pour évaluer la quantité d'hydrogène dégagée par les revêtements de ruban, par les fils d'acier et par les rubans hydrofuges. Les mesures ont porté aussi bien sur des rubans secs que sur des rubans ayant absorbé de l'eau de mer artificielle. La Figure II.2 montre l'hydrogène libéré par centimètre carré de différents matériaux, à 80 °C.

II.3 Evaluation de l'accroissement d'affaiblissement à cause du dégagement d'hydrogène

Les accroissements d'affaiblissement optique dus à l'hydrogène peuvent se ranger dans deux catégories:

- ceux qui sont dus à des molécules d'hydrogène (H_2);
- ceux qui sont dus à des radicaux hydroxyles (OH).

L'accroissement d'affaiblissement optique dû aux molécules d'hydrogène est un phénomène réversible, qui est proportionnel à la pression partielle de l'hydrogène dans le câble à fibres optiques. Sa grandeur est donnée par l'équation suivante:

$$L_{H_2}(\lambda) = C_{H_2}(\lambda) \cdot e^{2,24/RT} \cdot p \text{ (dB/km)} \quad (1)$$

où:

R est la constante des gaz parfaits, égale à $1,986 \times 10^{-3}$ kcal/mol · K

T température absolue (K)

p pression partielle de l'hydrogène dans le câble

$C_{H_2}(\lambda)$ coefficient dépendant de la longueur d'onde, valable aussi bien pour les fibres monomodes que les fibres multimodes, car il ne dépend pas de la concentration en dopants.

Les valeurs de $C_{H_2}(\lambda)$ pour $\lambda = 1,31 \mu\text{m}$ et $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$ sont évaluées respectivement à 0,0102 et 0,0195, ce qui signifie que l'accroissement de l'affaiblissement optique double quasiment lorsque la longueur d'onde passe de $1,31 \mu\text{m}$ à $1,55 \mu\text{m}$.

L'affaiblissement optique dû au radical OH est un phénomène irréversible fonction du temps. La grandeur $L_{OH}(\lambda)$ peut être obtenue par l'équation suivante:

$$L_{OH}(\lambda) = C_{OH}(\lambda) \cdot e^{-10,79/RT} \cdot p^{0,5} \cdot t^{0,38} \text{ (dB/km)} \quad (2)$$

où:

t est le temps (h);

$C_{OH}(\lambda)$ est un coefficient dépendant de la longueur d'onde, différent selon qu'il s'agit de fibres monomodes ou de fibres multimodes, car il dépend de la concentration en dopants. Ses valeurs pour $\lambda = 1,31 \mu\text{m}$ et $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$ dans une fibre monomode sont évaluées respectivement à $2,1 \times 10^4$ et $1,7 \times 10^5$.

On peut estimer la pression partielle, p , d'après le volume de câble dans lequel l'hydrogène peut diffuser et d'après les valeurs mesurées de l'hydrogène libéré par les composants du câble.

Les surcroûts d'affaiblissement calculés à température ambiante pendant 20 ans sont résumés dans le Tableau II.1.

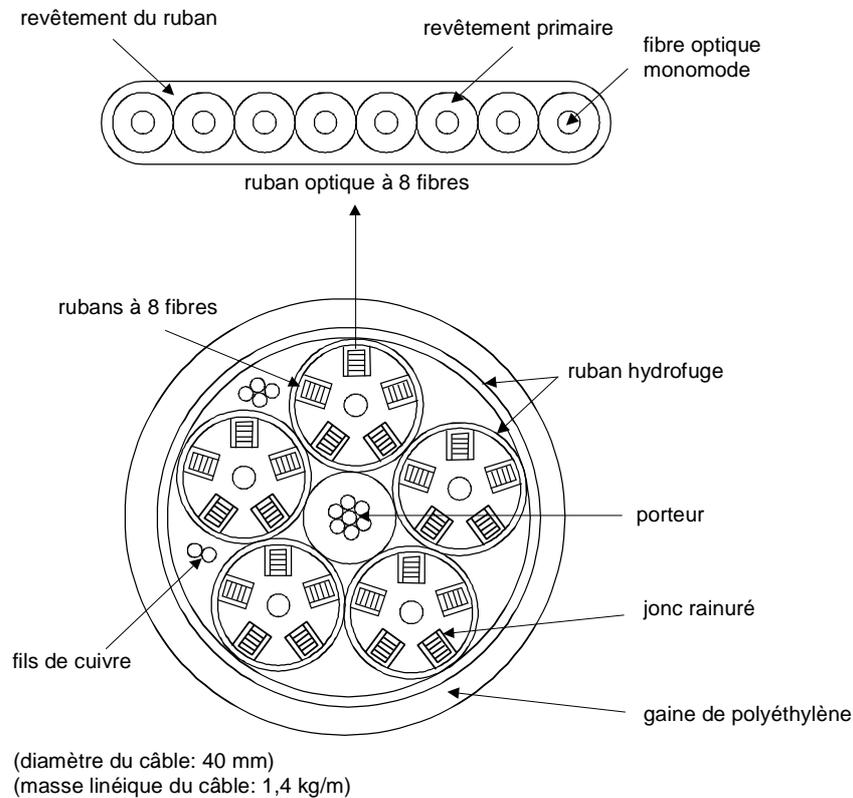
Tableau II.1/L.27 – Surcroît d'affaiblissement calculé sur vingt ans sur une fibre monomode (dB/km)

Longueur d'onde	Dans l'air		Dans l'eau	
	1,31 μm	1,55 μm	1,31 μm	1,55 μm
L_{H_2}	0,0001	0,0003	0,0000	0,0001
L_{OH}	0,0005	0,0027	0,0002	0,0016
Total	0,0006	0,0030	0,0002	0,0017

Le surcroît excédent d'affaiblissement est estimé à une valeur inférieure à 0,005 dB/km, aux longueurs d'onde de 1,31 μm comme de 1,55 μm .

II.4 Accroissement d'affaiblissement dans un câble infiltré d'eau

Pour déterminer la stabilité à long terme d'un câble infiltré d'eau, on pompe de l'eau dans un tronçon de 50 m de câble maintenu à 60 °C dans une enceinte d'essai à 90% d'humidité relative. Vingt fibres d'une même rainure sont épissurées pour former une longueur de 1 km. Les résultats des mesures d'affaiblissement optique sont représentés sur la Figure II.3. Aucune augmentation d'affaiblissement n'a été détectable après 5 mois à la longueur d'onde de 1,24 μm . Un accroissement négatif de l'affaiblissement à 1,55 μm donne à penser qu'un certain relâchement de l'assemblage des fibres a eu lieu au cours de cette période.



T0603720-94/d05

Figure II.1/L.27 – Câble à 1000 fibres optiques sous étanchéité longitudinale

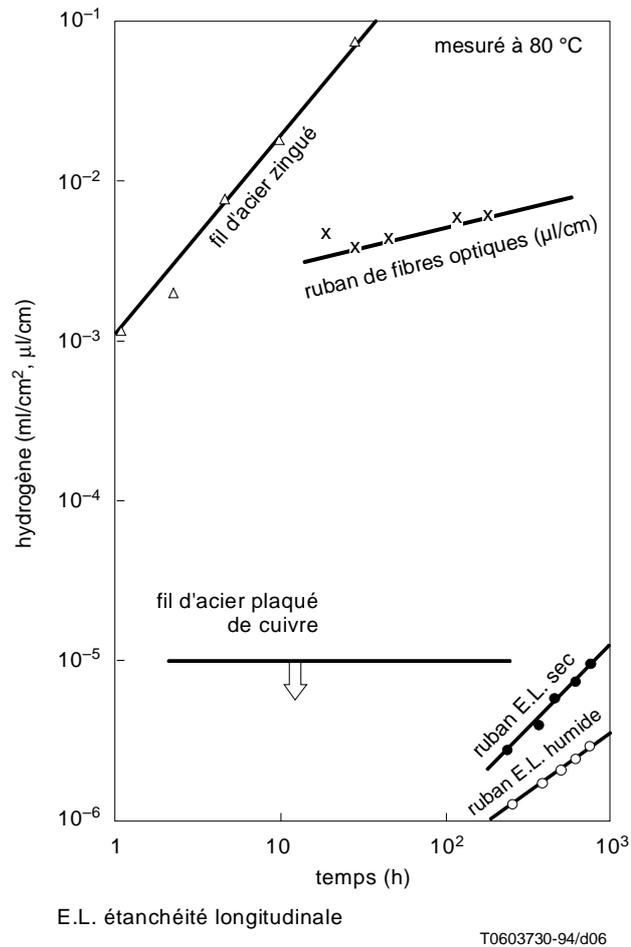


Figure II.2/L.27 – Hydrogène dégagé par divers matériaux de câble

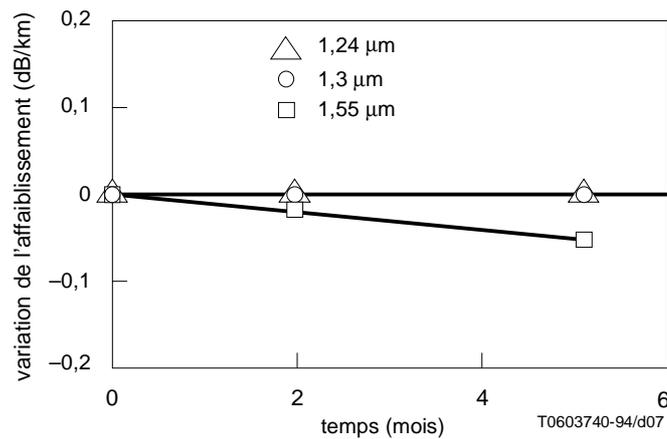


Figure II.3/L.27 – Variation d'affaiblissement dans un câble à étanchéité longitudinale infiltré d'eau (à 60 °C et 90% H.R.)

Appendice III

Expérience acquise en Espagne en matière de libération d'hydrogène dans des câbles à fibres optiques sous étanchéité longitudinale

III.1 Structure des câbles

Entre 1985 et 1990, Telefónica de España a installé des câbles à fibres optiques monomodes qui ont été assemblés avec un pare-vapeur en aluminium-copolymère et avec un toron porteur central en acier galvanisé. Tous ces câbles ont été remplis de gelée.

III.2 Expérience acquise sur le terrain

Bien que l'expérience acquise sur le terrain ait montré que la concentration en hydrogène n'était pas importante pour ces câbles, on a parfois trouvé des câbles installés dans lesquels la concentration en hydrogène était suffisante pour produire des accroissements d'affaiblissement dans toutes les fibres du câble, aussi bien dans la 2^e fenêtre que dans la 3^e fenêtre de transmission. L'accroissement d'affaiblissement maximal qui a été mesuré a été de 0,3 dB/km dans la 2^e fenêtre et de 0,6 dB/km dans la 3^e fenêtre, ce qui correspondait à une pression partielle d'hydrogène d'environ 1 atm dans le cœur de câble.

La Figure III.1 montre l'affaiblissement spectral d'une fibre contenue dans un câble défectueux (à cause de l'hydrogène).

III.3 Origine du problème

Après avoir effectué plusieurs essais, on a conclu que le problème était dû à la présence d'eau ou d'humidité dans le câble, en contact avec le filin porteur en acier galvanisé.

L'hypothèse la plus probable est que les câbles ont été assemblés dans de mauvaises conditions (en présence d'une teneur élevée en eau ou humidité) ou que l'acier galvanisé n'a pas subi un traitement adéquat.

III.4 Solution du problème

Des laboratoires d'essai utilisent avec succès une méthode d'élimination de l'hydrogène qui consiste à raccorder le porteur en acier galvanisé (enrobé de polyéthylène en l'occurrence) à une source d'air sec sous pression de 5 atm (voir Figure III.2). Après plusieurs semaines (entre 2 et 8 selon la longueur du câble), le niveau d'hydrogène a été réduit jusqu'à des valeurs négligeables. Quatre mois après la déconnexion du conduit d'air sec, aucune nouvelle libération d'hydrogène n'a été détectée.

La Figure III.3 montre la diminution d'affaiblissement spectral dans un tronçon de 1150 m de câble au cours des quatre semaines qui ont suivi le raccordement à la source d'air sec.

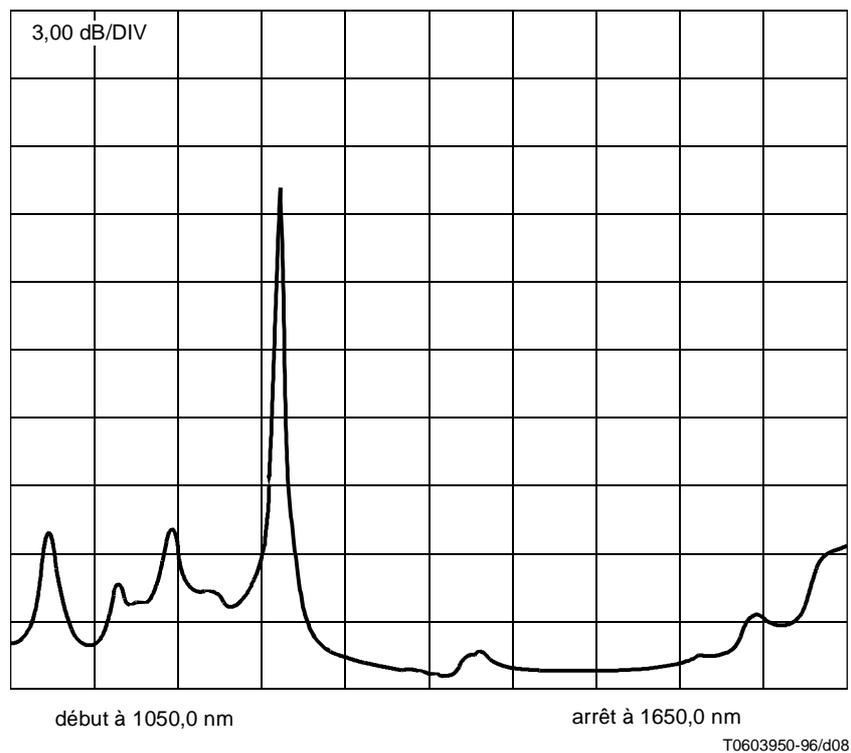


Figure III.1/L.27 – Affaiblissement spectral d'une fibre dans un tronçon de 1920 m de câble défectueux (affecté par l'hydrogène)

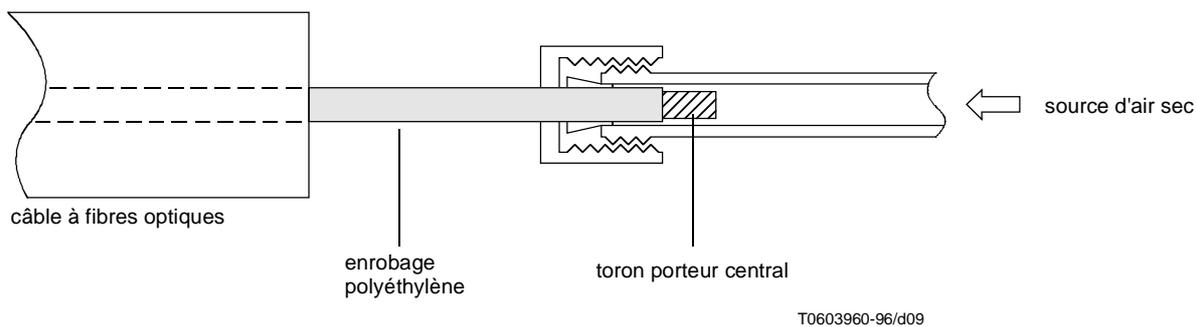


Figure III.2/L.27 – Raccordement du câble à une source d'air sec

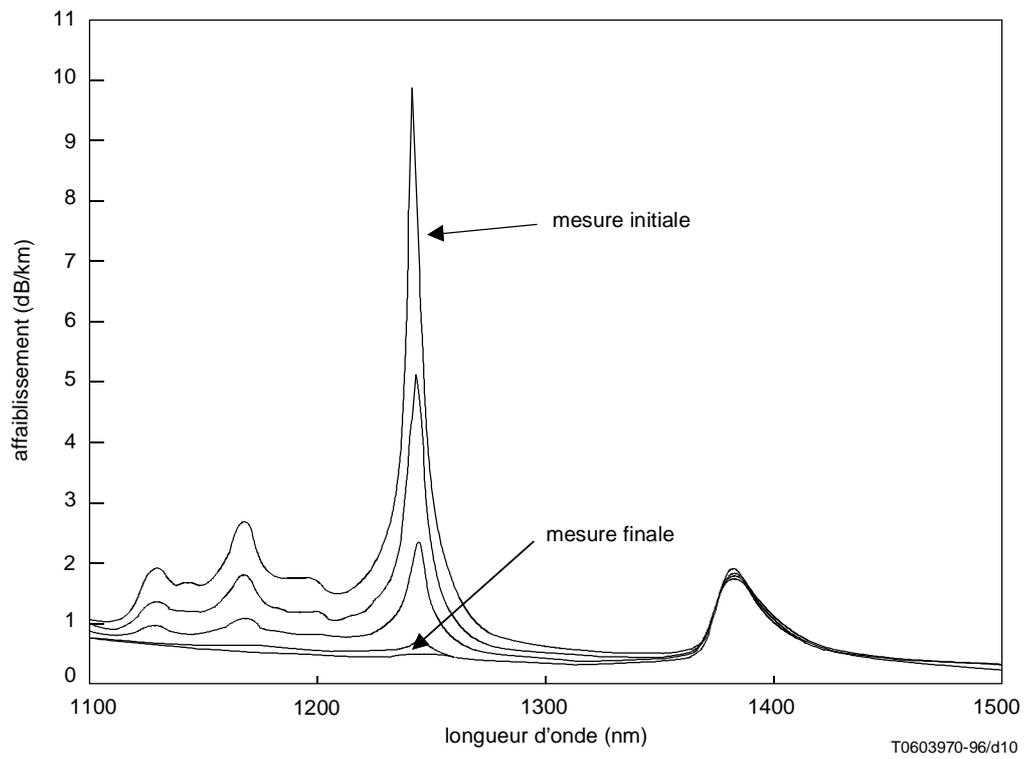


Figure III.3/L.27 – Diminution d'affaiblissement spectral dans un câble de 1150 m au cours des quatre semaines qui ont suivi l'introduction d'air sec

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

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