

**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

**Band:** 64 (1986)

**Heft:** 10

**Artikel:** Mesure de la diffusion de vapeur d'eau et de gaz dans les gaines de câbles du type ALT : essais de nouvelles méthodes de mesure et comparaisons des résultats

**Autor:** Fischer, René / Staub, Thomas / Horak, V.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-875048>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 29.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Mesure de la diffusion de vapeur d'eau et de gaz dans les gaines de câbles du type ALT – Essais de nouvelles méthodes de mesure et comparaisons des résultats

René FISCHER et Thomas STAUB, Berne, V. HORAK et A. KÜNG, Cortaillod

## Die Messung der Wasserdampf- und Gasdiffusion an Kabelmänteln des Typs ALT – Erprobung neuer Messmethoden und Vergleich der Ergebnisse

**Zusammenfassung.** Bei Fernmeldekabeln mit ALT-Mantel ist im Rahmen der Qualitätsprüfung die Wasserdampfdurchlässigkeit des Mantels eine interessierende Grösse. Das bisherige Messprinzip der direkten gravimetrischen Bestimmung von durchdiffundiertem Wasser ist sehr aufwendig und eignet sich deshalb für Reihenuntersuchungen wenig. In Zusammenarbeit mit der Kabelfabrik Cortaillod sind nun Methoden erprobt worden, bei denen Kohlenmonoxid bzw. Methan als Diffusanten dienen und die Diffusionsraten infrarotfotometrisch oder gaschromatographisch bestimmt werden. Es wird gezeigt, dass von den Messresultaten auf die Wasserdampfdurchlässigkeit der ALT-Mäntel geschlossen werden kann. Wichtigste Vorteile der neuen Methoden sind die wesentliche Verkürzung der Messzeit und die Erhöhung der Messempfindlichkeit durch Verwendung atmosphärenfremder Prüfgase.

**Résumé.** Lors du contrôle de qualité des câbles de télécommunications, la perméabilité à la vapeur d'eau de la gaine ALT représente un renseignement intéressant. Le principe de mesure appliqué jusqu'ici, à savoir la détermination gravimétrique directe de l'eau diffusée, est très coûteux et par conséquent peu recommandé pour les contrôles en série. C'est pourquoi, avec l'aide de la fabrique de câbles de Cortaillod, on a testé des méthodes qui permettent de définir la taux de diffusion par la photométrie à infrarouge ou par chromatographie à phase gazeuse, le monoxyde de carbone ou le méthane étant utilisé comme gaz diffusant. Les auteurs montrent que les résultats de mesure permettent d'évaluer la perméabilité des gaines ALT à la vapeur d'eau. Réduction considérable de la durée des mesures et augmentation de leur précision grâce à l'utilisation de gaz présent à des taux très faibles dans l'atmosphère sont les principaux avantages de ces méthodes nouvelles.

## Misura della diffusione di vapore acqueo e di gas nelle guaine tipo ALT di cavi – Nuovi metodi di misura e confronto dei risultati

**Riassunto.** La permeabilità al vapore acqueo delle guaine ALT dei cavi delle telecomunicazioni è un fattore rilevante per il controllo della qualità. Il metodo di misura attualmente impiegato, cioè la determinazione gravimetrica diretta dell'acqua diffondente, è molto oneroso e poco adatto alle analisi di serie. In collaborazione con la fabbrica di cavi Cortaillod sono stati provati nuovi metodi in base ai quali i tassi di diffusione sono determinati in modo fotometrico o cromatografico con monossido di carbonio risp. metano quali sostanze diffondenti. Gli autori mostrano che dai risultati delle misure si può dedurre la permeabilità al vapore acqueo delle guaine ALT. I vantaggi più importanti sono i tempi di misura molto più brevi e la maggiore sensibilità di misura con l'impiego di gas di prova estranei all'atmosfera.

## 1 Introduction

Divers thermoplastiques ont des propriétés particulières qui en font des solutions de rechange intéressantes pour les métaux utilisés dans la gaine des câbles. Ainsi, le polyéthylène (PE) entre de plus en plus souvent dans la fabrication de la gaine des câbles de télécommunication. Cependant, les matières synthétiques présentent l'inconvénient d'être perméables aux gaz et à la vapeur d'eau: Les câbles protégés uniquement par une gaine PE auraient, en effet, une durée de vie limitée étant donné que l'humidité qui pénétrerait dans le système provoquerait une dégradation rapide de la résistance d'isolation. Pour cette raison, les gaines thermoplastiques des câbles modernes sont pourvues d'une feuille d'aluminium posée longitudinalement, dont les bords se recouvrent et qui est collée sur toute la surface de la gaine, comme le montre la figure 1.

De telles barrières permettent de réduire la pénétration de vapeur d'eau d'un facteur 100 environ, les quantités diffusées atteignant alors à peine 0,02 mg d'eau par jour et par mètre de câble. Cependant, la bordure de recouvrement de la feuille d'aluminium/copolymère, parallèle à l'axe du câble, constitue un point faible: Il arrive que le bord de la feuille soit froissé à l'endroit du recouvrement et par conséquent traversé de canaux très fins par lesquels la vapeur d'eau diffusée à travers la gaine PE extérieure pénètre dans le faisceau du câble.

Lors du contrôle de qualité des câbles à gaine ALT, il importe donc de procéder à des essais permettant de

déterminer rapidement la quantité de vapeur d'eau qui pénètre.

La méthode gravimétrique appliquée jusqu'à ce jour par les PTT est relativement coûteuse et la durée d'essai trop longue pour une méthode de contrôle de qualité, en raison des faibles taux de perméabilité rencontrés.

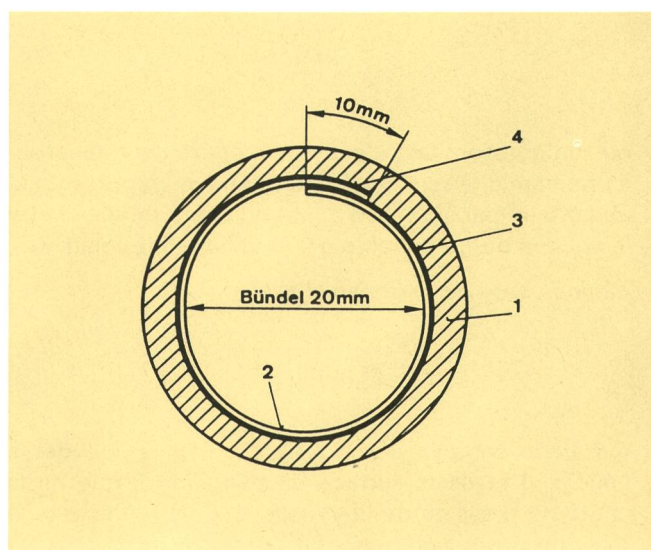


Fig. 1  
Section d'un câble à gaine ALT

- 1 Gaine de polyéthylène
- 2 Feuille d'aluminium
- 3 Couche de copolymère

- 4 Recouvrement
- Bündel 20 mm – Faisceau 20 mm

Vu que les PTT, aussi bien que les *Câbleries de Cortailod*, par exemple, tiennent à disposer d'un moyen de contrôle à la fois simple et rapide, ils ont procédé en commun à des essais visant à tester d'autres méthodes de mesure; les résultats font l'objet de cet article.

## 2 Principes théoriques des phénomènes de diffusion

La diffusion de gaz à travers des corps solides est un processus physico-chimique qui dépend de nombreux facteurs. Il existe d'ailleurs différentes études sur les mécanismes de diffusion. *Wedel et al.* (1984) distinguent:

- la diffusion par changement de place (migration)
- la diffusion par macropores et par micropores.

*Crank* (1963) a introduit la notion de diffusion en solution. Il entend par là un mécanisme de transport qui s'appuie sur la solubilité du gaz diffusant dans le solide.

*Klopfer* (1972) s'est penché sur les phénomènes d'échange entre les solides organiques et l'eau. Il a divisé les phénomènes de diffusion en trois mécanismes partiels:

- l'*absorption* (d'eau) ou pénétration des molécules d'eau et leur accumulation dans les corps solides
- la *perméabilité* (transport) de la molécule d'eau à travers le solide
- la *désorption* (restitution) des molécules d'eau après migration à travers le solide.

La «force motrice» de phénomènes de diffusion est toujours constituée d'une différence de concentration ou de pression partielle. De ce fait, la direction de la diffusion va toujours du côté à plus forte concentration vers le côté à plus faible concentration.

Les grandeurs caractéristiques principales des phénomènes de diffusion, tels que les a décrits *Edelmann* (1969), sont les suivants:

- L'état d'équilibre de l'humidité

$$C_f = \frac{m_f}{V},$$

qui indique combien d'eau une matière peut absorber à une humidité relative  $f$  déterminée.  $m_f$  représente la quantité d'eau absorbée à une humidité relative  $f$  et  $V$  le volume du corps testé à 0 % d'humidité relative.

- La constante de perméabilité

$$P = \frac{N \cdot d}{F \cdot t \cdot \Delta p},$$

qui tient compte aussi bien de l'épaisseur de la couche  $d$  et de la surface d'échantillon  $F$  que de la chute de pression de la vapeur  $\Delta p$ .  $N$  représente la quantité d'eau ayant pénétré.

- Le coefficient de diffusion

$$D = \frac{N \cdot d}{F \cdot t \cdot (C_1 - C_2)},$$

qui sert à calculer l'humidité équilibrée  $C_1$  et  $C_2$  des deux côtés de l'échantillon. Contrairement à la constante de perméabilité, le coefficient de diffusion indique la perméabilité en fonction de la chute de concentration des deux côtés de l'échantillon.

- La constante de solubilité

$$S = \frac{C_f}{p_f}$$

dans laquelle  $p_f$  constitue la pression de la vapeur à une humidité relative  $f$ .

La diffusion de gaz, vapeurs et liquides à travers les matières synthétiques dépend, suivant le mécanisme de dissolution, des lois physiques ou thermodynamiques qui s'appliquent en l'occurrence. La constante de perméabilité est une fonction du coefficient de diffusion et de la constante de solubilité. On applique à cet égard la loi de *Henry*, où  $P = D \cdot S$ .

## 3 Méthodes de mesure

### 31 Méthodes gravimétriques

Depuis l'introduction des câbles à gaine ALT, on applique la méthode de mesure gravimétrique qui requiert peu d'appareils. Le dispositif de mesure ressort de la *figure 2*.

L'échantillon – une section de gaines de câbles ALT de 1 m – est relié des deux côtés à des tubes de verre et plongé dans de l'eau. On raccorde un côté à une bouteille contenant de l'air comprimé, par l'intermédiaire de tubes en U qui sont remplis de pentaoxyde de phosphore ( $P_2O_5$ ) comme produit dessiccant.

À l'autre extrémité, on met aussi des tubes en U contenant le produit dessiccant et, comme terminaison du système de mesure, un débitmètre à bulles. Pour toutes les jonctions de lignes, on a recours à une étanchéité assurée par des fermetures au mercure pour empêcher la pénétration de l'humidité de l'air dans le circuit de mesure. Le débit du gaz porteur est contrôlé à l'aide d'un débitmètre à bulles (rempli de glycérine) et réglé au moyen de la vanne qui se trouve sur la bouteille d'air comprimé.

La vapeur d'eau qui pénètre dans le circuit de mesure à travers la gaine du câble s'accumule dans le produit dessiccant des tubes externes en U, ce qui permet de déterminer le degré de perméabilité par pesage régulier des tubes en U.

Le principal avantage de cette méthode réside dans sa simplicité pour ce qui est des appareils nécessaires. En revanche, la manipulation des joints d'étanchéité au mercure et la complexité du pesage des tubes en U constituent des inconvénients. En outre, les essais durent longtemps étant donné qu'au début la gaine du câble contient un excédent d'humidité qui doit d'abord être éliminé par le gaz porteur. C'est pourquoi plusieurs mois peuvent s'écouler avant qu'un état d'équilibre s'établisse.

Toutefois, la méthode gravimétrique est indispensable en tant que méthode de référence.

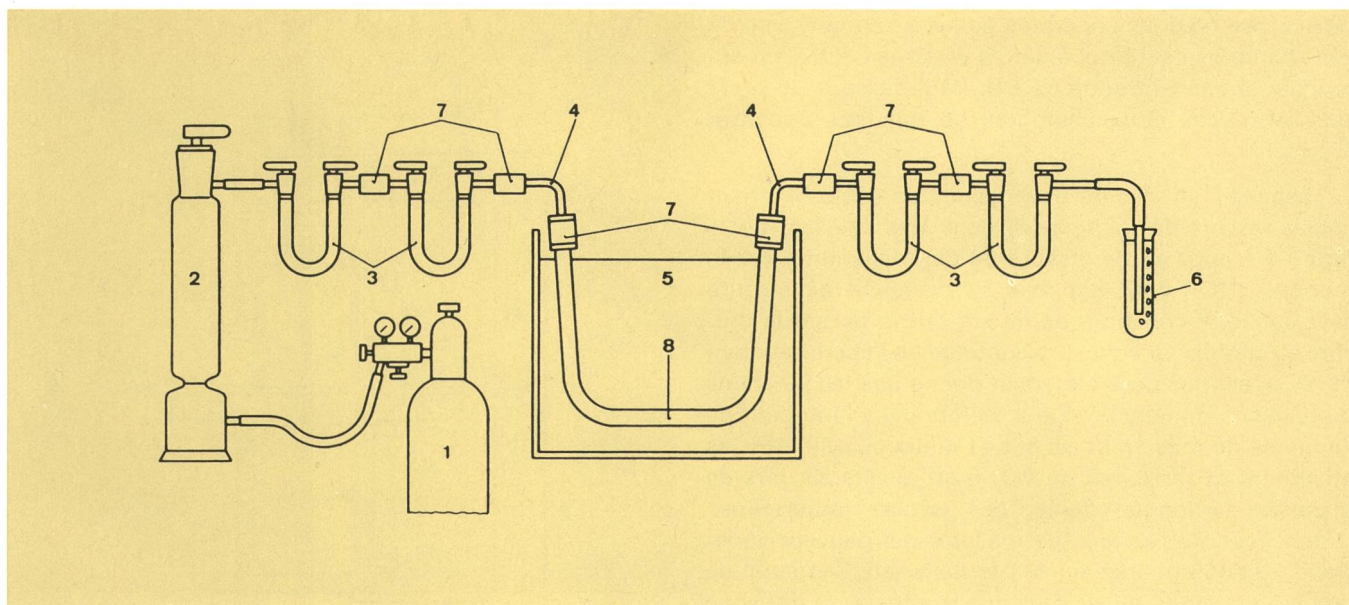


Fig. 2  
Dispositif d'essai pour mesure de diffusion gravimétrique

- 1 Bouteille d'air comprimé
- 2 Tube de séchage rempli de silicagel
- 3 Tubes en U, remplis de pentoxyde de phosphore ( $P_2O_5$ )
- 4 Tubes de jonction en verre

- 5 Réservoir d'eau
- 6 Débitmètre à bulles
- 7 Fermetures à étanchéité au mercure
- 8 Echantillon testé (gaine de câble ALT)

### 32 Autres méthodes de mesure

Les inconvénients de la détermination directe de la perméabilité à la vapeur d'eau, tels qu'ils viennent d'être évoqués, proviennent du fait que l'eau est omniprésente dans l'atmosphère. On comprend facilement dès lors qu'on essaie de trouver une méthode par laquelle on puisse utiliser, comme produit de diffusion, un gaz présent à des taux très faibles dans l'atmosphère. Les ouvrages spécialisés donnent d'ailleurs peu de renseignements sur d'autres méthodes de mesure.

*Huber & Kadereit* (1971) décrivent une méthode servant au contrôle de l'étanchéité d'éléments électroniques encapsulés à l'aide de gaz krypton 85 qui se désintègre en rubidium 85 sous l'effet d'un rayonnement radioactif et qui peut être détecté avec un appareil adéquat. Il est cependant difficilement concevable d'utiliser un isotope radioactif pour tester les gaines de câbles, étant donné qu'il faudrait recourir à de grandes quantités de matière radioactive.

En revanche, on pourrait imaginer de faire appel à du deutérium sous forme d'eau lourde en tant qu'élément de diffusion, et procéder ensuite à une détection par spectrométrie de masse, solution qui requerrait cependant un dispositif d'appareils complexe.

Compte tenu des techniques de mesure chimiques et analytiques utilisées dans les laboratoires de la Câblerie de Cortaillod et des PTT, on a pu avoir recours au monoxyde de carbone (CO) et au méthane ( $CH_4$ ) en tant que gaz de mesure, lesquels ne sont présents dans l'air qu'à l'état de traces. En outre, la Câblerie de Cortaillod dispose d'un chromatographe en phase gazeuse qui est très bien adapté aux mesures du méthane. Le laboratoire chimique de la Division de la recherche et développement des PTT est équipé, quant à lui, pour les analyses photométriques à infrarouge des gaz CO et  $CH_4$ .

La présence de ces équipements de base pour la technique de mesure a permis d'effectuer des essais en commun qui ont pour objectif de révéler s'il est possible de déterminer la perméabilité à la vapeur d'eau des gaines de câbles ALT, d'après des mesures de diffusion de CO et de  $CH_4$ .

### 33 Détermination photométrique à infrarouge de la diffusion de CO

#### 331 Gains de câbles et manchons

Le tronçon de câble ou le manchon est introduit dans un tube de métal terminé latéralement par deux raccords pour le gaz. Les ouvertures du tube sont obturées de manière étanche au gaz, de façon que les extrémités du câble ou du manchon sortent des deux côtés du tube de métal.

- a) *Mesure sans faisceau de conducteurs.* Deux solutions sont possibles: on remplit l'intérieur du câble ou du manchon de gaz CO et on mesure de temps à autre la concentration de CO entre l'échantillon et le tube de métal ou on procède en sens inverse. Les mesures se font sans différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur de l'échantillon!
- b) *Mesure avec faisceau de conducteurs.* Le gaz CO doit être amené en permanence à travers l'échantillon à tester. La mesure de la concentration de CO s'effectue dans l'espace étanche au gaz et entre l'échantillon et la paroi du tube métallique.

#### 332 Feuilles (synthétiques et métalliques)

Un morceau de feuille est tendu entre les deux parties d'un cylindre sous vide avec raccords pour le gaz, de manière que l'échantillon dépasse de chaque côté du cylindre. Cette feuille sépare l'espace vide à l'intérieur

du cylindre en deux chambres étanches au gaz. Une de ces chambres est remplie de CO et, dans l'autre, on détermine la concentration de CO. La différence de pression entre ces deux chambres ne doit pas dépasser 50 mbar.

Le dispositif de mesure pour gaines de câbles et manchons ressort de la *figure 3*; celui des feuilles, de la *figure 4*. L'appareil de mesure du CO (dans notre cas le modèle UNOR 6 N) est relié au dispositif de mesure avec lequel il constitue un circuit fermé durant la mesure. Toutefois, une mesure continue de l'accroissement du CO n'est pas possible, étant donné que les jonctions du tuyau, comme la pompe à membrane à l'intérieur de l'appareil de mesure et les autres matières synthétiques absorbent et restituent du CO. Il en résulterait, lors de mesures de longue durée, des erreurs importantes. Durant les interruptions de mesure, qui peuvent varier entre 2 et 100 heures suivant le matériau, l'appareil de mesure est purgé à l'air. Dès que la vitesse de diffusion du CO cesse d'augmenter pendant une durée prolongée, soit généralement après 10...20 jours, l'essai est terminé.

Le dispositif d'essai devra être monté à un emplacement protégé du rayonnement direct du soleil et se trouver dans un endroit à température si possible constante ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ).

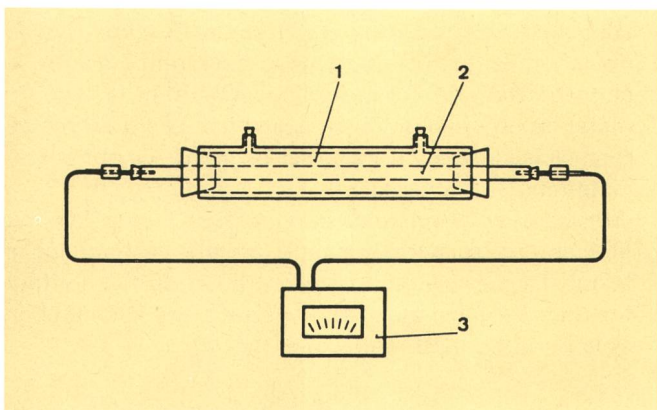
**ATTENTION:** le CO est très toxique et de plus inodore!

### 34 Détermination photométrique à infrarouge de la diffusion de CH<sub>4</sub>

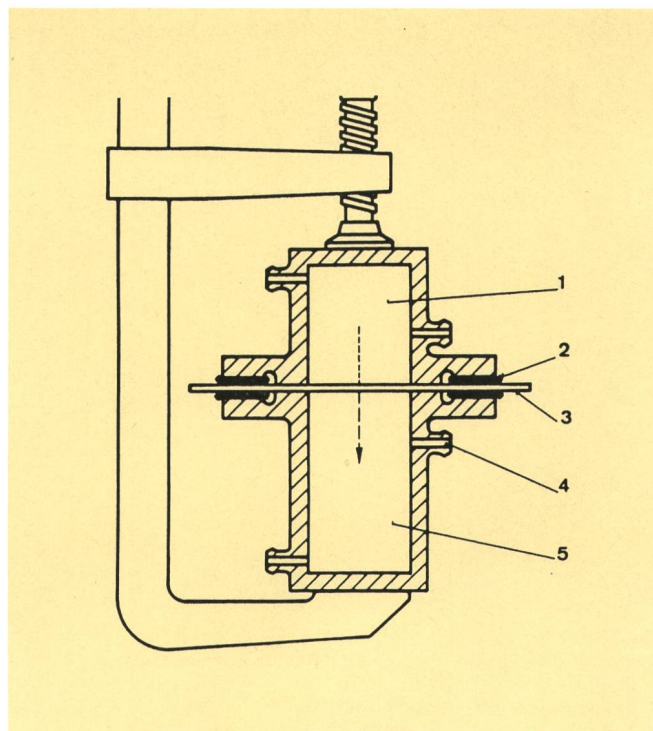
L'appareil de mesure UNOR 6 N pour CH<sub>4</sub> permet d'effectuer des essais comme sous le point 33. Comme gaz d'essai, on utilise le gaz naturel.

### 35 Détermination de la diffusion de CH<sub>4</sub> par chromatographie à phase gazeuse

Il s'agit ici d'une mesure indirecte de l'étanchéité à la diffusion par chromatographie à phase gazeuse sur les câbles, avec utilisation de méthane, méthode mise au point par les Câbles de Cortailod SA.



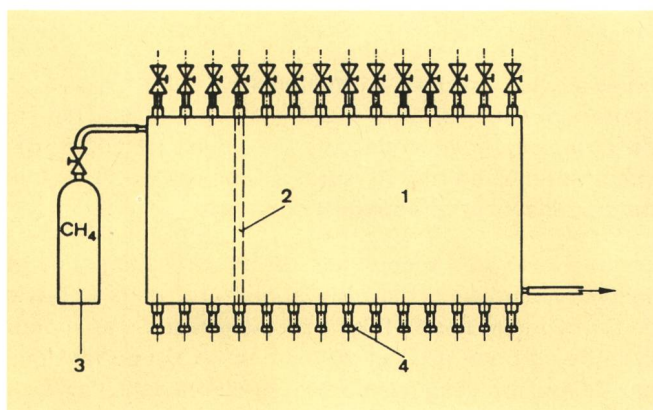
**Fig. 3**  
Dispositif d'essai pour mesure de diffusion par spectrophotométrie à infrarouge  
1 Chambre pour gaz d'essai  
2 Echantillon  
3 Spectrophotomètre à infrarouge UNOR 2 Maihak (mesure de CO ou de CH<sub>4</sub>)



**Fig. 4**  
Dispositif d'essai pour mesure de la diffusion à travers une feuille  
1 Chambre remplie de gaz d'essai  
2 Masse d'étanchéité  
3 Echantillon (feuille)  
4 Raccordement de gaz pour le circuit de mesure  
5 Chambre de mesure

Le dispositif de mesure est représenté à la *figure 5*. La gaine de câble (sans faisceau de conducteurs) ou le manchon sont placés dans un récipient contenant une atmosphère de méthane. Leurs extrémités sortantes sont munies d'un tube thermorétractable étanche, de manière que le méthane ne puisse pas diffuser vers l'intérieur de l'échantillon. L'extrémité du câble est munie d'un support en verre comportant une membrane en caoutchouc silicone (Septum).

A des intervalles réguliers, on prélève un échantillon de gaz de l'intérieur du câble ou du manchon, à l'aide d'une



**Fig. 5**  
Dispositif d'essai pour mesure de la diffusion par chromatographie à phase gazeuse  
1 Chambre pour gaz d'essai  
2 Echantillon (gaine de câble ALT)  
3 Bouteille de gaz  
4 Septum (prélèvement de gaz pour le chromatographe)

**Tableau I. Vitesses de diffusion du PE en fonction de l'épaisseur de couche. Ici, l'épaisseur de la couche est directement proportionnelle à la vitesse de diffusion**

| Epaisseur de couche | Diffusion H <sub>2</sub> O en g/m <sup>2</sup> et par jour | Diffusion H <sub>2</sub> O calculée pour une épaisseur de couche de 40 µm en g/m <sup>2</sup> et par jour | Matière                                          |
|---------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 90 µm               | 0,73 — 0,80                                                | 1,64 — 1,79                                                                                               | PE, non coloré<br>PE, noir<br>PE, gris, ignifuge |
| 2300 µm             | 0,031 — 0,036                                              | 1,77 — 2,08                                                                                               |                                                  |
| 2800 µm             | 0,020 — 0,022                                              | 1,39 — 1,55                                                                                               |                                                  |

seringue dont l'aiguille est enfoncée à travers la membrane de caoutchouc (septum) et on injecte directement l'échantillon dans le chromatographe à phase gazeuse afin de mesurer la quantité de méthane diffusé à travers la gaine du câble ou la paroi du manchon. Suivant l'échantillon de câble ou de manchon, on procède au moins à 5 mesures différentes. La membrane de caoutchouc (septum) doit être remplacée après 50 prélèvements environ.

## 4 Discussion

### 41 Comparaison des résultats de mesure des différentes méthodes

Pour ce qui est de la perméabilité du gaz et de la vapeur d'eau à travers des couches uniformes, telles que des feuilles synthétiques, etc., on peut approximativement admettre que la quantité de gaz diffusé à travers une couche est proportionnelle à la surface de la feuille, à la différence de pression du gaz des deux côtés de la couche, à la durée de l'action et inversement proportionnelle à l'épaisseur de la couche. C'est pourquoi les résultats de mesure se réfèrent à une couche de 40 µm d'épaisseur et à une température de 23°C. Ils sont indiqués en g/m<sup>2</sup> et par jour. Le *tableau I* donne les débits de diffusion de feuilles de polyéthylène d'épaisseur différente.

Dans les systèmes à plusieurs couches, constitués de manière uniforme, outre la diffusion, la pénétration de gaz à travers des couches avec ouvertures capillaires

joue un rôle important. Un exemple typique est fourni par les gaines des câbles ALT. Il s'agit en l'occurrence de gaines de polyéthylène revêtues du côté intérieur d'une feuille d'aluminium pourvue d'une couche de colle. Lors de la fabrication de telles gaines, on utilise une feuille de copolymère d'aluminium sous forme de ruban qui est formé en un tube et collé à la gaine PE au cours de l'extrusion. L'endroit de recouvrement du tube d'aluminium ainsi formé est également collé. Etant donné que la feuille d'aluminium est entièrement étanche aux gaz et à l'eau, ces derniers ne peuvent pénétrer à l'intérieur du câble qu'au niveau du recouvrement. L'indication de la perméabilité en g/m<sup>2</sup>, pour une épaisseur de 40 µm ne donnerait donc pas de renseignements probants. L'épaisseur de la couche et la surface de la gaine n'ont en effet qu'une influence secondaire. De ce fait, pour les tubes et les gaines de câbles, spécialement pour les gaines avec barrières contre la vapeur d'eau, la perméabilité à la vapeur est indiquée en mg/m et par jour, quelle que soit l'épaisseur de la paroi.

Le *tableau II* réunit les résultats de mesure de différentes méthodes. On constate rapidement que les résultats fournis tant par les méthodes directes que par les méthodes indirectes concordent. Si l'on tient compte du fait que le débit de diffusion dépend beaucoup de la température – il double à peu près avec une augmentation de la température de 10°C (*tableau III*) –, on peut même considérer que cette concordance est excellente.

**Tableau III. Vitesse de perméabilité de la vapeur d'eau en fonction de la température**

| Echantillon                                                    | 15°C                | 25°C                |
|----------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Gaine PE avec barrière Al contre la vapeur (diamètre = 3,6 cm) | 0,0079 mg/jour · m  | 0,0149 mg/jour · m  |
| Gaine PE avec barrière Al contre la vapeur (diamètre = 3,6 cm) | 0,0125 mg/jour · m  | 0,0216 mg/jour · m  |
| Gaine PE avec barrière Al contre la vapeur (diamètre = 2,1 cm) | 0,00103 mg/jour · m | 0,00328 mg/jour · m |
| petit manchon                                                  | 0,0208 mg/jour · m  | 0,035 mg/jour · m   |

**Tableau II. Comparaison des résultats de mesures obtenues avec différentes méthodes d'essais**

| Matière                                | Diffusion H <sub>2</sub> O selon DIN 53122, calculée pour une épaisseur de couche de 40 µm en g/m <sup>2</sup> et par jour | Diffusion CO calculée pour une épaisseur de couche de 40 µm en g/m <sup>2</sup> et par jour | Diffusion CH <sub>4</sub> calculée pour une épaisseur de couche de 40 µm en g/m <sup>2</sup> et par jour | Perméabilité H <sub>2</sub> O en mg/m et par jour | Perméabilité CO en mg/m et par jour | Perméabilité CH <sub>4</sub> en mg/m et par jour |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|
| PE (selon ouvrages spécialisés)        | 0,6 — 1,8                                                                                                                  | —                                                                                           | —                                                                                                        | —                                                 | —                                   | —                                                |
| Feuille d'emballage PE, sans couleur   | 1,79                                                                                                                       | 1,64                                                                                        | —                                                                                                        | —                                                 | —                                   | —                                                |
| Tube PE gris, ignifuge                 | —                                                                                                                          | 1,39                                                                                        | 1,55                                                                                                     | —                                                 | 1,21                                | 1,35                                             |
| Gaine de câble HD-PE, noire            | —                                                                                                                          | 1,77                                                                                        | 2,08                                                                                                     | —                                                 | 2,3                                 | 2,7                                              |
| Gaine de câble HD-PE                   | —                                                                                                                          | —                                                                                           | —                                                                                                        | 2                                                 | 2,3                                 |                                                  |
| Gaine ALT 10 × 4 × 0,6                 | —                                                                                                                          | —                                                                                           | —                                                                                                        | 0,06                                              | 0,045                               |                                                  |
| Gaine ALT avec joint soudé transversal | —                                                                                                                          | —                                                                                           | —                                                                                                        | <0,02                                             | 0,0097                              |                                                  |
| Gaine ALT 10 × 4 × 0,6                 | —                                                                                                                          | —                                                                                           | —                                                                                                        | <0,02                                             | 0,0010                              |                                                  |
| Excellente gaine ALT                   | —                                                                                                                          | —                                                                                           | —                                                                                                        | <0,02                                             | 0,0005                              |                                                  |
| Manchon                                | —                                                                                                                          | —                                                                                           | —                                                                                                        | 3—4                                               | 1                                   |                                                  |

Pour les gaines PE, on peut ainsi conclure que la perméabilité au CO ou au CH<sub>4</sub> peut être comparée à la perméabilité H<sub>2</sub>O.

42 Avantages et inconvénients de la détermination indirecte de la diffusion de la vapeur d'eau

a) *Avantages.* La méthode utilisée initialement n'est pas particulièrement sensible. Les manchons et les câbles de bonne qualité doivent souvent être immergés pendant des mois dans l'eau. A cet égard, il faut veiller à ce que les extrémités soient parfaitement obturées. C'est ainsi que, pour éviter une erreur positive considérable, il faut que ni l'intérieur de la gaine ni le tube rempli de pentoxyde de phosphore soit en contact avec de l'eau ou avec l'air du local (humidité!).

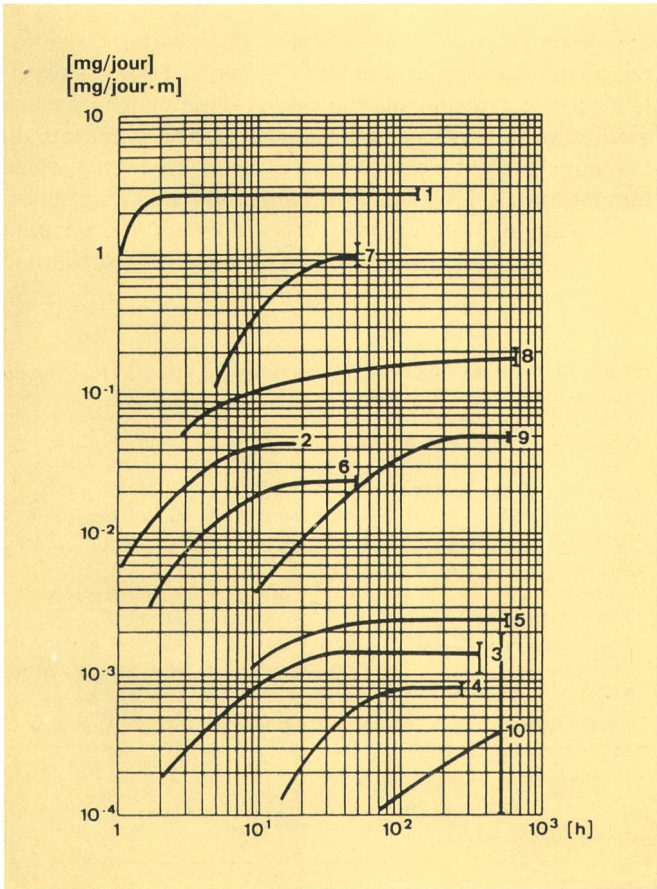


Fig. 6 Augmentation des valeurs mesurées en fonction du temps

| Type d'échantillon                                                         | Ø ou volume (int.)   | Vitesse de diffusion du CO et du CH <sub>4</sub> | Temps nécessaire à la mesure | Direction de diffusion |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------|------------------------------|------------------------|
| ① = Gaine PE vide sans barrière contre la vapeur                           | 2,1 cm               | 2,7 mg/jour · m                                  | 20 h                         | vers l'intérieur       |
| ② = Gaine PE vide avec barrière contre la vapeur                           | 1,2 cm               | 0,043 mg/jour · m                                | 80 h                         | vers l'intérieur       |
| ③ = Gaine PE vide avec barrière contre la vapeur                           | 1,2 cm               | 0,0014 mg/jour · m                               | 200 h                        | vers l'intérieur       |
| ④ = Gaine PE vide avec barrière contre la vapeur                           | 1,2 cm               | 0,0008 mg/jour · m                               | 700 h                        | vers l'intérieur       |
| ⑤ = Gaine PE vide avec barrière contre la vapeur + joint soudé transversal | 2,1 cm               | 0,0024 mg/jour · m                               | 320 h                        | vers l'intérieur       |
| ⑥ = Gaine PE vide avec barrière contre la vapeur + joint soudé transversal | 3,6 cm               | 0,023 mg/jour · m                                | 120 h                        | vers l'intérieur       |
| ⑦ = Manchon PE vide                                                        | 11 dm <sup>3</sup>   | 0,95 mg/jour                                     | 280 h                        | vers l'extérieur       |
| ⑧ = Manchon PE avec faisceau de conducteurs                                | 21 dm <sup>3</sup>   | env. 0,18 mg/jour                                | 1000 h                       | vers l'extérieur       |
| ⑨ = Manchon PE vide                                                        | 0,9 dm <sup>3</sup>  | 0,05 mg/jour                                     | 1500 h                       | vers l'intérieur       |
| ⑩ = Manchon PE vide                                                        | 0,12 dm <sup>3</sup> | 0,001 mg/jour                                    | ?                            | vers l'intérieur       |

Il en va différemment avec toutes les méthodes de détermination indirecte de la vapeur d'eau. On peut, grâce à la sensibilité élevée des méthodes (limite d'enregistrement = 0,0002 mg/jour), contrôler de courts tronçons de câble en peu de jours. En outre, les défauts d'étanchéité dans le circuit de mesure ne provoquent pas ou peu d'erreurs de mesure, étant donné que les extrémités du câble ou des manchons sont situées à l'extérieur de l'atmosphère de CO ou de CH<sub>4</sub> et que l'air du local ne présente qu'une concentration négligeable de ces gaz (< 5 ppm).

La figure 6 représente graphiquement l'augmentation des valeurs de mesure en fonction du temps pour quelques échantillons. Le temps nécessaire au mesurage est ainsi inversement proportionnel à la vitesse de diffusion du gaz. Pour 0,043 mg, le transfert dure 80 heures, pour 0,0014 mg 200 h et pour 0,0008 mg 700 h, jusqu'à ce qu'une vitesse de diffusion stable puisse être mesurée. Pour les manchons, il faut prévoir un peu plus de temps.

b) *Inconvénients.* S'il s'agit de mesurer la perméabilité ou l'étanchéité et non pas la diffusion, il n'est pas nécessaire de tenir compte du type de matériau. Les méthodes indirectes sont applicables dans tous les cas.

Lors des mesures portant uniquement sur la diffusion, les propriétés du matériau jouent un rôle déterminant. Il convient de ce fait d'élucider préalablement pour chaque échantillon si la méthode de détermination indirecte est applicable de même manière que pour le polyéthylène ou s'il faut faire appel à un facteur de correction.

Le CO étant toxique et le CH<sub>4</sub> inflammable, il importe d'utiliser ces gaz avec la prudence qui s'impose.

43 Vitesse de diffusion en fonction du matériau

Le taux de diffusion dépend essentiellement du type de matière pénétrant et de la constitution chimique de la structure moléculaire de la matière synthétique, comme le montre le tableau IV. Ainsi, pour déterminer, à l'aide de la méthode indirecte, la diffusion d'eau dans les matières synthétiques, à l'exception du PE et des colles à base d'acrylate et de PE, il faut toujours utiliser des facteurs de correction. Il semble en l'occurrence qu'il y aurait une relation entre la grandeur du facteur et l'épaisseur de la matière synthétique non polaire: en

Tableau IV. Vitesses de diffusion de divers gaz en fonction de la matière

| Matière                                                                                                  | Epaisseur de la couche en $\mu\text{m}$ | Temp.                            | Diffusion en $\text{g/m}^2$ et par jour                                                           | Diffusion calculée pour une épaisseur de couche de $40 \mu\text{m}$ en $\text{g/m}^2$ et par jour | Facteur de correction pour le CO (diffusion $\text{H}_2\text{O} = 1$ ) | Facteur de correction pour le $\text{CH}_4$ (diffusion $\text{H}_2\text{O} = 1$ ) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| PE                                                                                                       | 2300                                    | 21° C                            | CO : 0,03076<br>$\text{H}_2\text{O}^*$ : 0,0312<br>$\text{CH}_4$ : 0,03611                        | CO : 1,77<br>$\text{H}_2\text{O}$ : 1,79<br>$\text{CH}_4$ : 2,08                                  | 1                                                                      | 0,9                                                                               |
| Copolymère éthylène-acrylate (colle RP 840, Neher SA pour gaine de câble avec barrière contre la vapeur) | 1025<br>940<br>890<br>1090              | 24° C<br>24° C<br>25° C<br>24° C | CO : 0,0737<br>$\text{H}_2\text{O}^*$ : 0,207<br>$\text{CH}_4$ : 0,0789<br>$\text{CH}_4$ : 0,0587 | CO : 1,89<br>$\text{H}_2\text{O}$ : 4,33<br>$\text{CH}_4$ : 1,95<br>$\text{CH}_4$ : 1,60          | 2,3                                                                    | 2,2-2,7                                                                           |
| Copolymère éthylène-acrylate (colle DOW 449, pour une gaine de câble avec barrière contre la vapeur)     | 920<br>830<br>800<br>1040               | 23° C<br>23° C<br>22° C<br>23° C | CO : 0,077<br>CO : 0,110<br>$\text{H}_2\text{O}^*$ : 0,104<br>$\text{CH}_4$ : 0,0684              | CO : 1,77<br>CO : 2,28<br>$\text{H}_2\text{O}$ : 2,05<br>$\text{CH}_4$ : 1,78                     | 0,9-1,2                                                                | 1,2                                                                               |
| PVC avec 35 % de plastifiant (Veroplan 12-G-Dach)                                                        | 1180                                    | 20° C<br>21° C<br>22° C          | CO : 0,123<br>$\text{H}_2\text{O}^*$ : 1,910<br>$\text{CH}_4$ : 0,1789                            | CO : 3,63<br>$\text{H}_2\text{O}$ : 56,4<br>$\text{CH}_4$ : 5,28                                  | 15,5                                                                   | 10,7                                                                              |
| PVC avec 20 % de plastifiant                                                                             | 85                                      | 20° C<br>21° C<br>21° C          | CO : 0,07566<br>$\text{H}_2\text{O}^*$ : 3,9<br>$\text{CH}_4$ : 0,0700                            | CO : 0,161<br>$\text{H}_2\text{O}$ : 8,4<br>$\text{CH}_4$ : 0,149                                 | 52                                                                     | 56                                                                                |
| PVC rigide                                                                                               | 245                                     | 19° C<br>20° C<br>20° C          | CO : 0,00461<br>$\text{H}_2\text{O}^*$ : 1,20<br>$\text{CH}_4$ : 0,00526                          | CO : 0,0282<br>$\text{H}_2\text{O}$ : 7,6<br>$\text{CH}_4$ : 0,0322                               | 270                                                                    | 236                                                                               |
| PVDC                                                                                                     | 10                                      | 20° C<br>21° C<br>21° C          | CO : 0,00625<br>$\text{H}_2\text{O}^*$ : 6,22<br>$\text{CH}_4$ : 0,00408                          | CO : 0,00156<br>$\text{H}_2\text{O}$ : 1,56<br>$\text{CH}_4$ : 0,00102                            | 1000                                                                   | 1530                                                                              |
| PC                                                                                                       | 400                                     | 22° C<br>22° C<br>23° C          | CO : 0,130<br>$\text{H}_2\text{O}^*$ : 4,19<br>$\text{CH}_4$ : 0,059                              | CO : 1,296<br>$\text{H}_2\text{O}$ : 41,9<br>$\text{CH}_4$ : 0,587                                | 32                                                                     | 71                                                                                |
| CA                                                                                                       | 70                                      | 21° C<br>21° C<br>23° C          | CO : 0,342<br>$\text{H}_2\text{O}^*$ : 126,8<br>$\text{CH}_4$ : 0,250                             | CO : 0,599<br>$\text{H}_2\text{O}$ : 222<br>$\text{CH}_4$ : 0,438                                 | 370                                                                    | 507                                                                               |
| Hydrate de cellulose                                                                                     | 30                                      | 23° C<br>21° C<br>21° C          | CO : 0,0015<br>$\text{H}_2\text{O}^*$ : 418,8<br>$\text{CH}_4$ : 0,00289                          | CO : 0,0012<br>$\text{H}_2\text{O}$ : 314<br>$\text{CH}_4$ : 0,0022                               | $2,6 \cdot 10^5$                                                       | $1,4 \cdot 10^5$                                                                  |
| PETP                                                                                                     | 70                                      | 20° C<br>21° C<br>21° C          | CO : 0,00921<br>$\text{H}_2\text{O}^*$ : 2,473<br>$\text{CH}_4$ : 0,00289                         | CO : 0,016<br>$\text{H}_2\text{O}$ : 4,3<br>$\text{CH}_4$ : 0,0051                                | 269                                                                    | 843                                                                               |
| POM (Polyacétal)                                                                                         | 330                                     | 22° C                            | CO : 0,00197<br>$\text{H}_2\text{O}^*$ : 0,678<br>$\text{CH}_4$ : 0,00032                         | CO : 0,016<br>$\text{H}_2\text{O}$ : 5,59<br>$\text{CH}_4$ : 0,0026                               | 350                                                                    | $2,15 \cdot 10^3$                                                                 |
| PA                                                                                                       | 500                                     | 22° C                            | CO : 0,00059<br>$\text{H}_2\text{O}^*$ : 2,39<br>$\text{CH}_4$ : 0,00021                          | CO : 0,0074<br>$\text{H}_2\text{O}$ : 29,88<br>$\text{CH}_4$ : 0,0026                             | $4,0 \cdot 10^3$                                                       | $1,15 \cdot 10^4$                                                                 |
| Plexiglas                                                                                                | 1315                                    | 22° C<br>20° C<br>24° C          | CO : 0,000895<br>$\text{H}_2\text{O}^*$ : 0,694<br>$\text{CH}_4$ : 0,000229                       | CO : 0,0294<br>$\text{H}_2\text{O}$ : 22,8<br>$\text{CH}_4$ : 0,0075                              | 776                                                                    | $3 \cdot 10^3$                                                                    |
| PS                                                                                                       | 530                                     | 19° C<br>18° C<br>19° C          | CO : 0,23<br>$\text{H}_2\text{O}^*$ : 2,39<br>$\text{CH}_4$ : 0,079                               | CO : 3,05<br>$\text{H}_2\text{O}$ : 31,7<br>$\text{CH}_4$ : 1,05                                  | 10                                                                     | 30                                                                                |
|                                                                                                          |                                         |                                  | * déterminé selon DIN 53122                                                                       |                                                                                                   |                                                                        |                                                                                   |

effet, le facteur pour une épaisseur de 0,92 (PE) est de 1, pour une épaisseur de 1,38 (PVC dur) de 230...270 et pour une épaisseur de 1,6 (PVDC) de 1000...1500.

Avec les matières synthétiques polaires, la vitesse de diffusion de la molécule  $\text{H}_2\text{O}$ , également polaire, augmente aussi. Cependant, le gaz CO faiblement polaire,

de même que le  $\text{CH}_4$  non polaire, ne subissent aucune influence. Plus la matière synthétique est polaire, plus élevé sera dès lors le facteur de correction.

Si l'on compare les facteurs de correction du CO et  $\text{CH}_4$ , on constate qu'ils ne varient guère plus que d'un facteur 2.

Le PVC fournit à cet égard un exemple intéressant. Suivant le taux de plastifiant, on remarque qu'il y a différents facteurs de correction mais aussi des vitesses de diffusion différentes: Avec un PVC contenant 35 % de plastifiant, la diffusion de H<sub>2</sub>O est sept fois plus rapide qu'en l'absence d'un plastifiant!

## 5 Conclusions

Les méthodes de test indirectes appliquées aux mesures d'étanchéité sans pression donnent d'excellents résultats (exemple: Câble avec barrière contre la vapeur d'eau). De plus, ces méthodes sont aussi utilisables pour les mesures portant uniquement sur la diffusion à travers des matières PE d'une seule couche. Cependant, pour toutes les matières synthétiques exemptes de PE, ces méthodes paraissent plutôt mal adaptées, car les avantages de la mesure de courte durée, de la sensibi-

lité réduite aux influences perturbatrices, de même que de la limite d'enregistrement très basse sont en partie annulés par le facteur de correction dont il faut tenir compte.

## Bibliographie

- Crank J. Diffusion in Polymers. London 1963.
- Edelmann A. Die wichtigsten Kenngrößen zur Beschreibung von Diffusionsvorgängen. Farbe und Lack, Hannover 75 (1969) 9.
- Huber W. und Kadereit H. G. Dichtheitsprüfung von gekapselten elektronischen Bauteilen mit Krypton 85. Siemens Forschung und Entwicklung, Berlin 1 (1971) 1.
- Klopfer H. Die Diffusion von Wasser in Polymeren. Deutsche Farbenzeitschrift, Stuttgart (1972) 6.
- Wedel K. et al. Ein Beitrag zur Kennzeichnung des Sorptionsverhaltens organischer Körper. Oberfläche — Surface, Küssnacht Zürich 25 (1981) 3.

---

Die nächste Nummer bringt unter anderem

**Vous pourrez lire dans le prochain numéro**

# 11/86

|                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bretscher U.                                    | Die neue Postautogeneration der PTT<br>Nouvelle génération de cars postaux des PTT                                                                                                                                                               |
| Schärer P.                                      | Das Digital-Vermittlungssystem EWSD<br>Le système de commutation numérique EWSD                                                                                                                                                                  |
| Küffer F.                                       | Glasfaserstation 85 zur optischen Übertragung von Sprache und Daten                                                                                                                                                                              |
| Pellaux J.-P.<br>Witschi A.<br>Bischofberger T. | Messgerät zum Bestimmen der optischen Übertragungseigenschaften von Monomode-Glasfasern<br>Appareil de mesure pour définir les propriétés de transmission des fibres optiques monomodes                                                          |
| Jaquier J.-J.                                   | Die technische Einführung der neuen Telematikdienste:<br>eine Herausforderung für die PTT – Einige Anhaltspunkte und Massnahmen<br>L'introduzione tecnica dei nuovi servizi di telematica: Una sfida per le PTT –<br>Alcuni elementi di risposta |

---