

# La perméabilité à la vapeur d'eau : définitions, méthodes de mesure, normes et valeurs



Club Matériaux ISITV le 15/10/2004

Olivier LACOUR  
Groupe Mesure Acoustique

Le coefficient de perméabilité d'un matériau permet de caractériser ses propriétés « d'étanchéité / fuite » vis à vis d'un fluide. C'est la quantité de gaz transmise à travers une surface par unité de temps, de pression et d'épaisseur.

## Différents modes d'écoulement des fluides :

- écoulements visqueux
  - régime laminaire
  - régime turbulent
- écoulements moléculaires
- écoulements intermédiaires

libre parcours moyen  $\lambda$  = distance moyenne que peut parcourir une molécule avant de rencontrer une autre.  $\lambda$  est fonction du nombre de molécule par une unité de volume, c.a.d fonction de la pression.

↳ **Pour une canalisation de diamètre  $\phi$ ,**

▷  $100 \lambda < \phi$  régime visqueux (quand  $\phi$  augmente, d'abord laminaire, puis turbulent)

▷  $\lambda < \phi < 100 \lambda$  régime intermédiaire

▷  $\phi < \lambda$  régime moléculaire

L'expérience montre que la perméabilité des fluides à travers les polymères est dirigée par une loi d'écoulement moléculaire.

La loi de Darcy peut être exprimée sous différentes formes :

		Unité de Q	Unité de K
débit volumique	$Q = \frac{\partial V}{\partial t}$	$m^3.s^{-1}$	$m^2.Pa^{-1}.s^{-1}$
débit massique	$Q = \frac{\partial m}{\partial t}$	$kg.s^{-1}$	$kg.m^{-1}.Pa^{-1}.s^{-1}$
flux gazeux	$Q = P \frac{\partial V}{\partial t}$	$Pa. m^3.s^{-1}$	$m^2.s^{-1}$

Le flux gazeux est homogène à une puissance. Cette quantité permet de quantifier complètement un écoulement. L'écoulement est caractériser par :

- la quantité de fluide qui s'écoule  $m^3.s^{-1}$
- la pression à laquelle se trouve cette variation de volume.

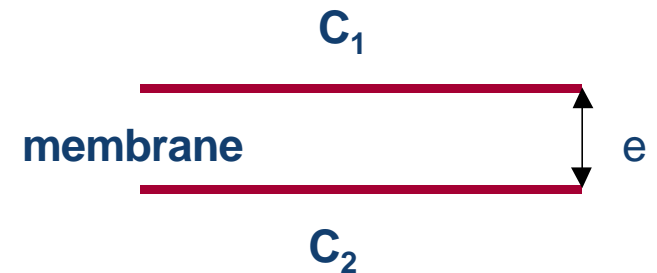
## Loi de Darcy

Loi de Fick :  $J = D \cdot \Delta C / e$

J : flux de matière, c'est-à-dire la quantité de matière  $\Delta Q$  diffusant à travers la membrane de surface A et pendant le temps  $\Delta t$ ,

$\Delta C$  : différence de concentration du fluide

e : épaisseur de la membrane polymère.



Loi de Henry :  $\Delta C = S \cdot \Delta P$

S est la solubilité = quantité de fluide par unité de volume de matériau en équilibre sous une pression (partielle) unité. Unité :  $\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Pa}^{-1}$

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{DP}{e}$$

$K$  : perméabilité en  $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s})$

$Q = J \cdot A$  : débit massique en  $\text{kg}/\text{s}$



---

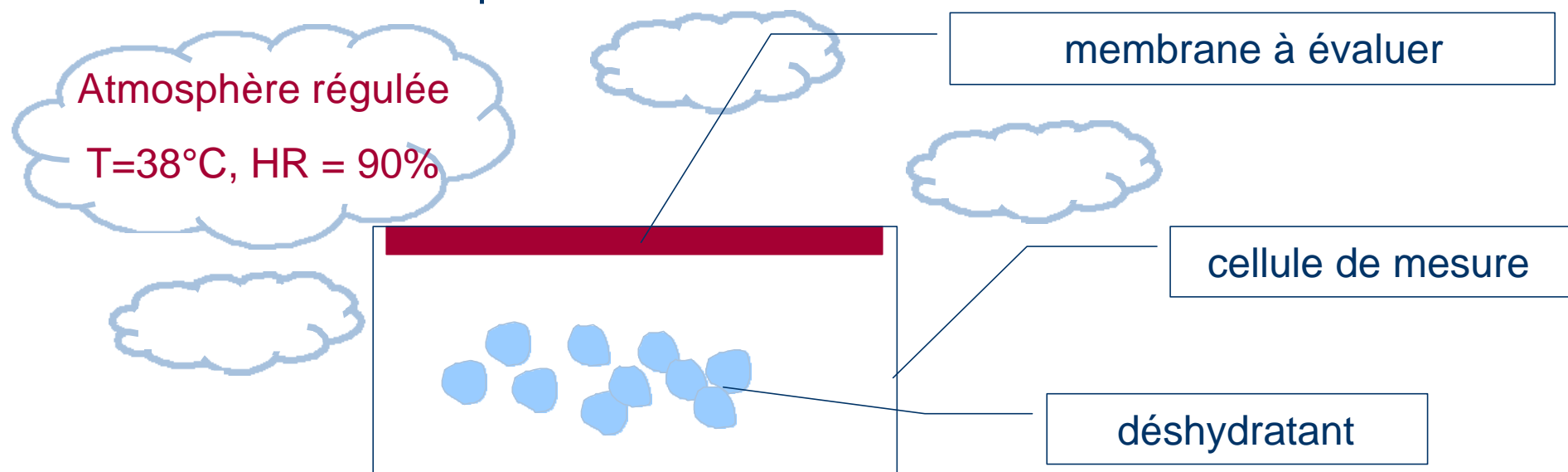
En pratique, on mesure la perméabilité :

- à la vapeur d'eau (matériel immergé, emballage)
- à certains gaz (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, méthane...)
  - alimentaire
  - emballage
  - encapsulage de fluide toxique

**ISO 1663 de 1999** (ex NF T 56-105) : détermination de l'indice conventionnel de perméabilité à la vapeur d'eau

Equivalent : ASTM E96-80





principe : mesure de variation de masse d'une matière absorbante en fonction du temps



ou  $T=23^{\circ}\text{C}$ , HR = 80%, ou  $T=23^{\circ}\text{C}$ , HR = 80%

**Mesure Q = évolution de la masse d'eau en fonction du temps**

## Difficultés de la méthode :

-  scellement de la membrane (étanchéité du scellement)
-  précision de la mesure de la surface !
-  précision de mesure (1/1000 g !)
-  nécessite de nombreux échantillons

## Avantages

-  ne nécessite pas d'appareillage particulier

s

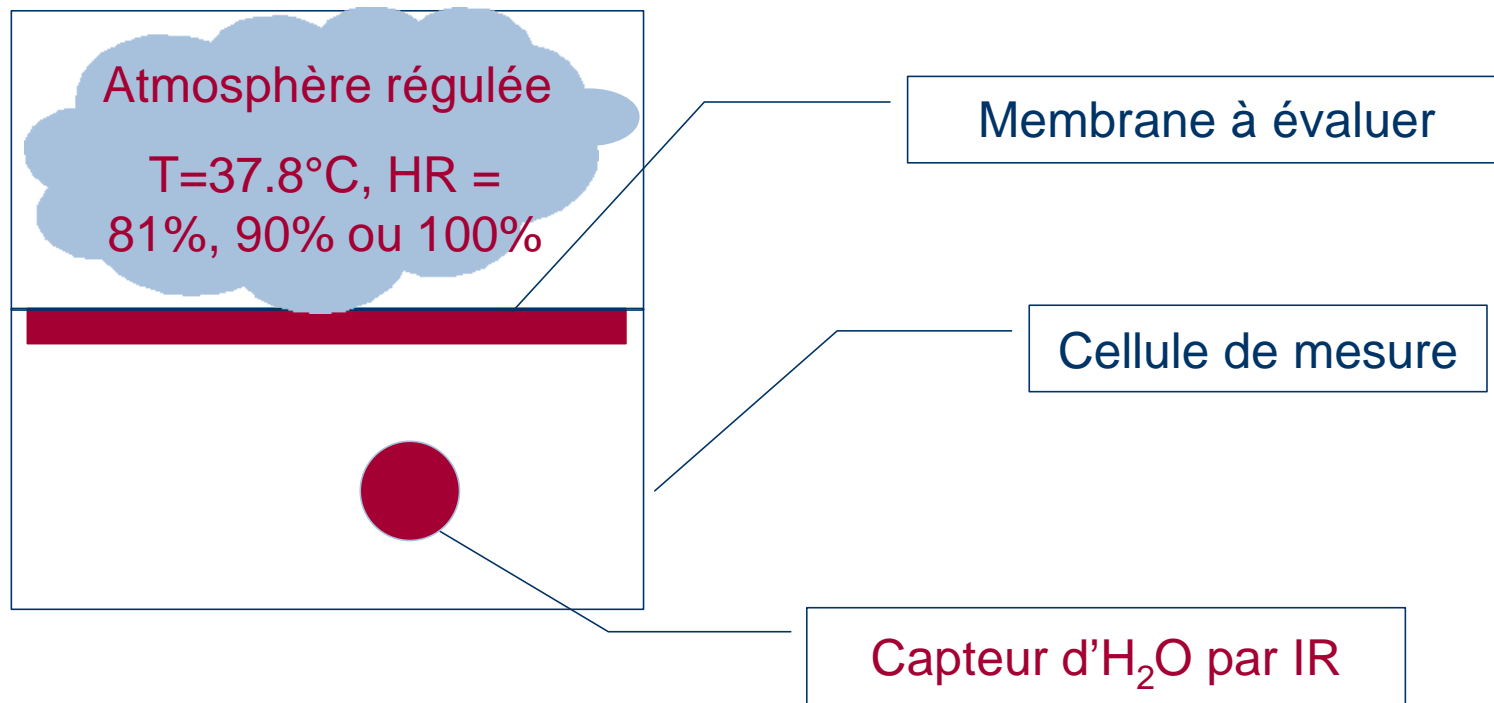
Unité d'après la norme : kg/(s.m.Pa)

D

T

**ASTM F372-73 (1984)** : Water vapor transmission rate of materials using an infrared detection technique

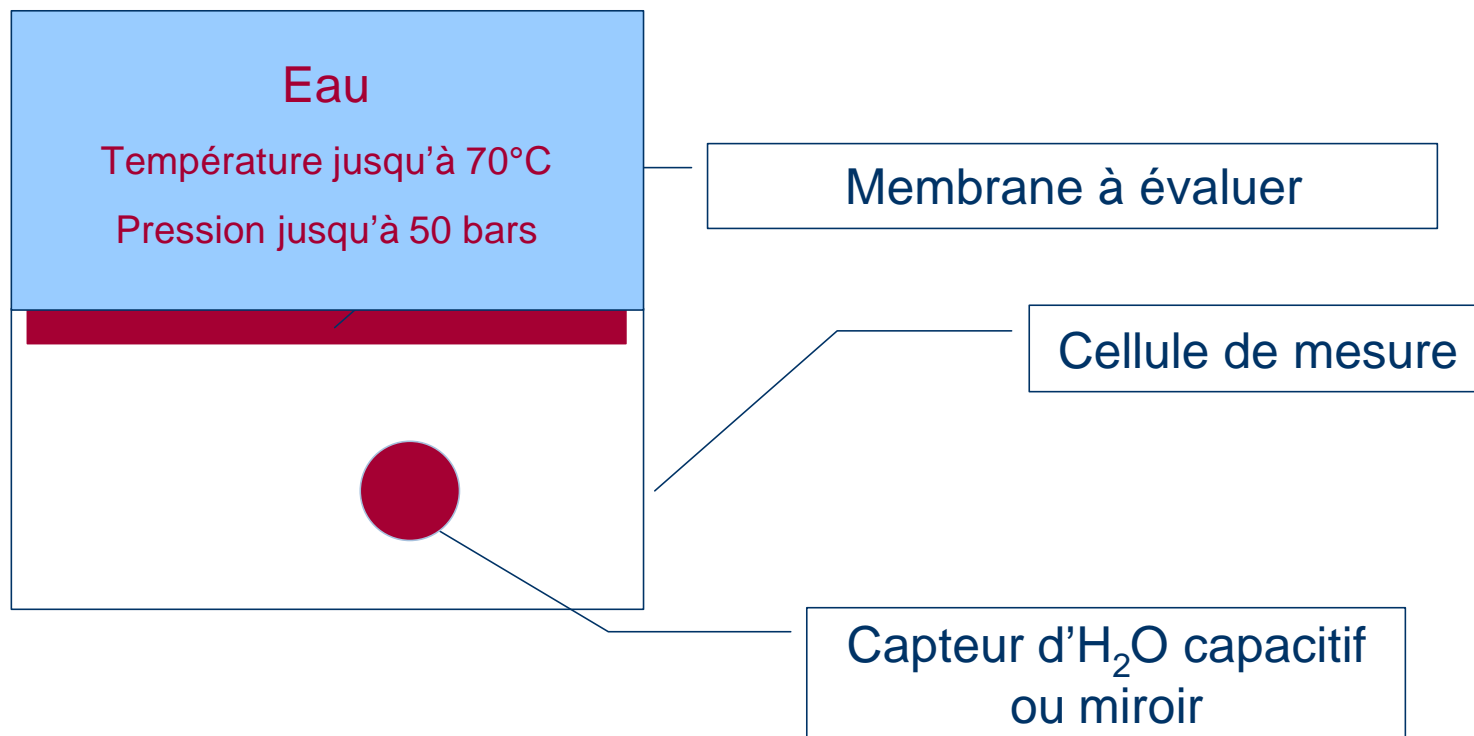
principe : mesure de l'augmentation de la quantité d'eau dans la chambre sèche séparé de la chambre humide par la membrane.



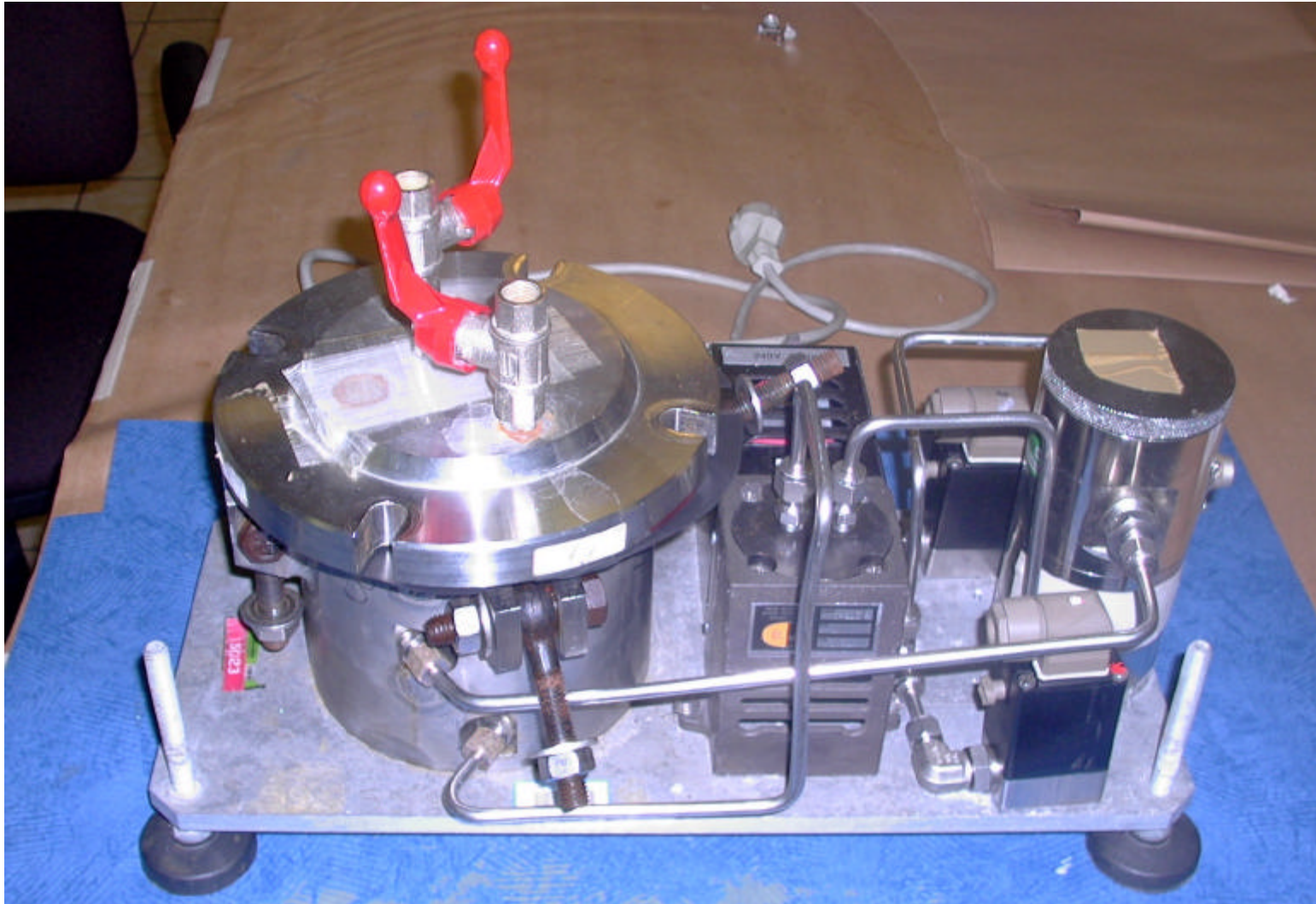
**Mesure Q = évolution de la masse d'eau en fonction du temps**

Méthode dérivée de l'ASTM F372-73 (1984) par TUS :

principe : mesure de l'augmentation de la quantité d'eau dans la chambre sèche séparé de la chambre contenant de l'eau (pression) par la membrane à tester.





**Mesure Q = évolution de la masse d'eau en fonction du temps**



S  
U  
T

## Difficultés de la méthode :

-  étanchéité réalisée par la membrane à mesurer (joint plat)
-  asséchage de la chambre de mesure

## Avantages

-  un échantillon peut suffire (grande surface testée)
-  directement représentatif de matériels immergés

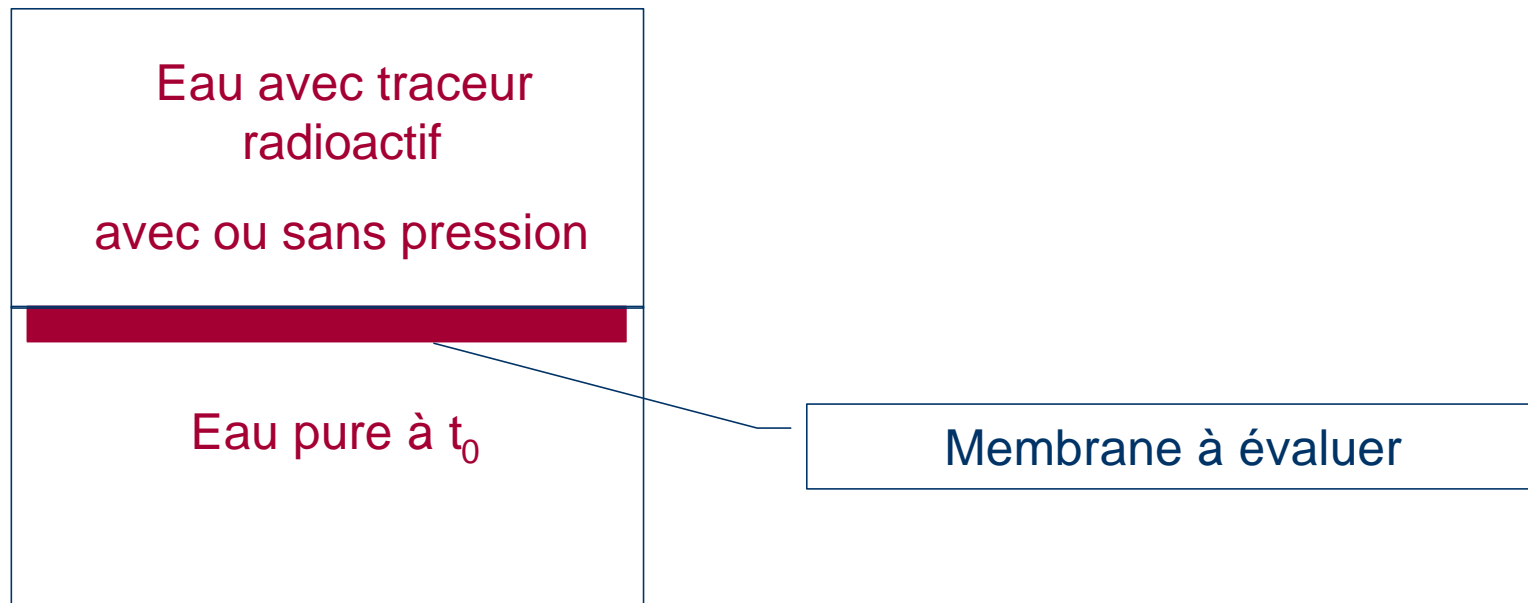
s Durée typique d'un essai : 1 semaine à 3 mois

o Unité d'après la norme : kg/(s.m.Pa)

F

**Autre méthode (CENG)** : mesure de la diffusion et de la perméabilité sur des échantillons d'élastomère

principe : évaluer en fonction la quantité d'eau « marquée » qui traverse la membrane de la cavité amont vers la cavité aval.



**Mesure Q = évolution de la masse d'eau “marquée” en fonction du temps dans la cavité aval**

## Difficultés de la méthode :

-  manipulation de fluide radioactif
-  beaucoup de manipulation

## Avantages

-  accès au coefficient D si  $\Delta P = 0$  entre les 2 cavités

$$Q = \rho \cdot A \cdot D \cdot \Delta C / e \quad \Rightarrow \text{calcul de D}$$

-  accès à la perméabilité si  $\Delta P > 0$

s Durée typique d'un essai : 1 à 3 mois

D Unité de  $K$  : kg/(s.m.Pa)

F



$$Q = \frac{\partial q}{\partial t} = k.A. \frac{P_s - P_i}{e} \quad P_i = P_s \left( 1 - e^{-\frac{\hat{e}ART}{VeM}t} \right)$$

tracé

$$\ln \left( \frac{P_s}{P_s - P_i} \right) = \frac{kART}{VeM}$$

R: C<sup>te</sup> des gaz parfaits

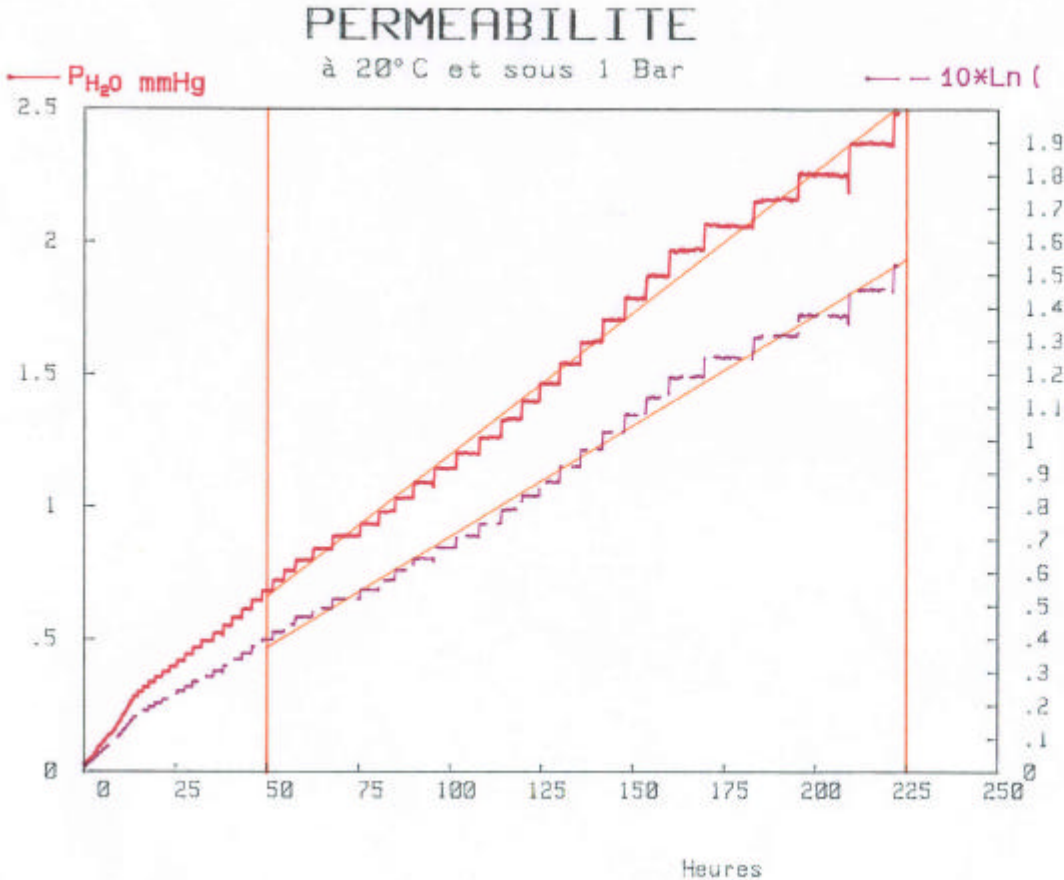
A: surface,

e : épaisseur

V. : volume de la cavité inférieure

T : température

M : masse molaire du gaz



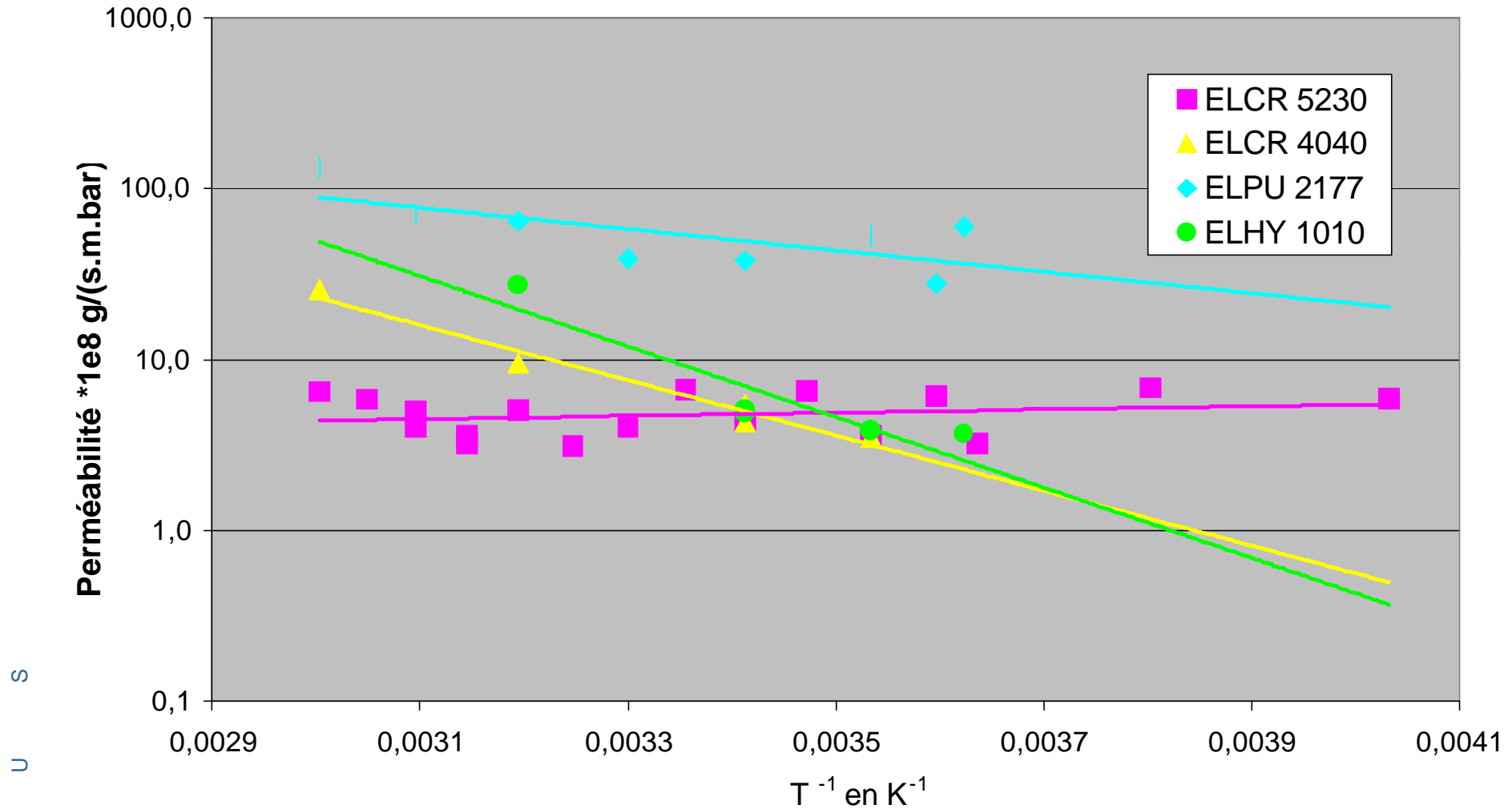
$\frac{P_T^{sat}}{P_T^{sat} - P_{H_2O}}$   
 Le : 24 Mar 1995  
 ELCR 5238  
 Fichier n°84  
 Ep=2.65 mm  
 T =20 °C  
 P =1 bars  
  
 CALCUL avec fonction Ln  
 Tmin:58 h  
 Tmax:225 h  
 F=3.855E-7 g./(m2.s)  
 P=3.458E-8 g/(m.s.bar)

CALCUL avec P=Fn(t)  
 Tmin:58 h  
 Tmax:225 h  
 F=2.774E-7 g./(m2.s)  
 P=1.185E-8 g/(m.s.bar)  
  
 Constante KI/P (en s<sup>-2</sup>) =5.3887E+8  
 P (en s) =1E-8#P (P en g/(m.s.bar))

S  
U  
T



## Loi d'Arrhenius

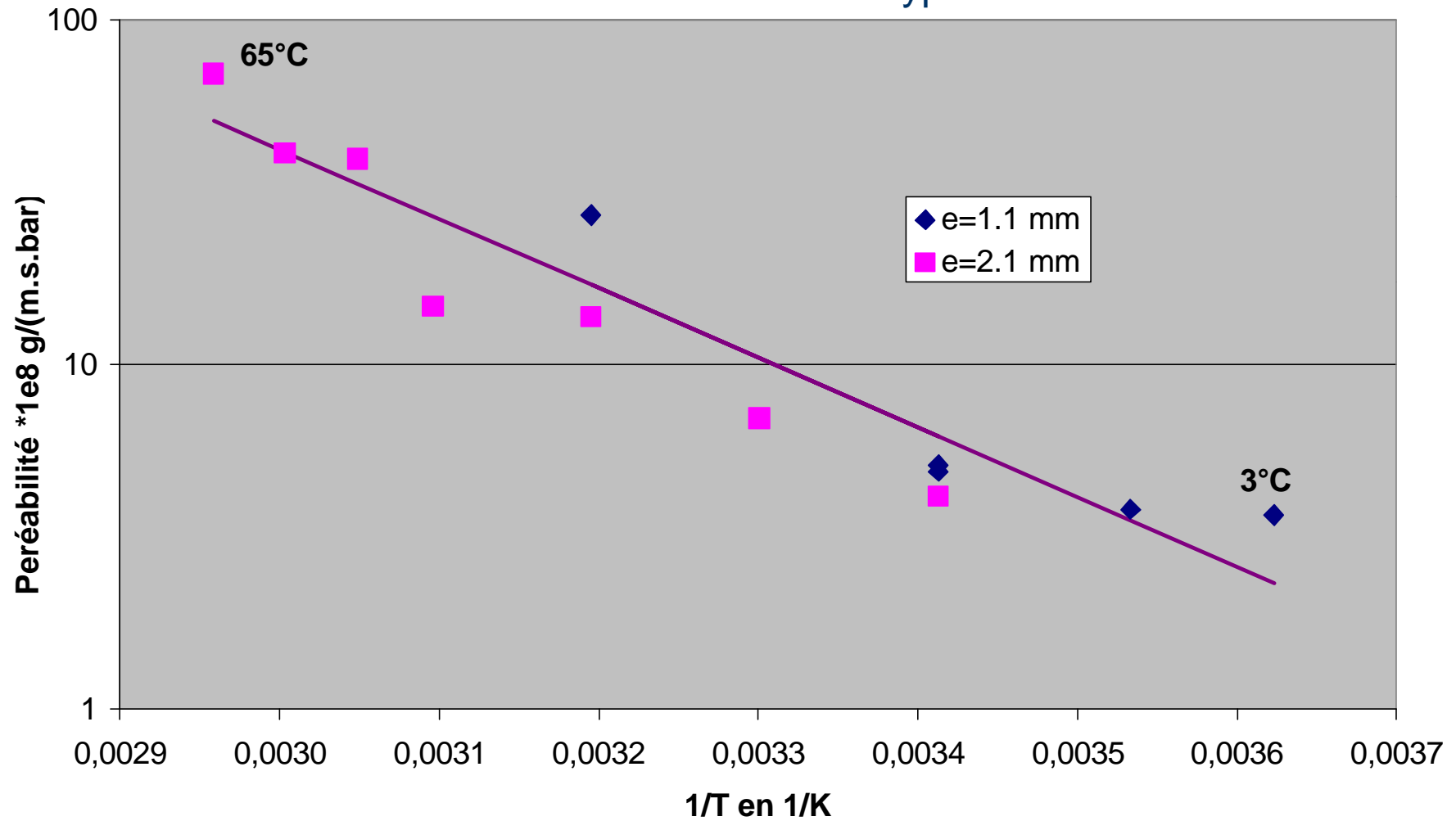


S  
U  
T



## Loi d'Arrhenius

Caoutchouc Hypalon



S

U

T

## Tableau de valeurs



Matériaux	fluide	Permabilité à 20°C *10 <sup>7</sup> g/(m.s.bar)	référence
Chloroprène	H <sub>2</sub> O	0.1 à 1.3	TUS
PU	H <sub>2</sub> O	1 à 5	TUS
PU	H <sub>2</sub> O	0.7 à 2.6	[5]
Caout. nitrile	H <sub>2</sub> O	1 à 2	TUS
Caout Hypalon	H <sub>2</sub> O	0.5	TUS
Naturel rubber	H <sub>2</sub> O	2.5	TUS
Naturel rubber	H <sub>2</sub> O	1.7	[3]
Caout. butyl	H <sub>2</sub> O	0.73	[3]
Caout. butyl	H <sub>2</sub> O	0.9	[4]
Chloroprène	O <sub>2</sub>	0.022	[3]
Naturel rubber	O <sub>2</sub>	0.13	[3]

S

D

T



## Bibliographie :

- [1] Normes AFNOR , ASTM citées
- [2] J. Tallon : contrôle industriel de l'étanchéité par traceur hélium. Société Française du vide
- [3] Polymer Permeability ed by J. COMYN Elsevier Applied Science London
- [4] Handbook of sonar transducer passive materials
- [5] M. A. Spivack. Determination of the water Vapor Permeability and continuity of ultrathin parylene membranes. J. Electrochem Soc. Nov 1969



## Bibliographie :

### Autres normes AFNOR

ISO 15105-1 :2002 détermination du coefficient de transmission d'un gaz : partie 1  
Film et feuille : détermination du coefficient de transmission  
d'un gaz. Méthode en pression différentielle.

ISO 15105-2 :2002 détermination du coefficient de transmission d'un gaz : partie 2  
Film et feuille : détermination du coefficient de transmission  
d'un gaz. Méthode isobarique (détecteur coulométrique ou  
chromatographie)

ISO 2556 : 1974 détermination du coefficient de transmission d'un gaz par les  
feuilles et plaques minces, sous pression atmosphérique.  
Méthode manométrique

ISO 9932 : 1990 papier et carton. Détermination du coefficient de transmission  
de la vapeur d'eau des matériaux en feuille. Méthode  
dynamique par balayage de gaz et méthode statique.

s

D

F



## Définitions :

- Taux de transmission d'un gaz = flux : quantité de gaz transmise à travers une unité de surface d'une éprouvette par unité de temps et dans des conditions spécifiées de T, d'HR et épaisseur ( $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )
  
- Perméance : rapport du taux de transmission à la différence de pression du gaz entre les 2 faces de l'éprouvette ( $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$ )
  
- Résistance à la vapeur d'eau : inverse de la perméance
  
- Perméabilité : quantité de gaz transmise à travers une surface par unité de temps, de pression et d'épaisseur.

s

D

T