

# Propriétés thermo-physiques de deux silices pyrogénées micro-nano-poreuses : effet de l'humidité et de la température

**Daniel QUENARD**

**Centre Scientifique et Technique du Bâtiment**

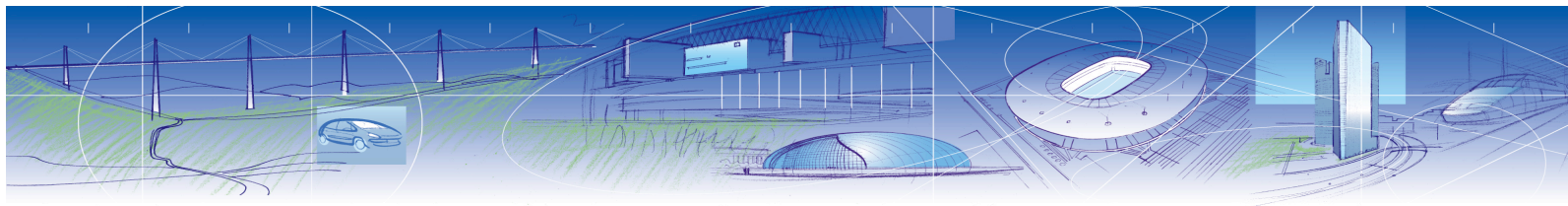
Département Enveloppe et revêtements

Division Caractérisation Physique des Matériaux

Tel : 04 76 76 25 46

Courriel : [quenard@cstb.fr](mailto:quenard@cstb.fr)

*Journée Thématique - SFT – La Thermique des Matériaux Nanoporeux  
27 janvier 2004 – Paris*



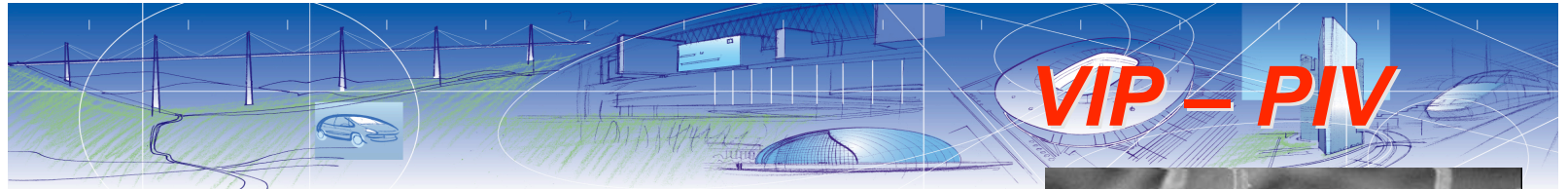
- **Les résultats présentés dans cette communication ont été obtenus dans le cadre de trois projets :**
  - **Etude ADEME-EDF-CSTB sur les silices nanoporeuses**
  - **Projet Européen VIP-PSS**
    - **(Vacuum Insulation Panel – Product & Service System )**
  - **Annexe 39 IEA (International Energy Agency )**
    - **HIPTI : High Performance Thermal Insulation**
      - ( [www.ecbcs.org/Annexes/annex39.htm](http://www.ecbcs.org/Annexes/annex39.htm) )
  
- **Remerciements :**
  - **B. Yrieix : EDF**
  - **S. Kherrouf : ADEME**
  - **H. Sallée - C. Pompéo - FD. Menneteau : CSTB**

## Propriétés Hygrothermiques

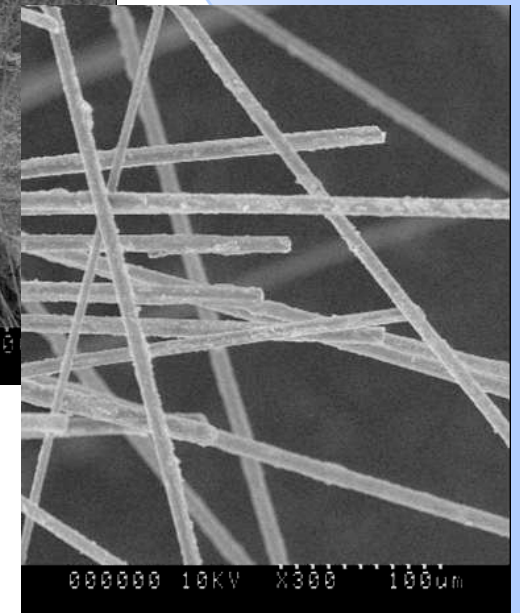
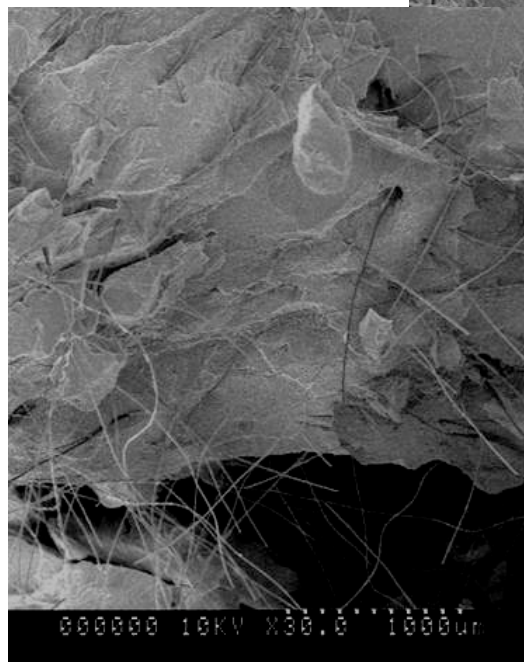
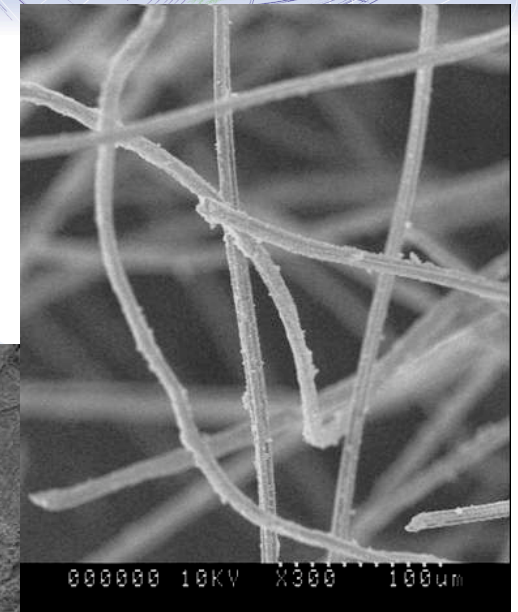
- Porosité – Densité - Surface Spécifique
- Distribution Taille de Pores
- Adsorption Vapeur d'Eau
- Conductivité Thermique / Pression - Humidité - Température

PIV : Panneau Isolant sous Vide

VIP : Vacuum Insulation Panel

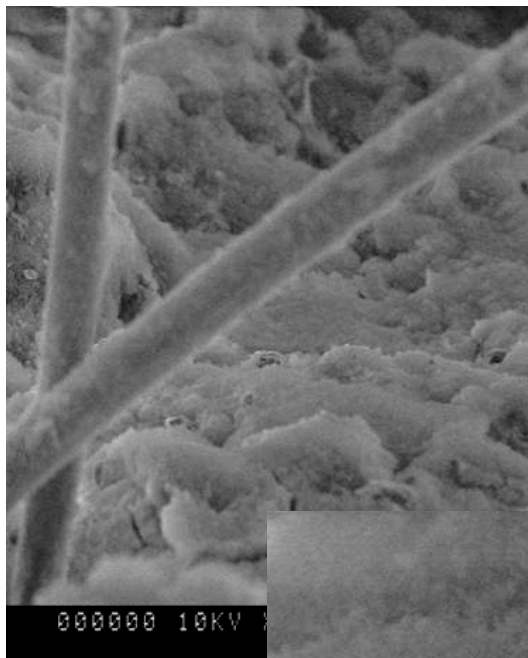


source : [www.vip-bau.ch](http://www.vip-bau.ch)

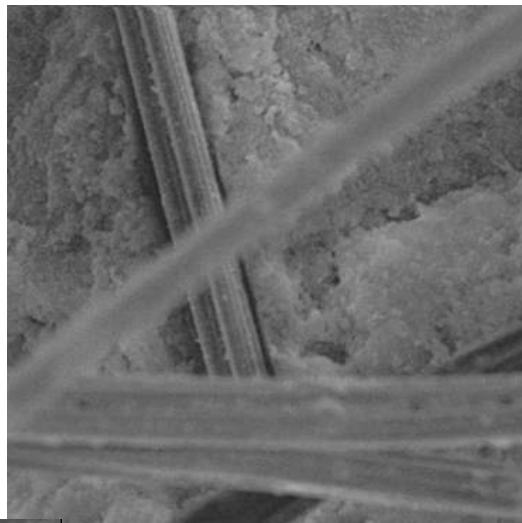


**MW, PSE**  
= 35 - 40 mW/mK

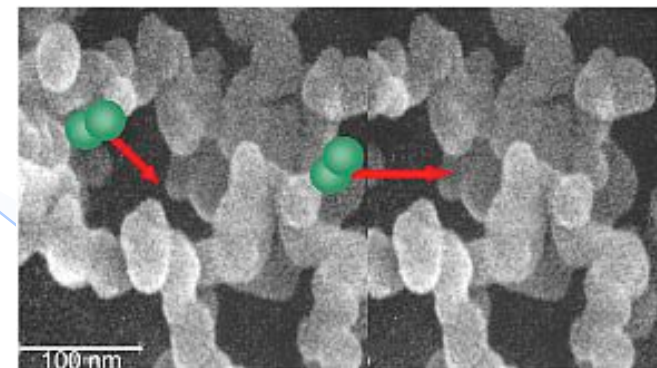
**VIP**  
VIP = 5 - 10 mW.mK



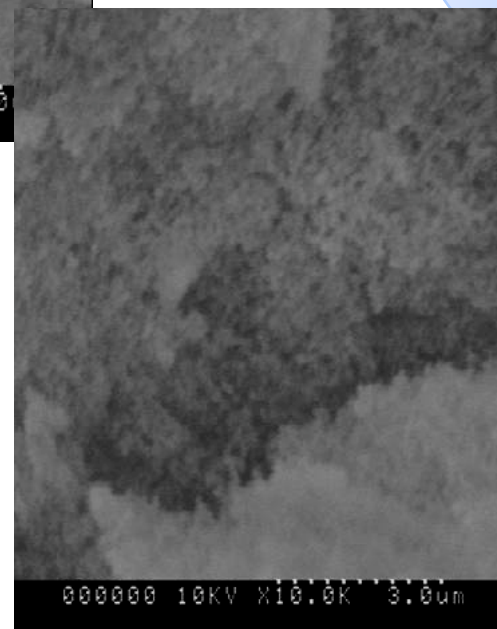
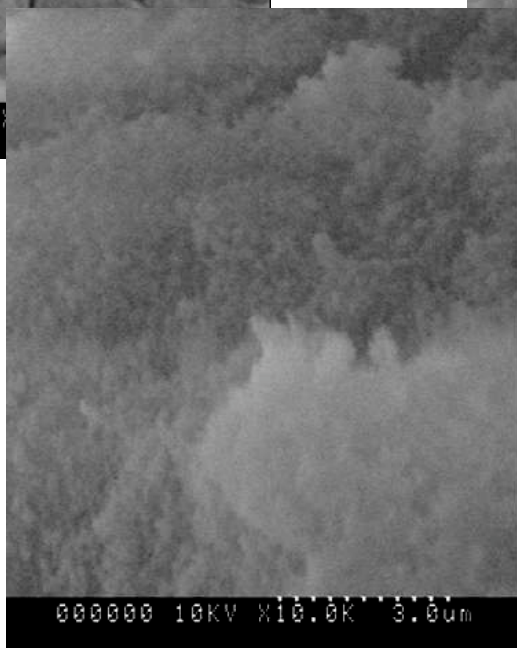
source : CSTB

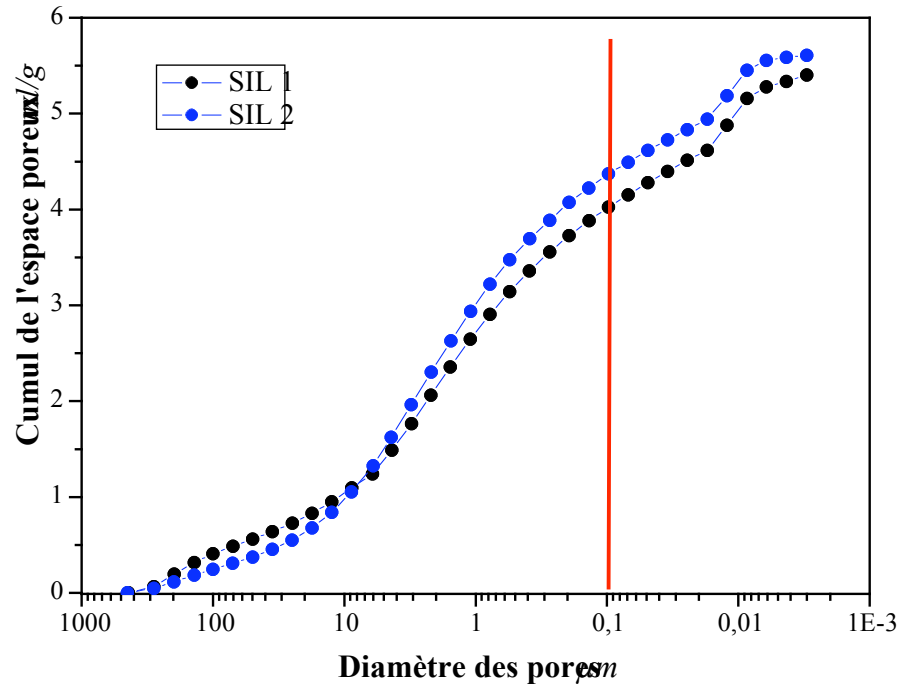


source : CSTB

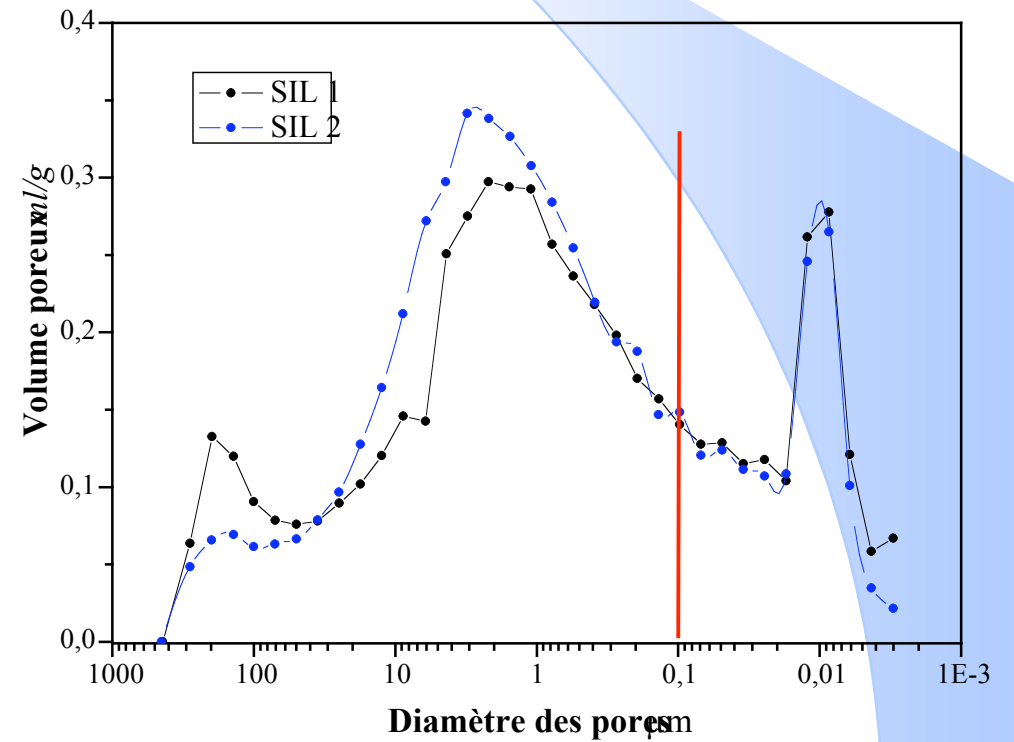


source : [www.empa.ch](http://www.empa.ch)





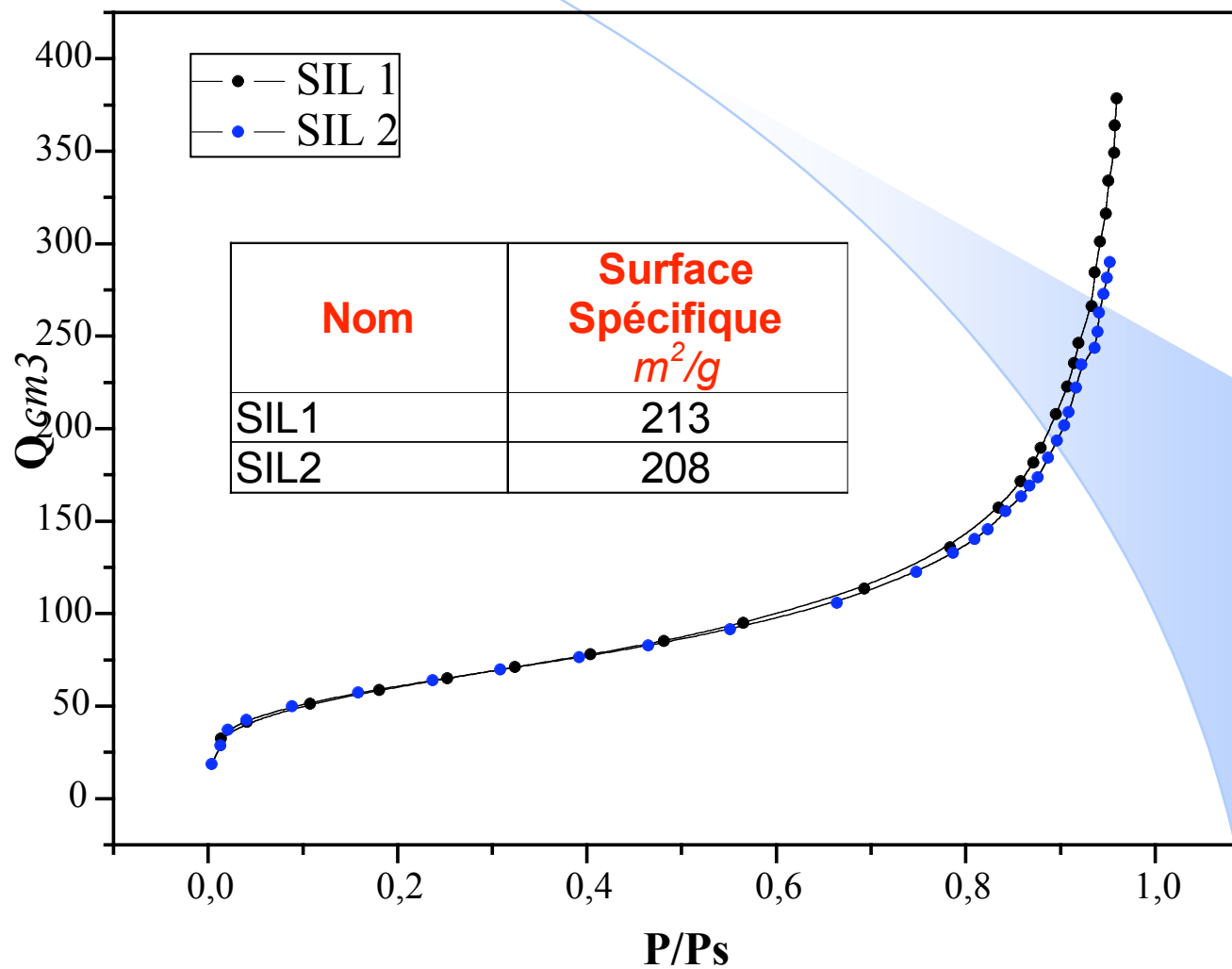
## Porosimétrie au mercure



## Pycnométrie – Porosimétrie Mercure

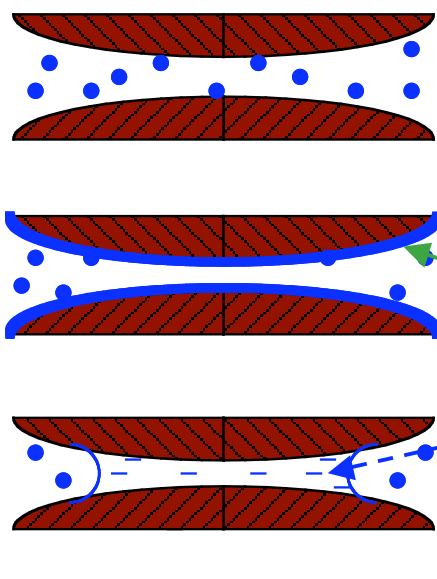
<b>Nom</b>	<b>Masse Volumique <i>kg/m<sup>3</sup></i></b>	<b>Total Porosité %</b>	<b>Masse Vol. Squelette <i>kg/m<sup>3</sup></i></b>
<b>Porosimétrie au Mercure</b>			
<b>SIL 1</b>	175	95	3340
<b>SIL 2</b>	162	91	1764
<b>Pycnométrie</b>			
<b>SIL 1</b>	192	93	2578
<b>SIL 2</b>	162	94	2454

**Méthode BET**  
**Adsorption N<sub>2</sub>**

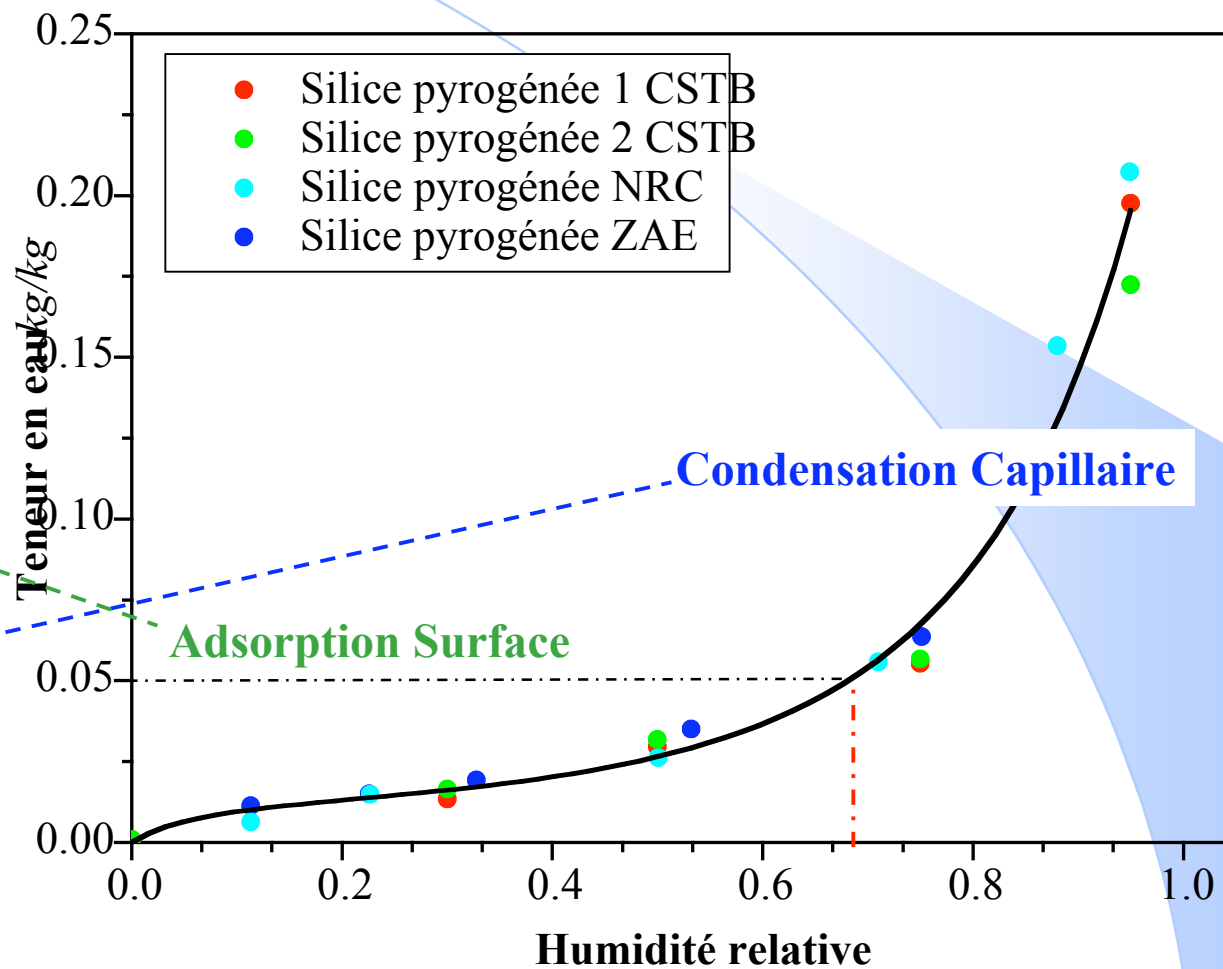




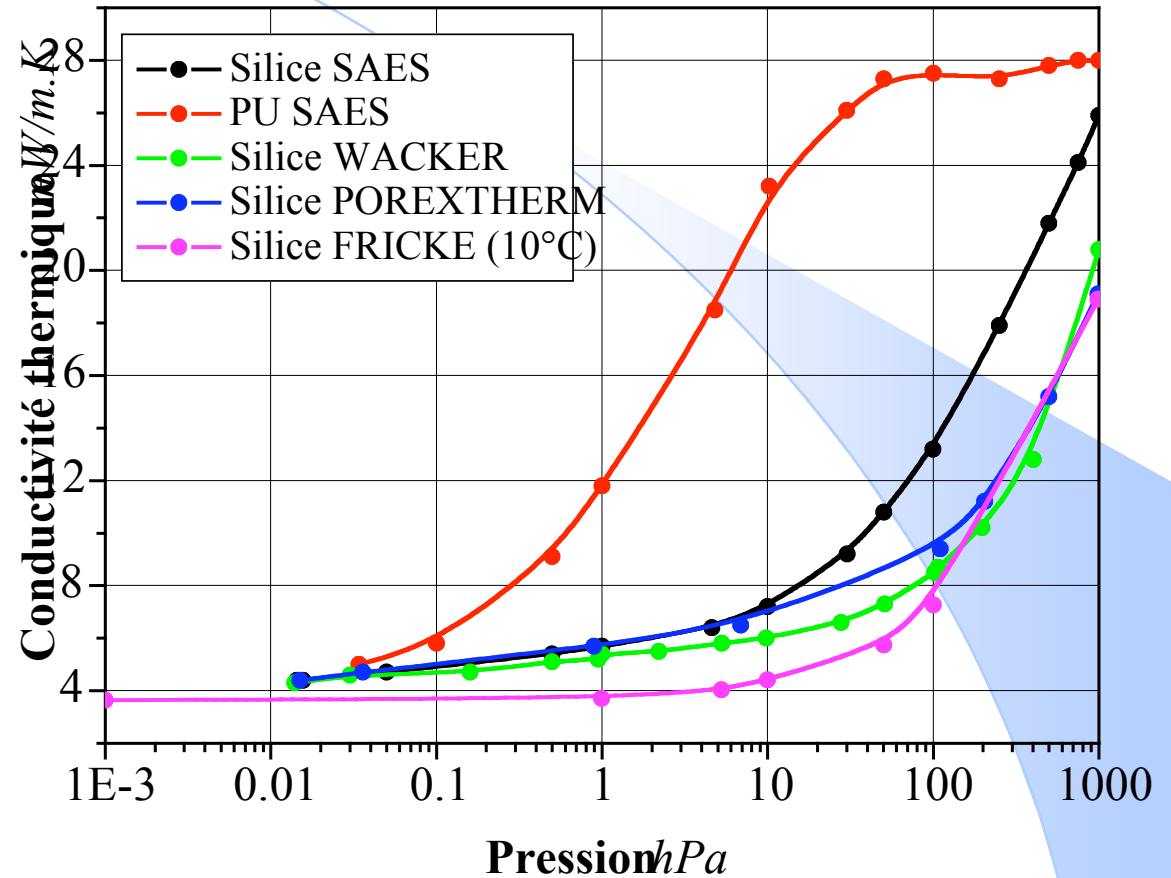
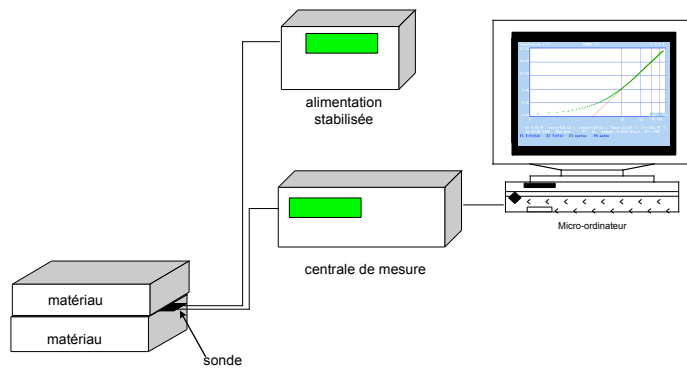
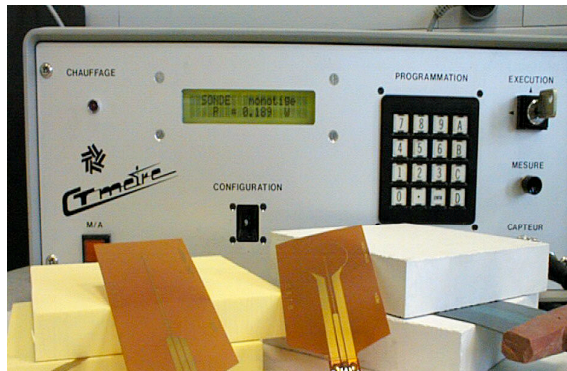
● molécule d'eau  
dans les pores



HR augmente



**Méthode de la sonde thermique**

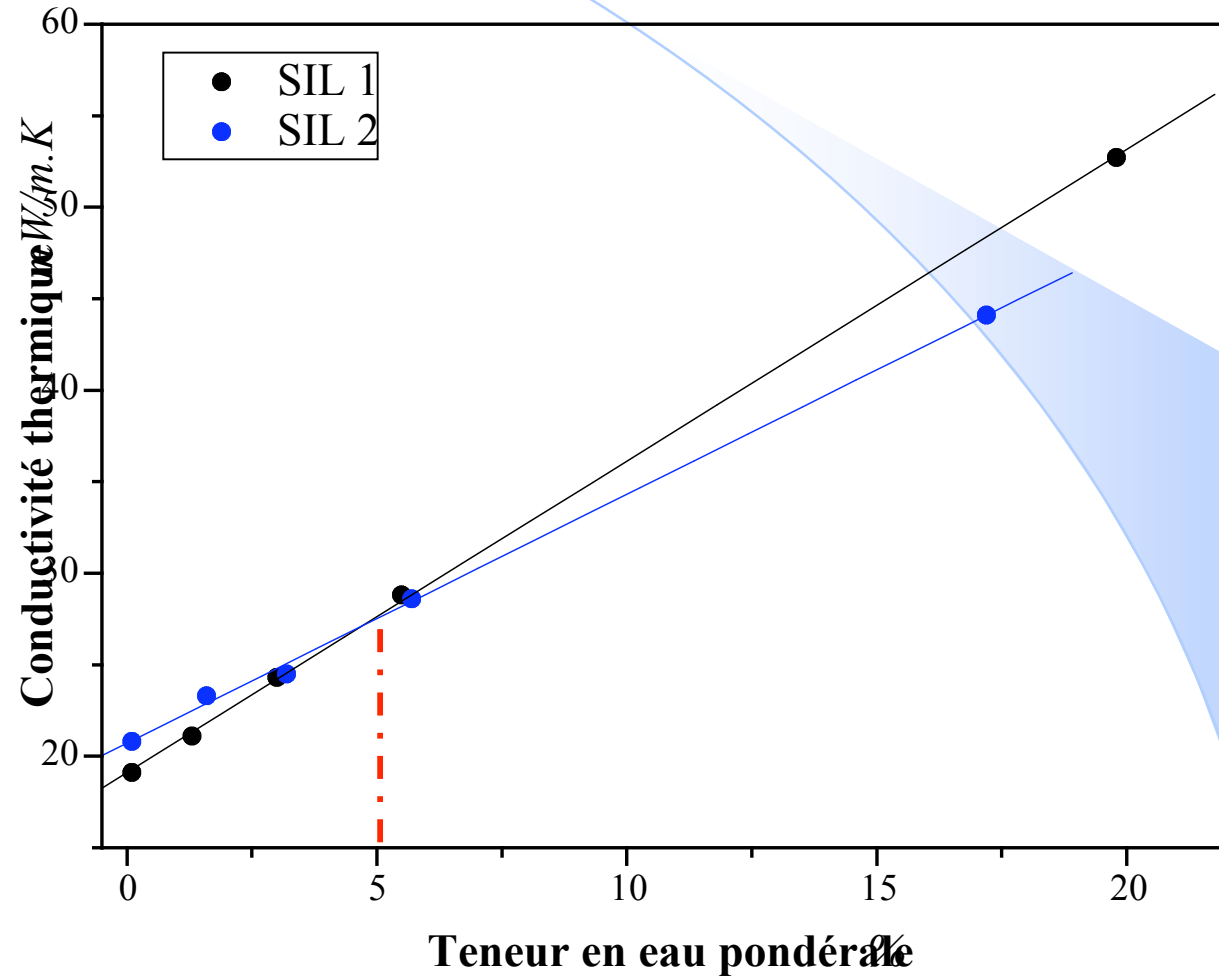


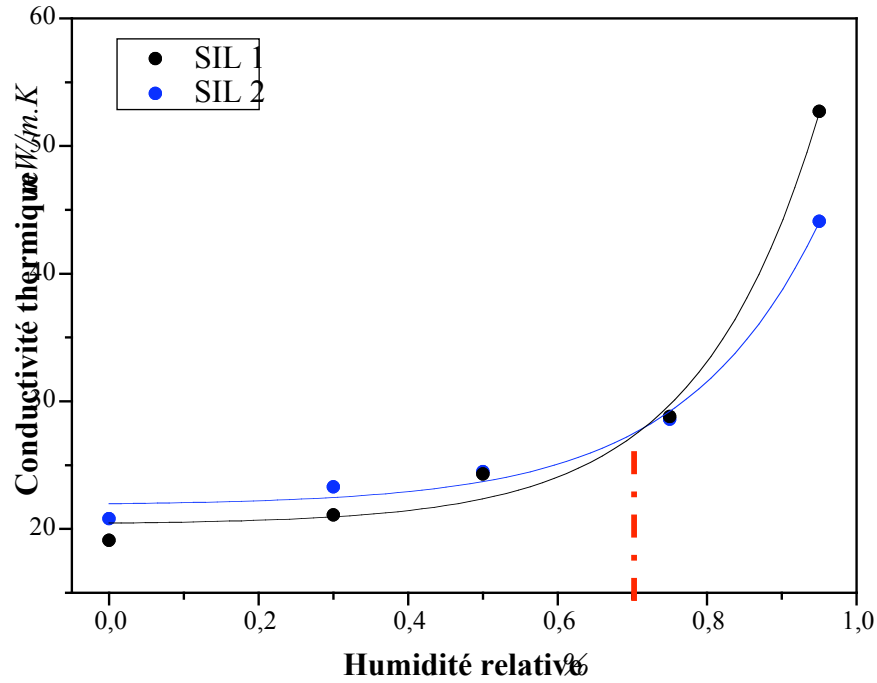
**Confinement (Effet Knudsen) : taille des cavités <  $l_m$  libre parcours moyen - < 0,1  $\mu\text{m}$  (air)**  
**Basse Pression**

Température : 23 °C  
Pression atmosphérique

$$k = k_s + A \cdot w$$

w : teneur en eau



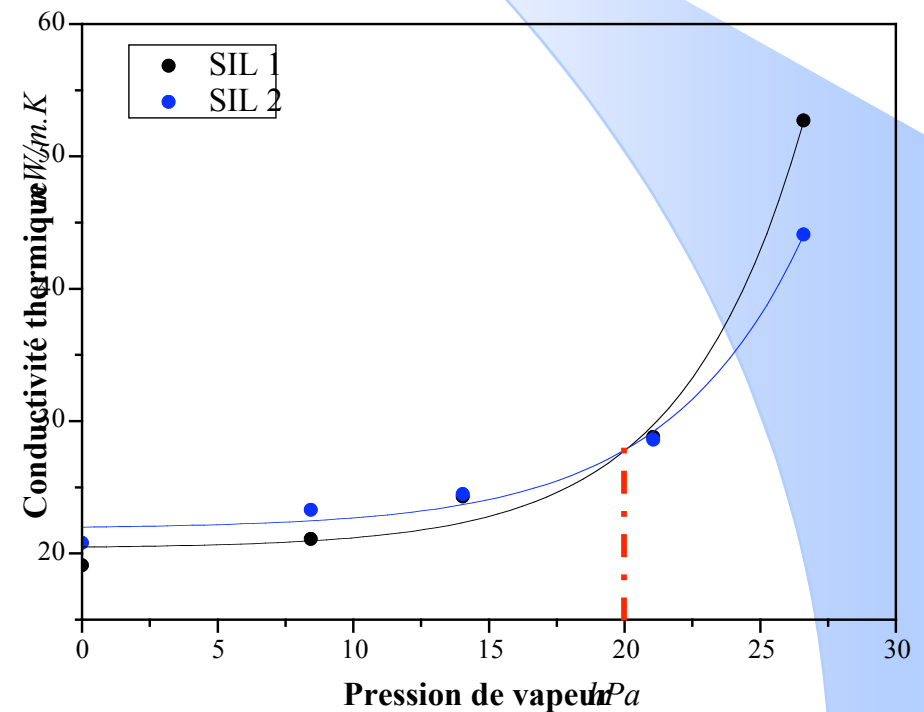


$$= s + A e^{B HR}$$

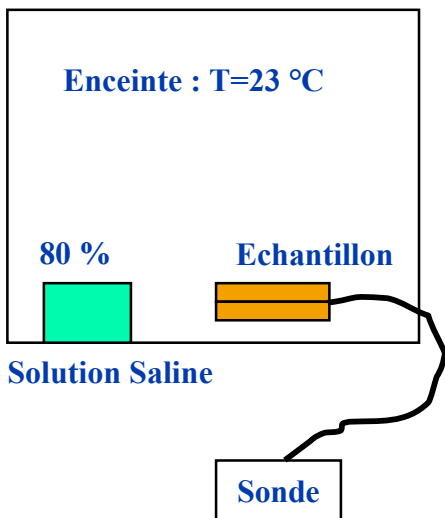
**T=23°C – HR = 70 % - Pv = 20 hPa**

**Température : 23 °C  
Pression atmosphérique**

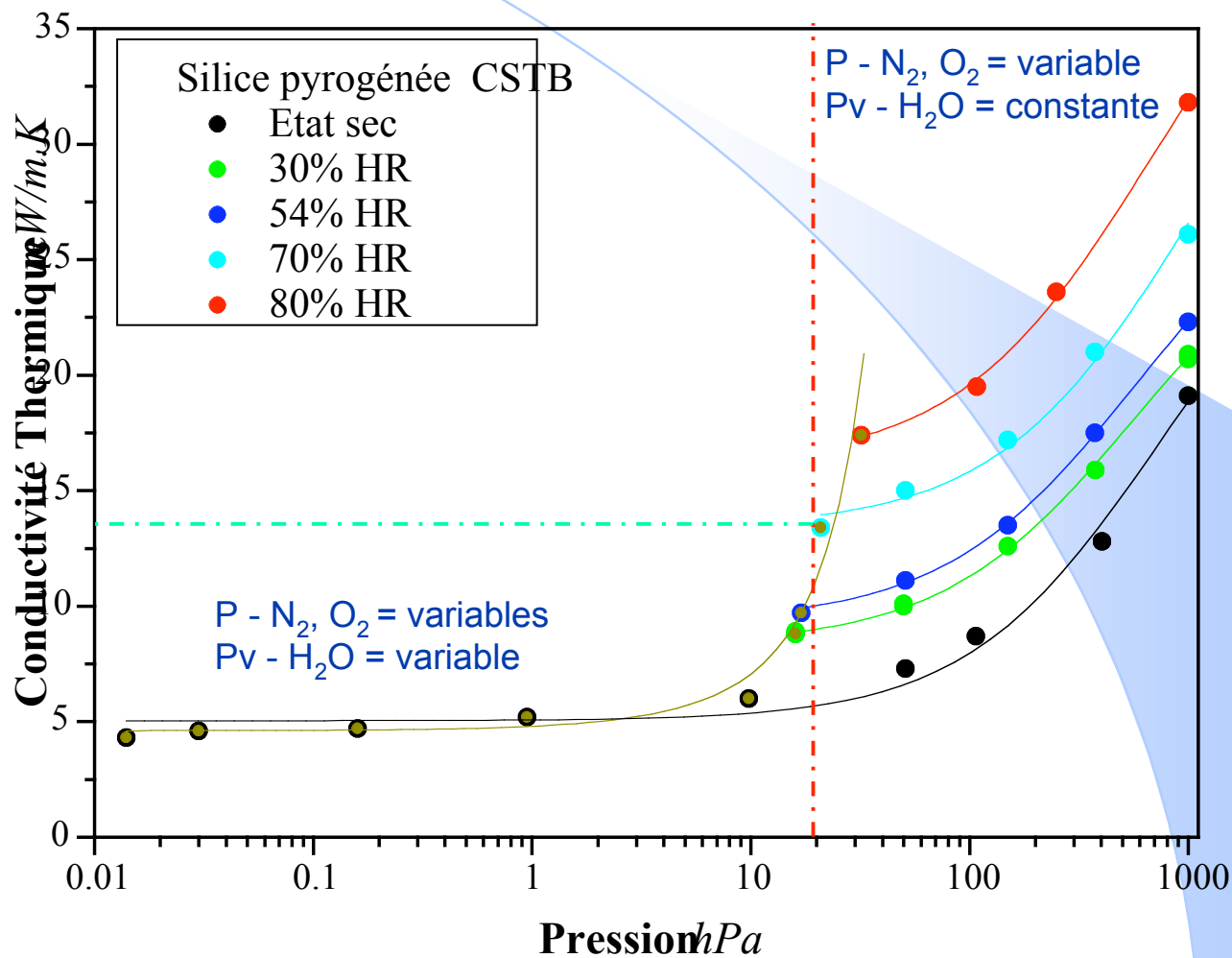
$$= s + A e^{B P_v}$$



HR %	Pression de Vapeur hPa
30	8,43
54	15,17
70	19,66
80	22,47
100	28,08



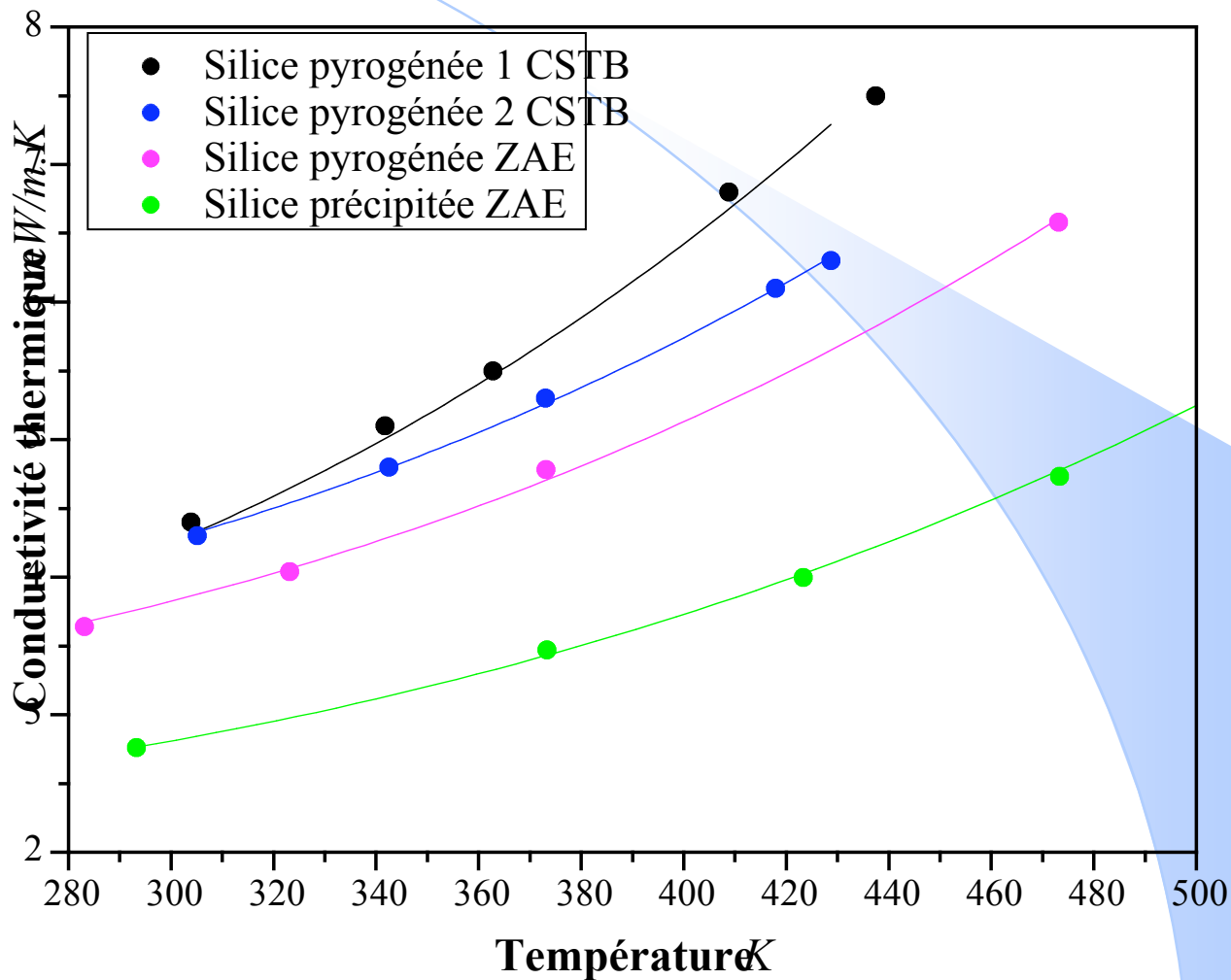
Température : 23 °C



Température : 23 °C  
Pression ~ 10<sup>-2</sup> mbar

$$r = \frac{16}{3} \frac{T^3}{E}$$

5000 < E < 12000 m<sup>-1</sup>



**Conductivité effective**

$$e = s_{+g} + r$$

**Porosité :**

**Confinement :**

**Basse Pression : P**

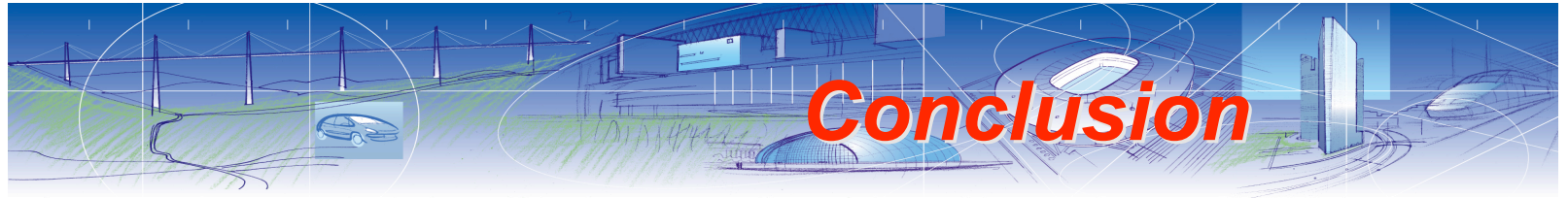
**Eau Adsorbée : P<sub>v</sub>**

$$s_{+g} = \left( 1 - \frac{g_0}{1 + C \frac{T}{P}} \right) \left( s_0 + A e^{B P_v} \right)$$

**Rayonnement : T**

$$r = \frac{16}{3} \frac{T^3}{E}$$

- : porosité
- : taille des pores
- P : Pression
- P<sub>v</sub> : Pression de Vapeur
- T : température
- A, B, C : constantes
- Indices
- s : solide
- g<sub>0</sub> : gaz non confiné (air)
- g : gaz (air)
- e : effective
- s<sub>0</sub> : solide basse pression P < 0,01 hPa



- Silices Micro-Nano Poreuses sont de bons candidats pour réaliser des VIP.
- Conductivité Thermique proche de **5 mW/m.K** à une pression de 10 hPa (0,01 bar). Avec une pression initiale de 0,01 hPa, il existe une marge de sécurité ... qui dépendra de l'étanchéité de l'enveloppe (films + soudure).
- **Matériaux très sensibles à l'humidité** à cause de leur grande surface spécifique et de la finesse de leur porosité. Protection vis-à-vis des fortes humidités indispensable.