

# Mesures du transfert radiatif à très courtes distances.

*Très près, il fait très chaud!*

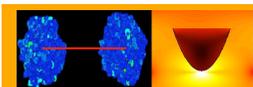
---

E. Rousseau, J-J Greffet Institut d'optique Graduate School

S. Volz LIMMS, UMI CNRS University of Tokyo, EM2C

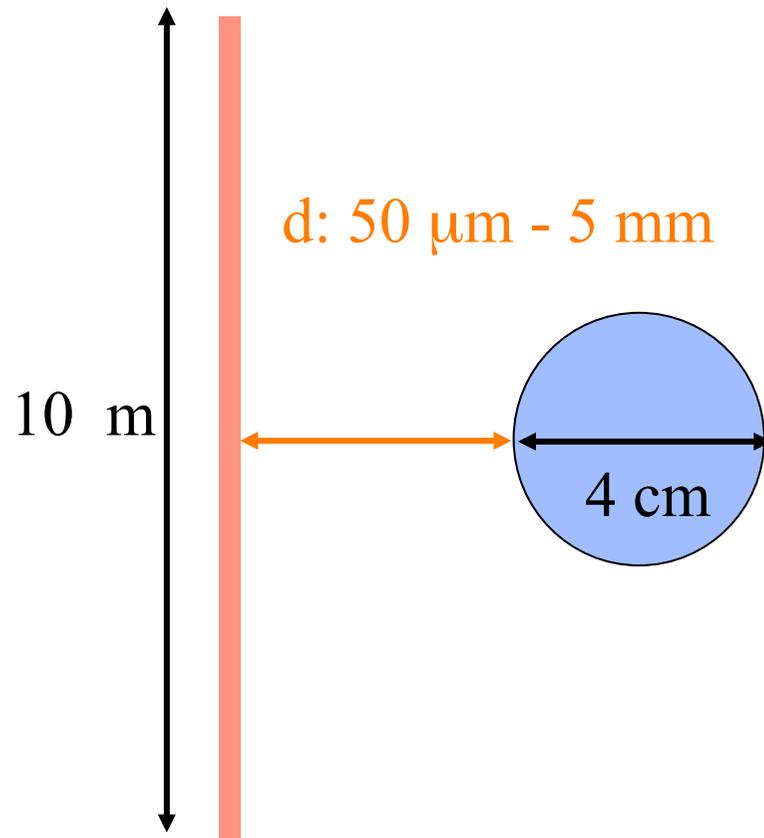
A. Siria, J. Chevrier Institut Néel-CNRS Grenoble

F. Comin ESRF Grenoble



[Emmanuel.rousseau@institutoptique.fr](mailto:Emmanuel.rousseau@institutoptique.fr)

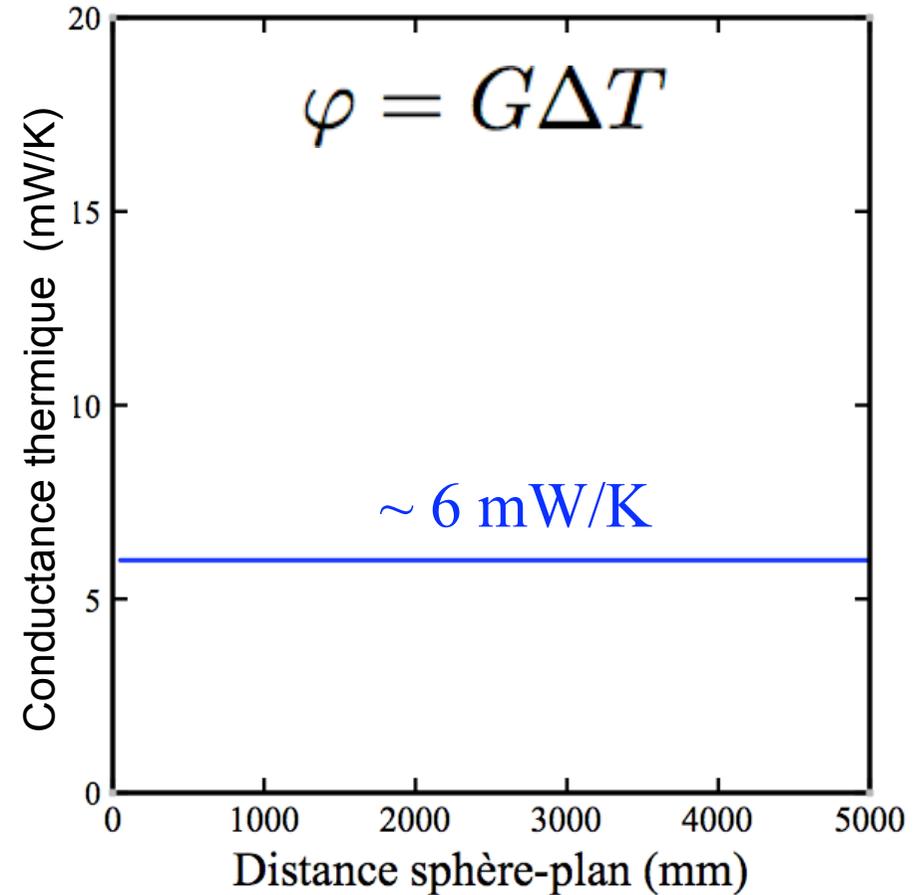
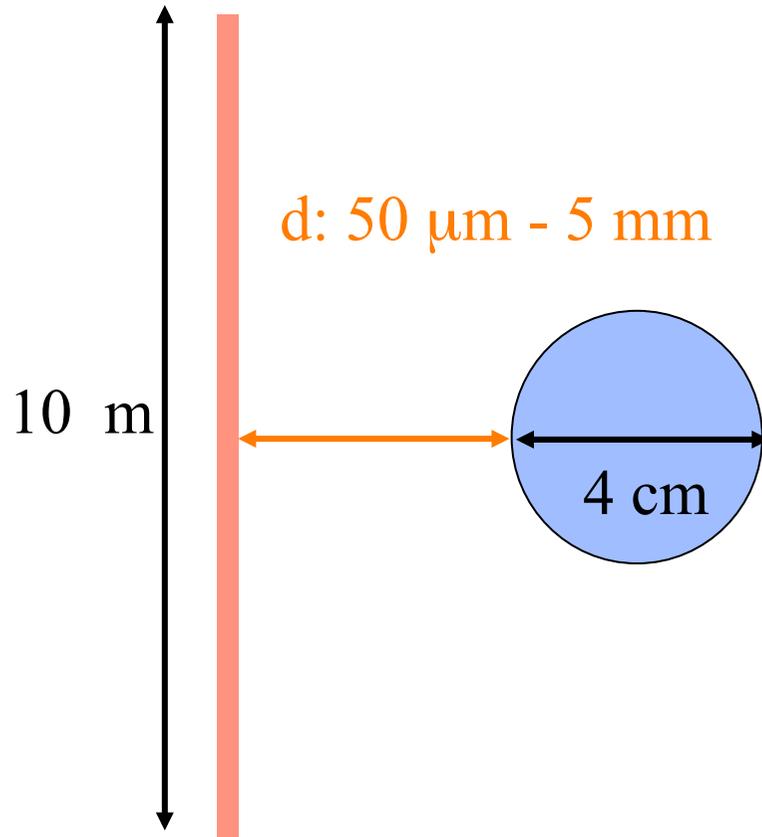




Sphère et plan en verre

Plan chauffé par rapport à la sphère  $\Delta T = 1 \text{ K}$

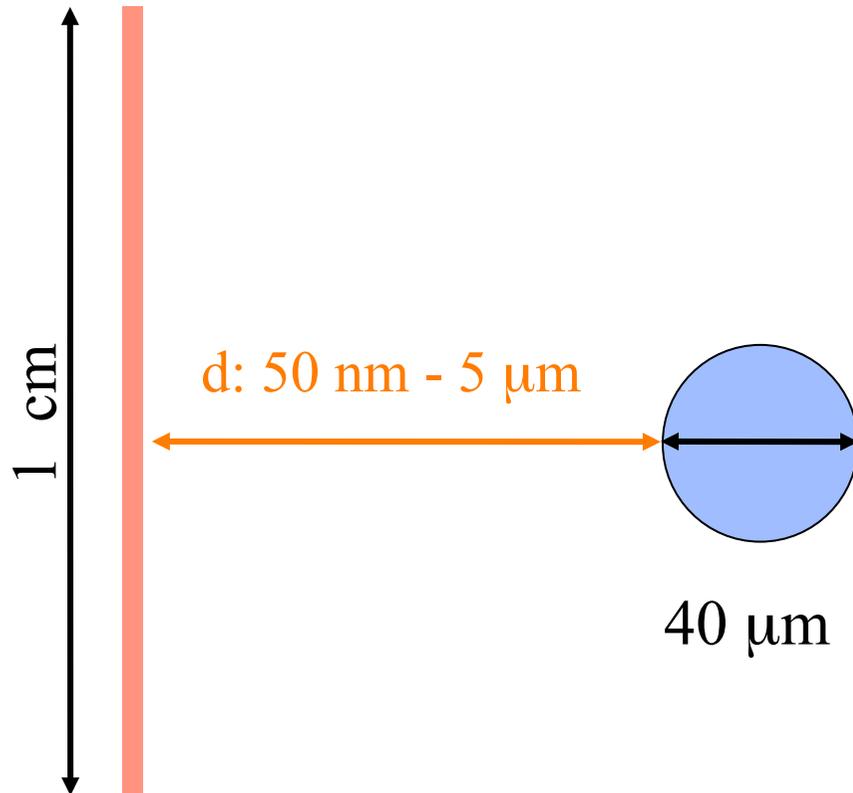
# Transfert radiatif entre une sphère et un plan



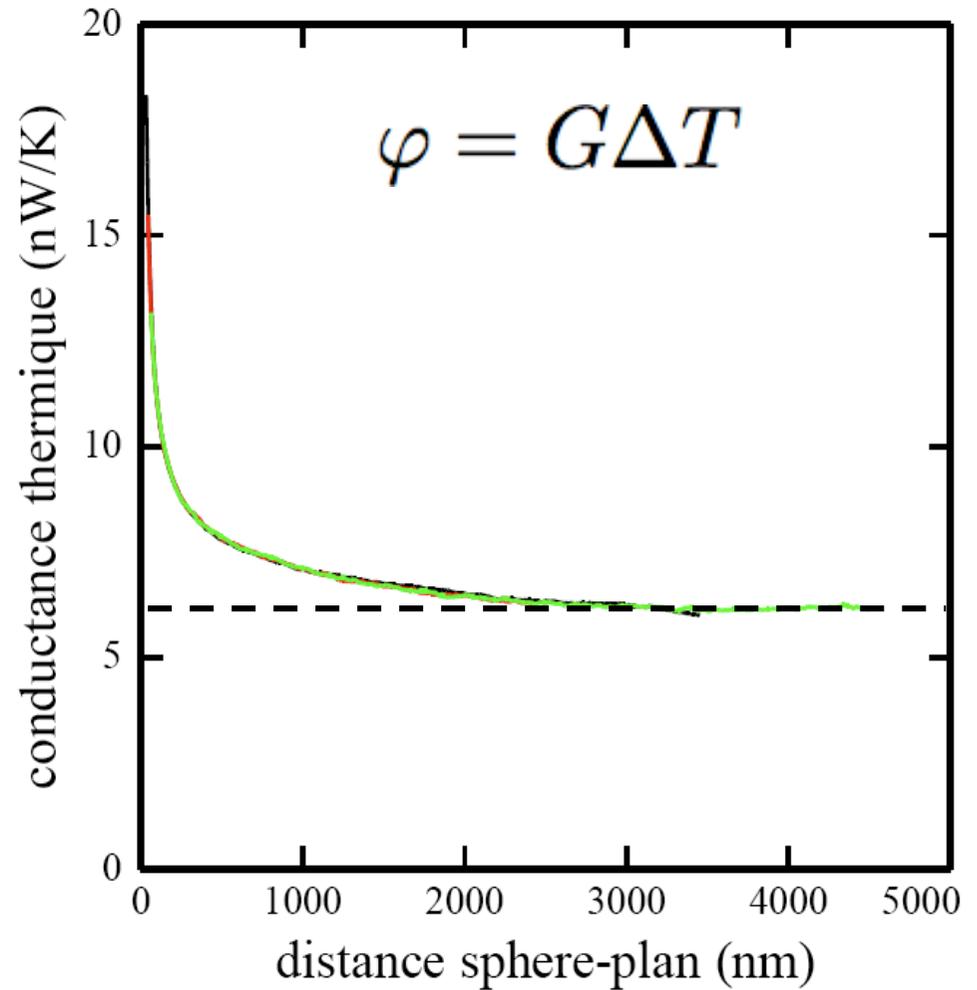
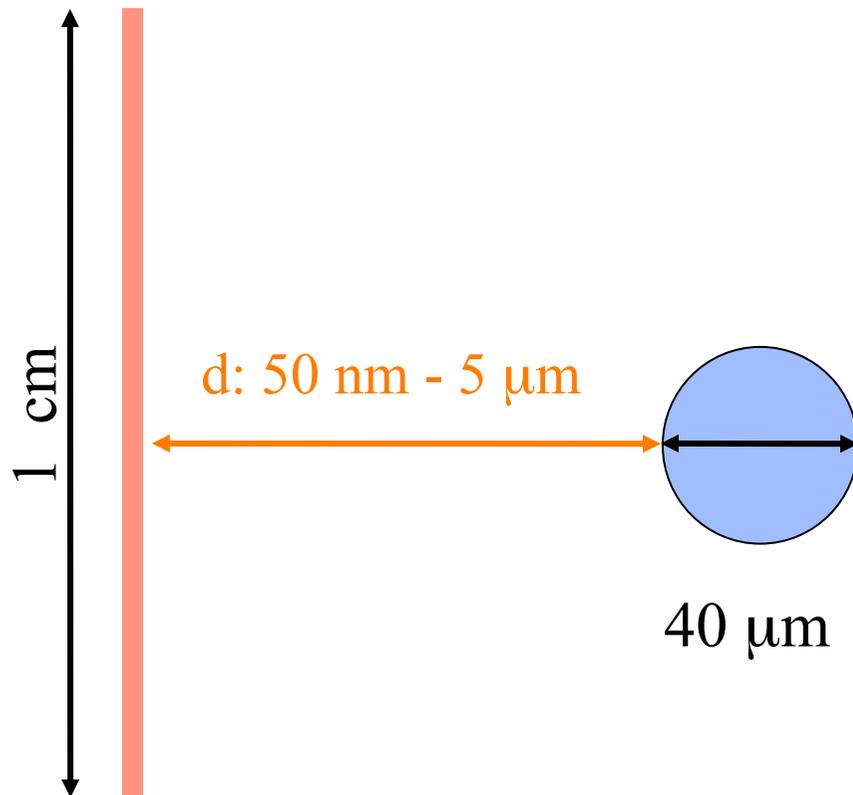
Sphère et plan en verre

Plan chauffé par rapport à la sphère  $\Delta T=1 \text{ K}$

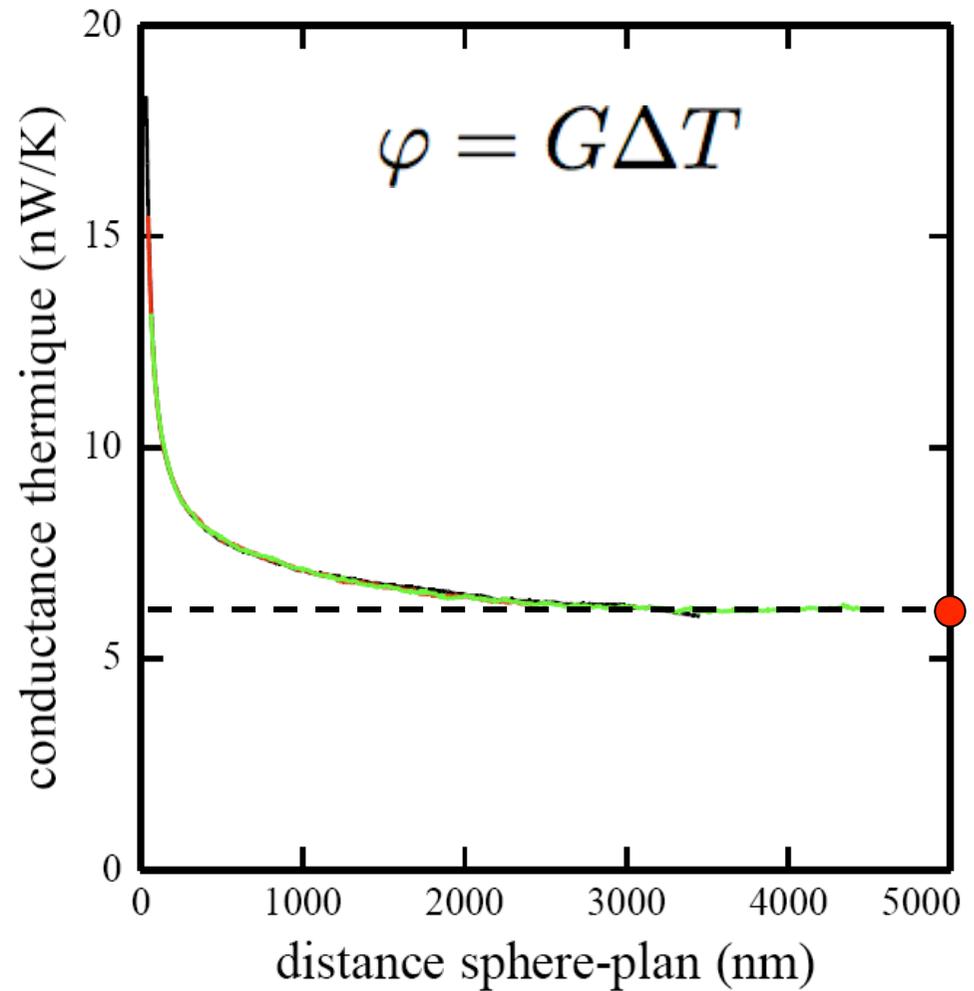
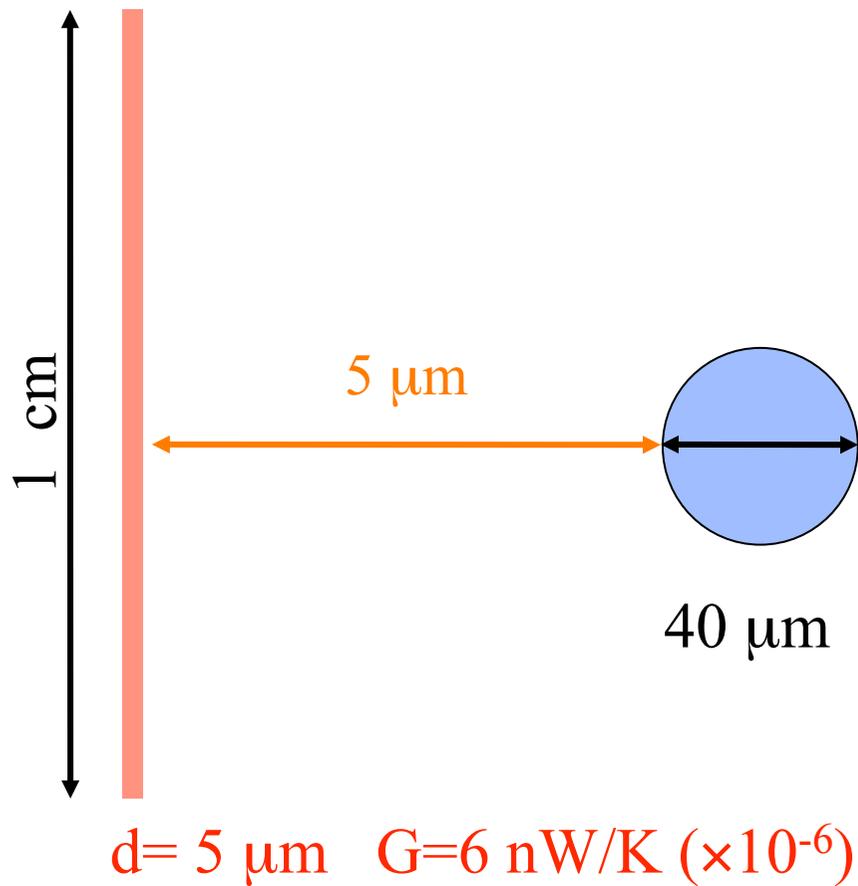
# Transfert radiatif entre une sphère et un plan: diminution d'un facteur mille.



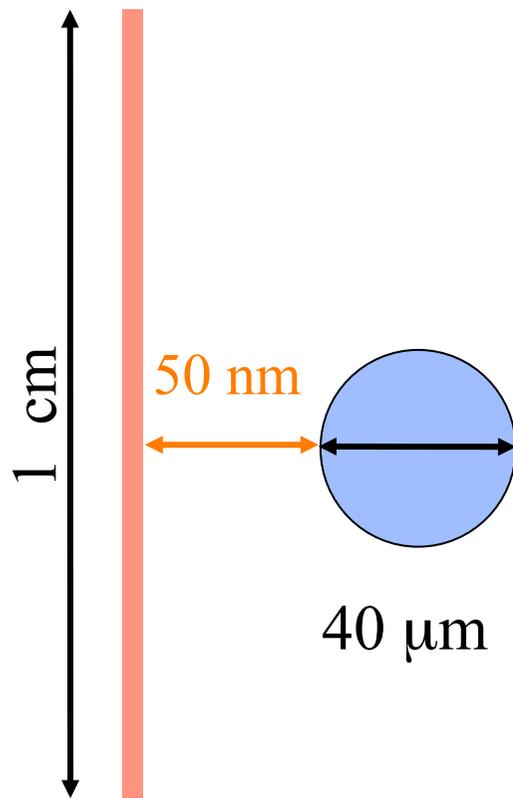
# Transfert radiatif entre une sphère et un plan: diminution d'un facteur mille.



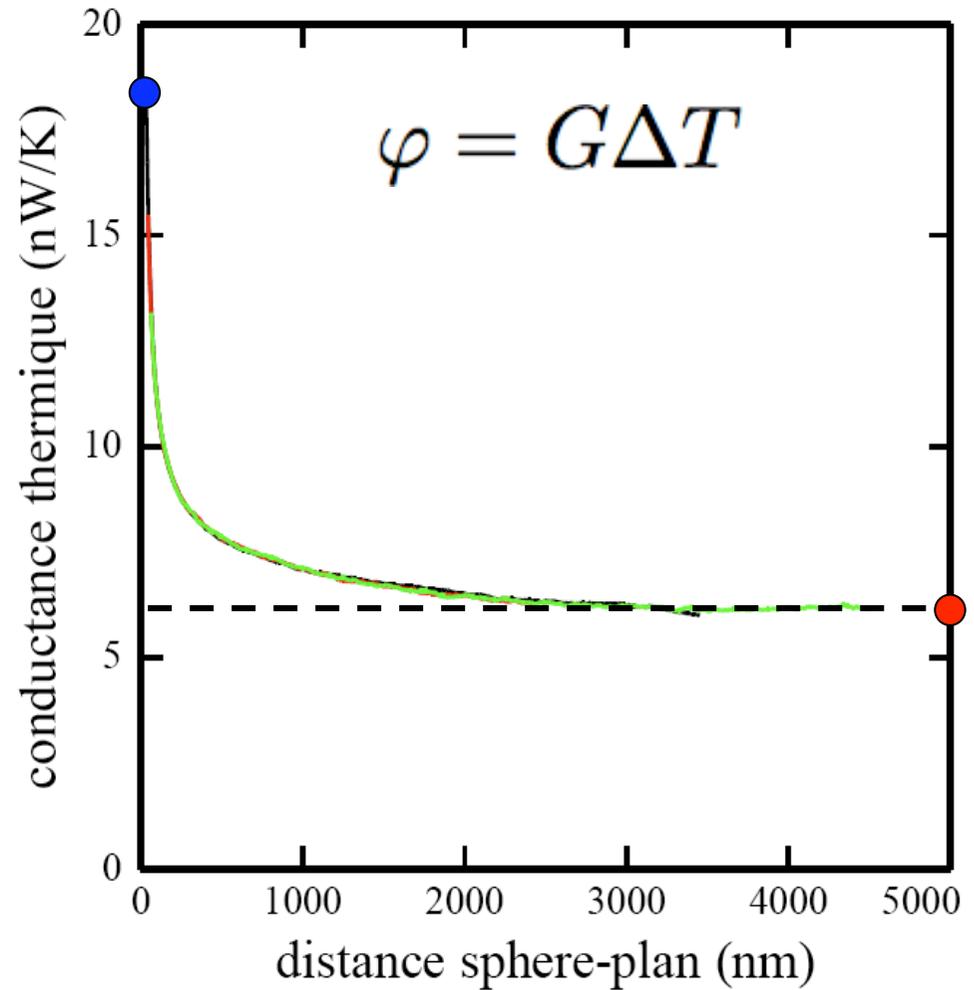
# Est-ce significatif?



## Est-ce significatif?

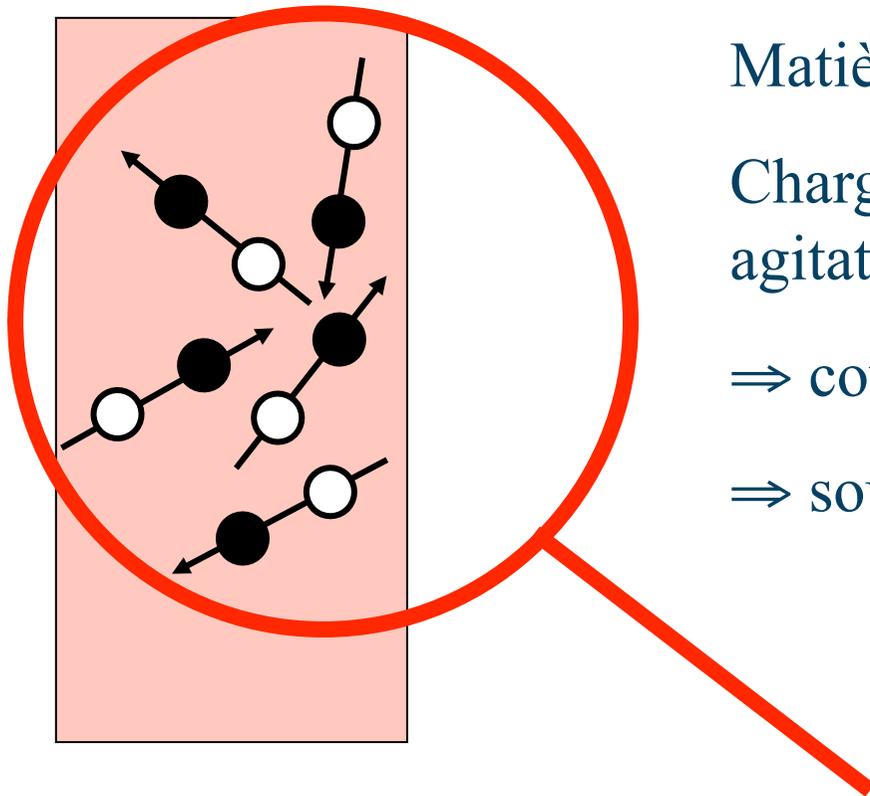


$d = 5 \mu\text{m}$   $G = 6 \text{ nW/K}$   
 $d = 50 \text{ nm}$   $G = 18 \text{ nW/K}$   $\times 3$



Ce n'est pas le facteur de forme!

# Origine du rayonnement thermique.

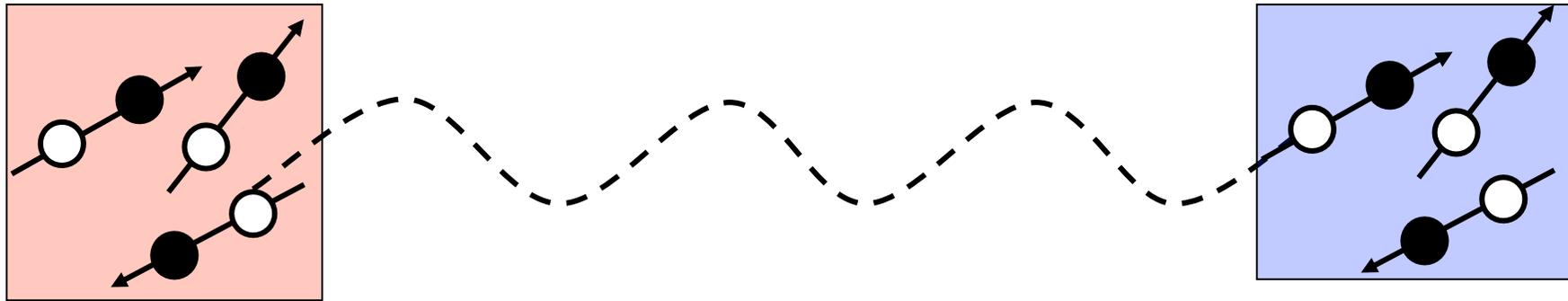


Matière:

Charges électriques  
agitation thermique

⇒ courants fluctuants:

⇒ sources du champ électromagnétique

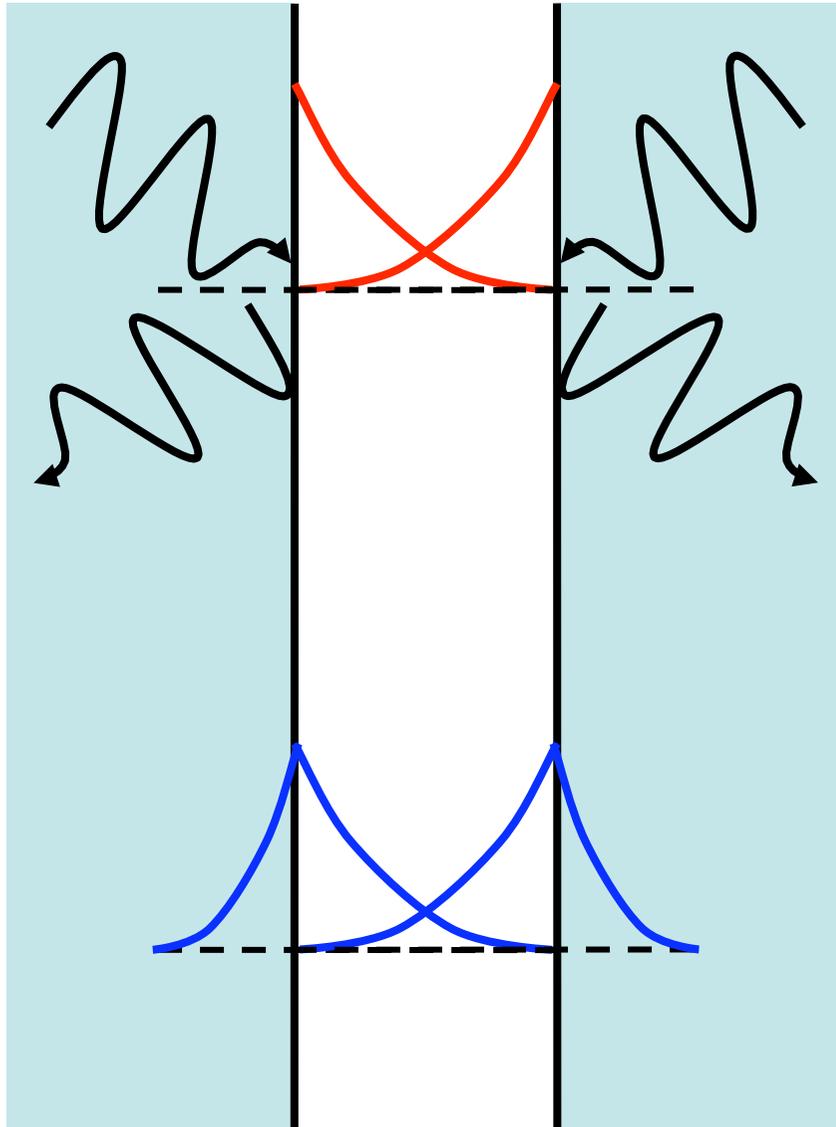


Énergie échangée par émission et absorption de photons

Transfert thermique est indépendant de la distance

Puissance échangée est donnée par la loi de Stefan-Boltzmann

# Transfert d'énergie via les ondes évanescentes.



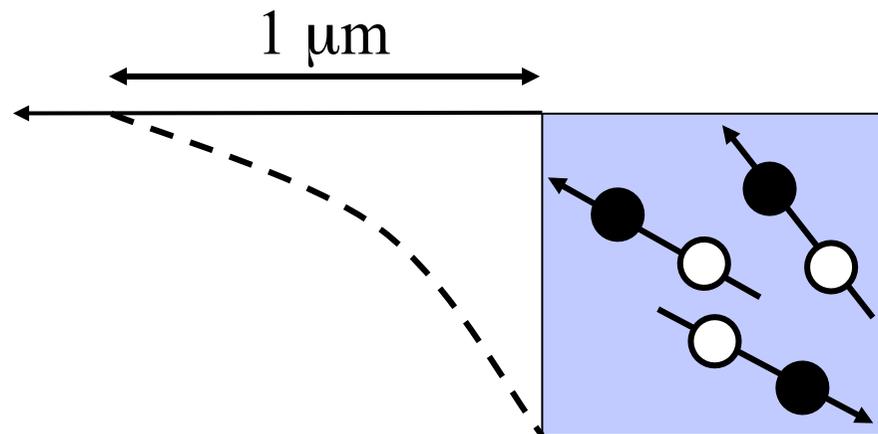
Énergie échangée par le couplage des ondes évanescentes:

Transfert thermique dépend de la distance

Puissance échangée n'est plus donnée par la loi de Stefan-Boltzmann

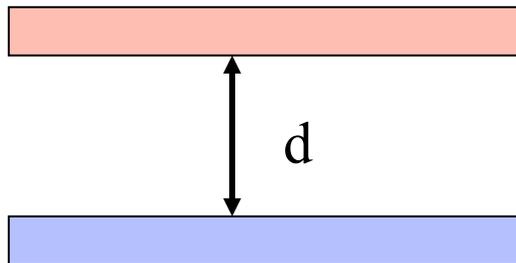
Théorie de 1971: augmentation de plusieurs ordre de grandeur.

# Ondes évanescentes



Extension des ondes évanescentes:  $\sim 1 \mu\text{m}$  @ 300 K

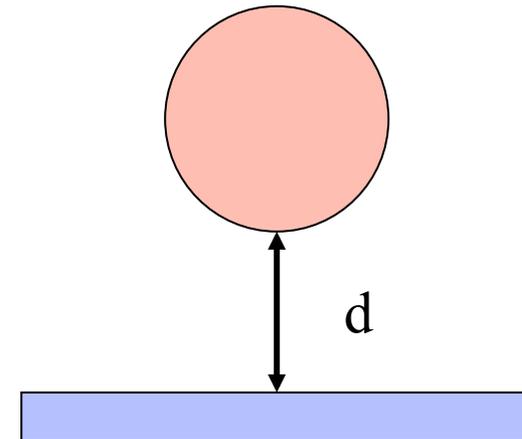
# Configuration expérimentale



Plan-Plan

Difficile Parallélisme

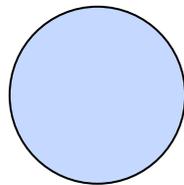
Résultat théorique exact



Plan-sphère

Géométrie est mieux maîtrisée

Pas de théorie exacte



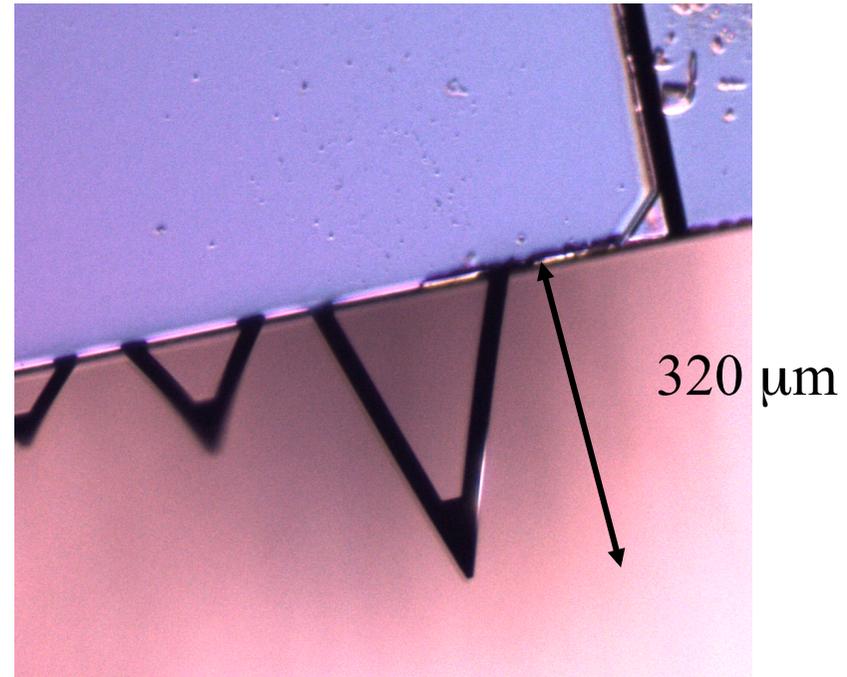
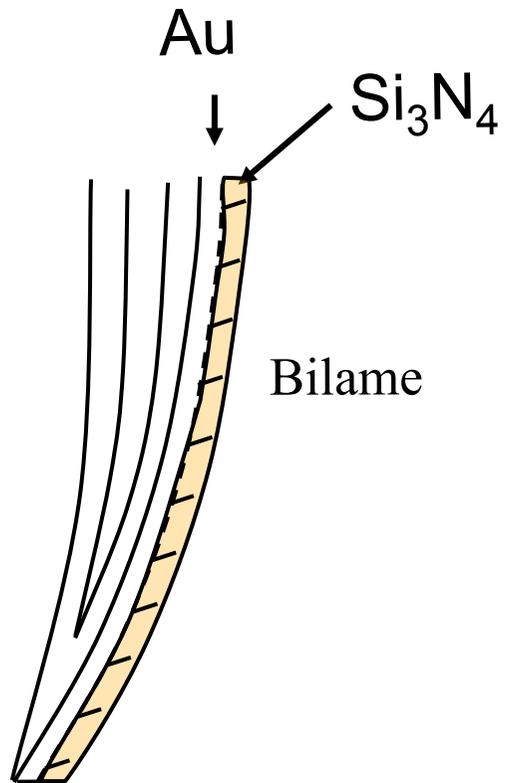
$$R \sim 20 \mu m$$
$$\delta T \sim 10 - 20 K$$

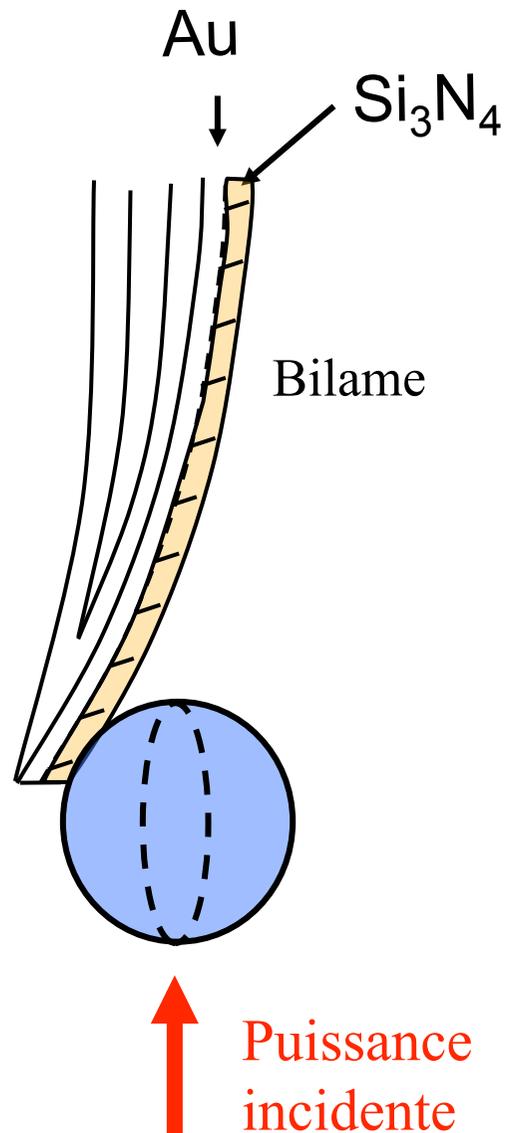
Champ lointain

$$\varphi^{ff} = 4\sigma T^3 S \delta T$$

$$G^{ff} = 4\sigma T^3 S = 6 \text{ nW.K}^{-1}$$

Flux de l'ordre de  $\sim 100 \text{ nW}$

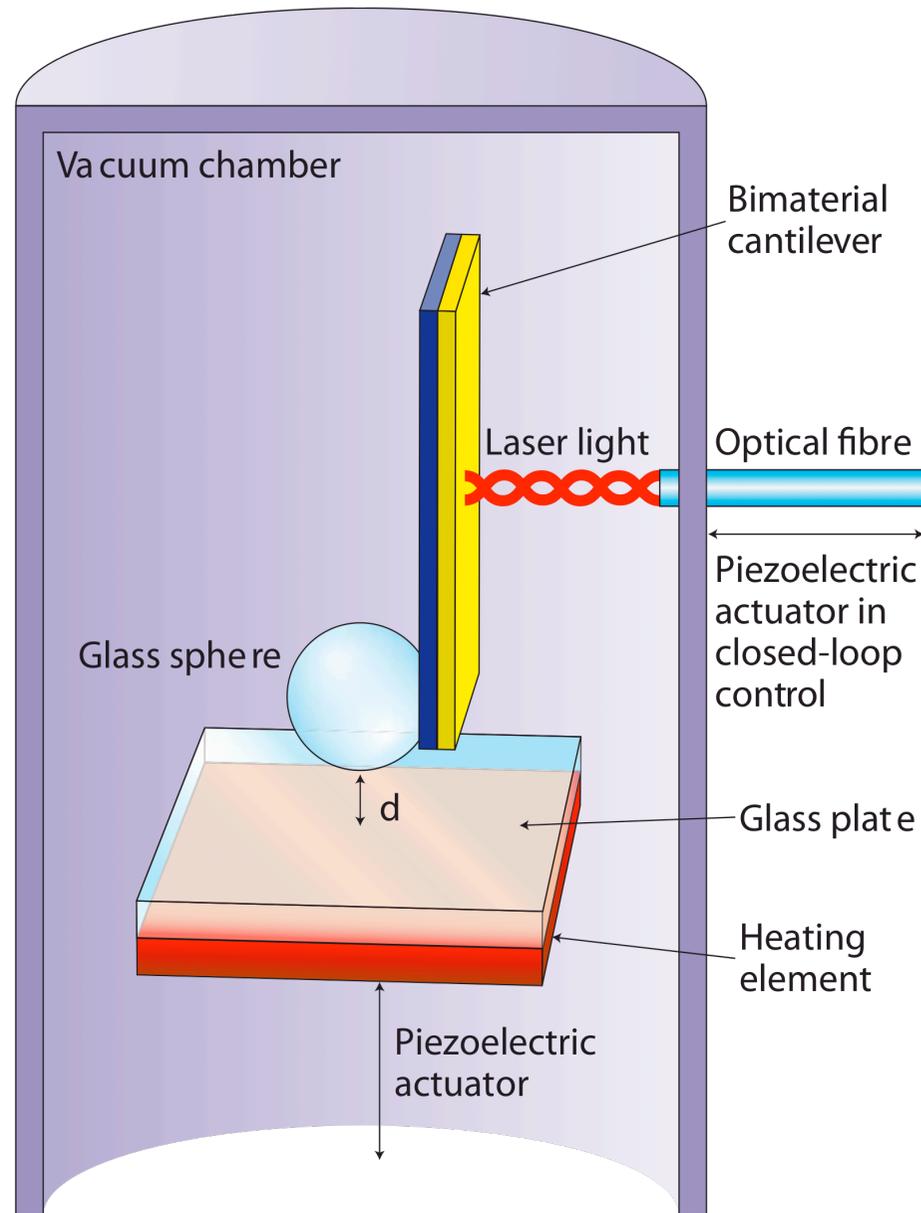




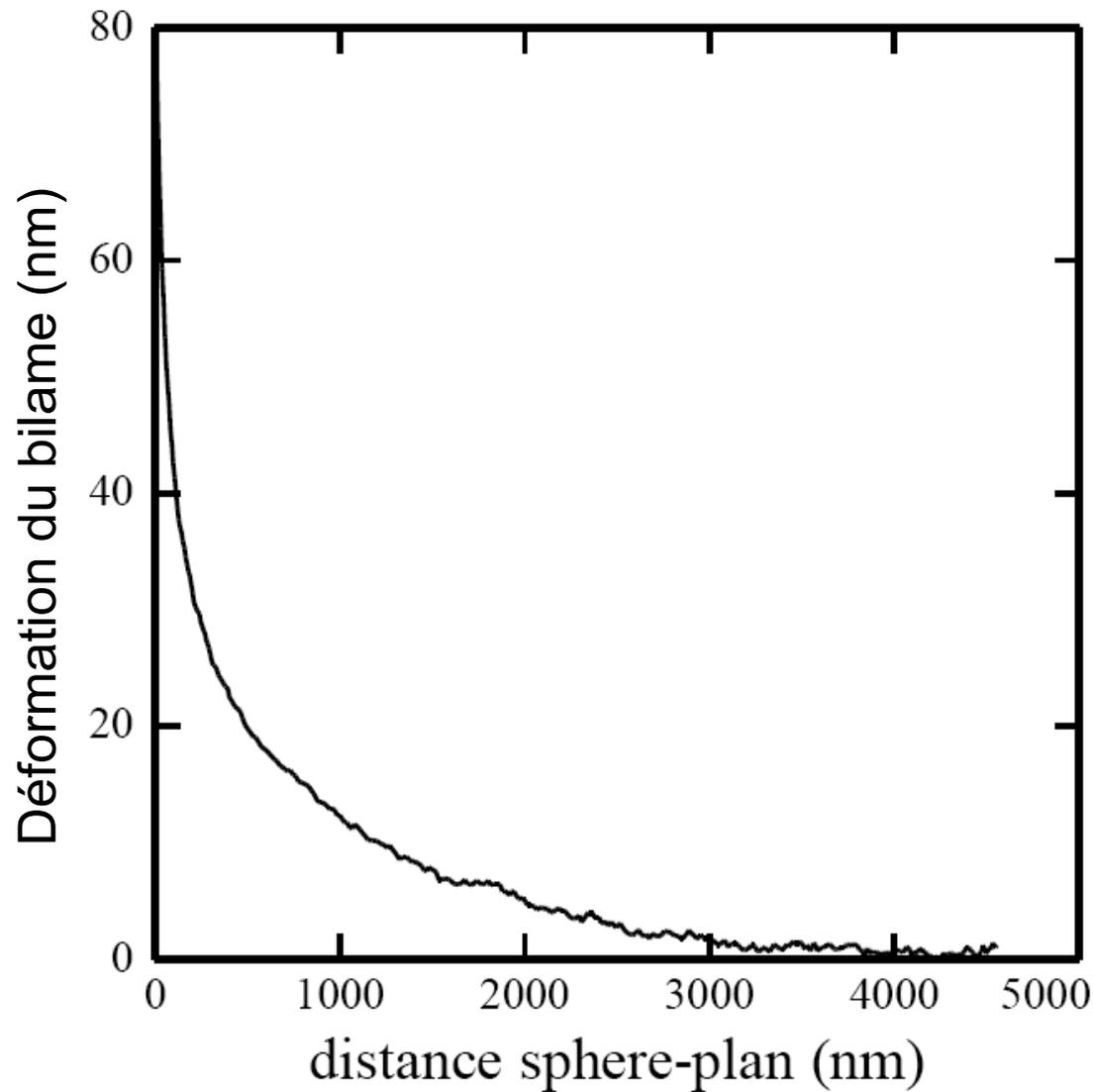
Bilame:

- Deux matériaux: Au et  $\text{Si}_3\text{N}_4$   
coefficients de dilatation différent.
- Amplitude déformation:  
proportionnelle à la puissance
- Sensibilité:  $10 \mu\text{K}$   
 $10 \text{ pW}$

# Dispositif expérimental



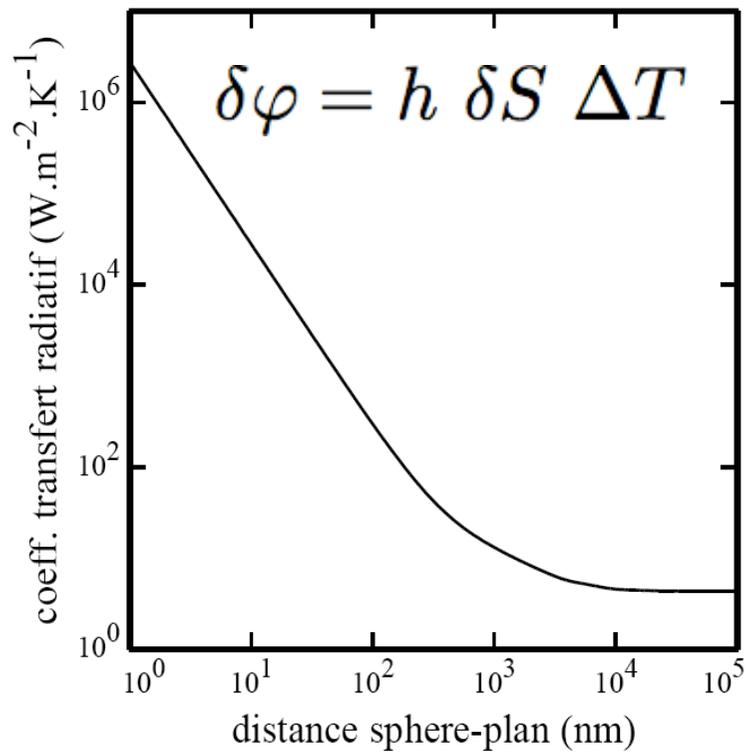
## Résultats: courbe d'approche.



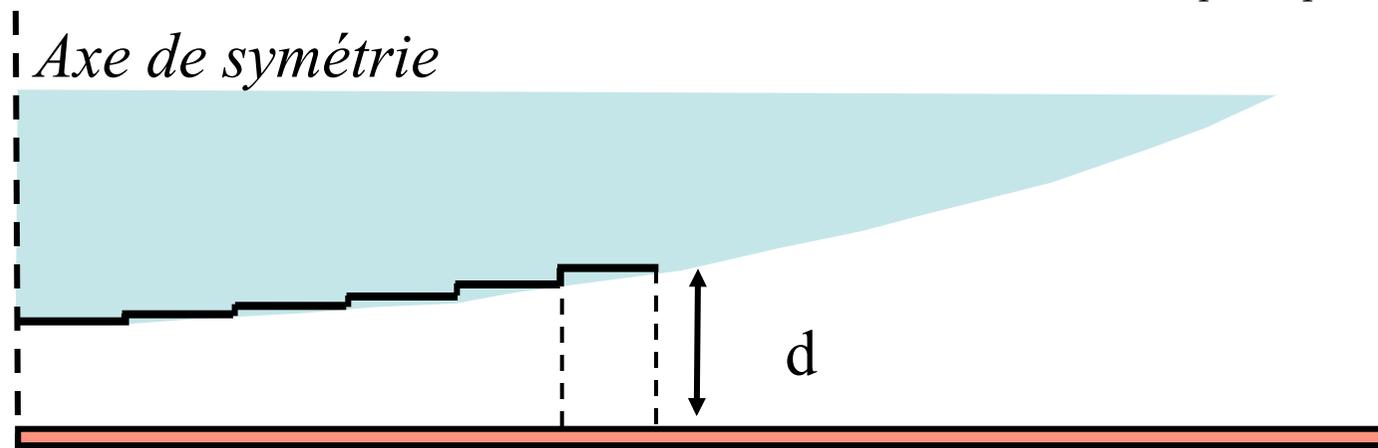
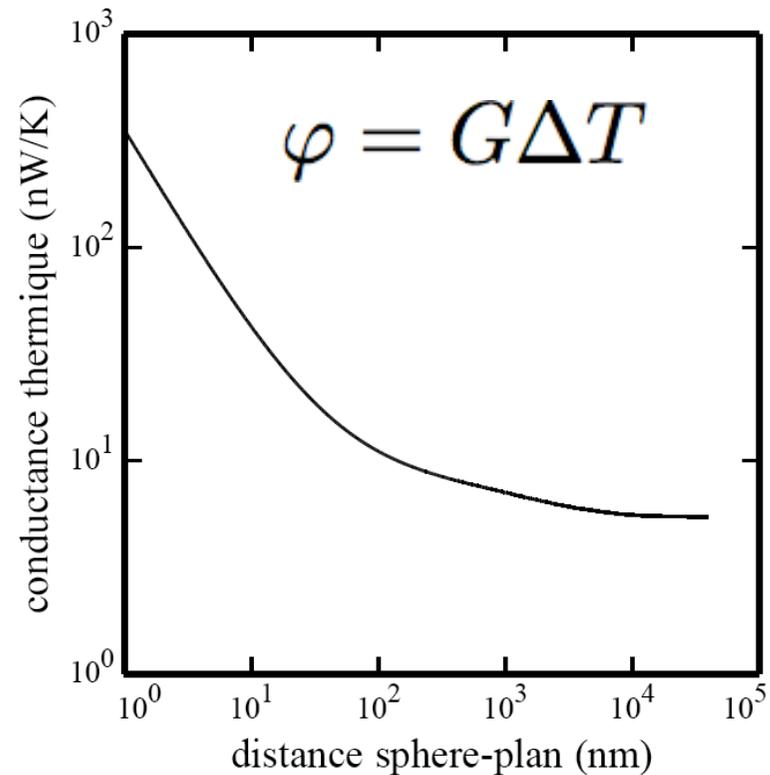
Verre-Verre

Comparaison expérience-  
théorie

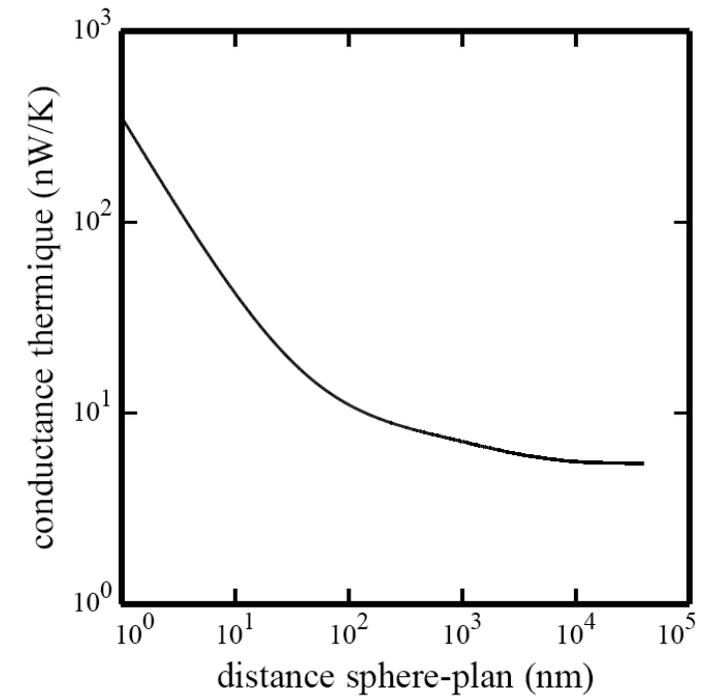
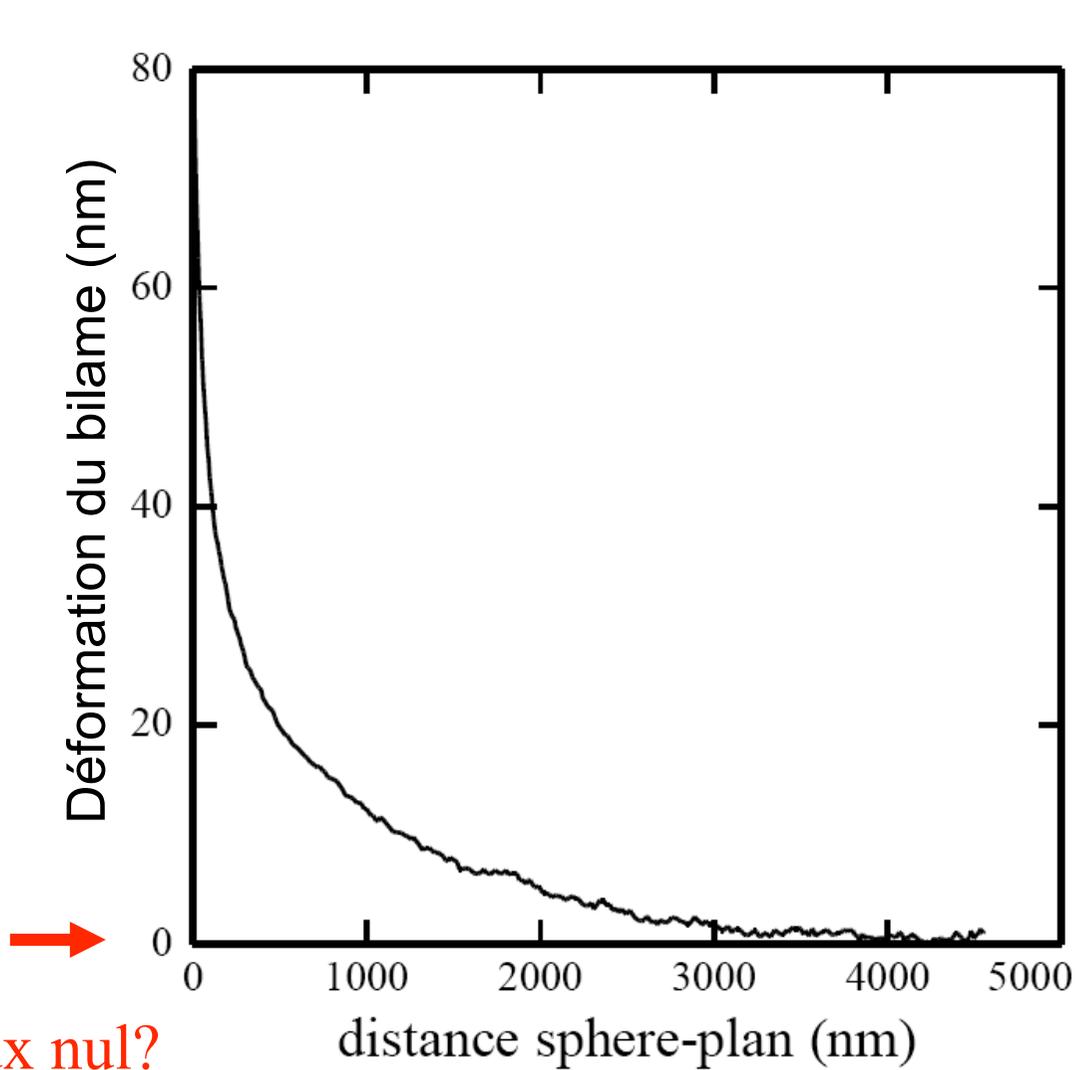
# Comparaison expérience-théorie.



Intégration



# Contribution du champ lointain.



Flux nul?

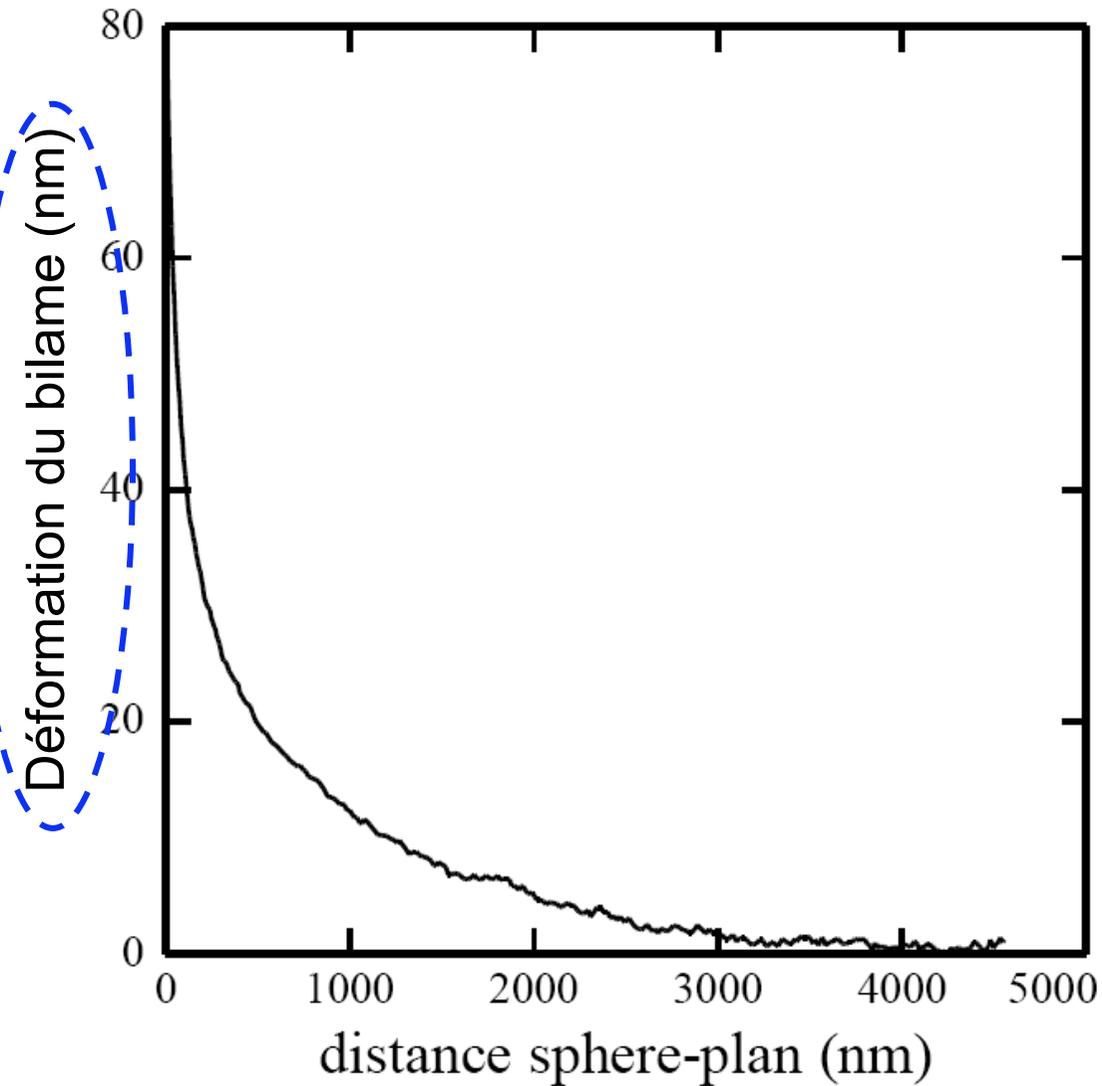
Non!

Mesure relative!

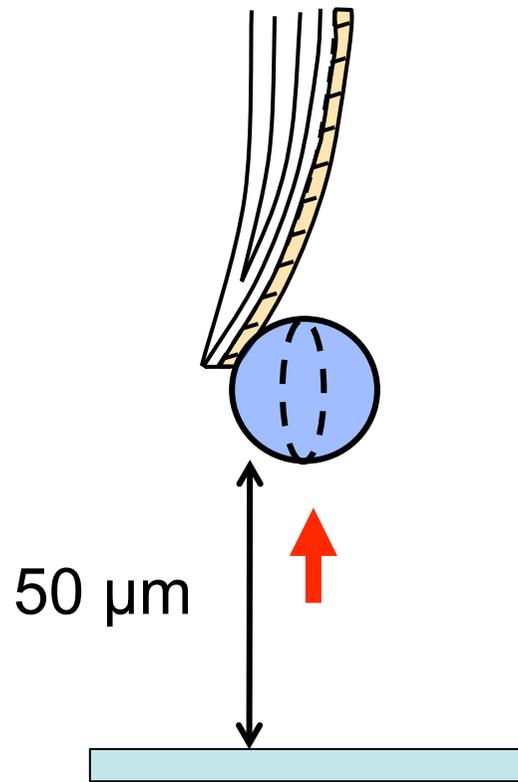
## Contribution du champ lointain.

$$\varphi = H\delta(d)$$

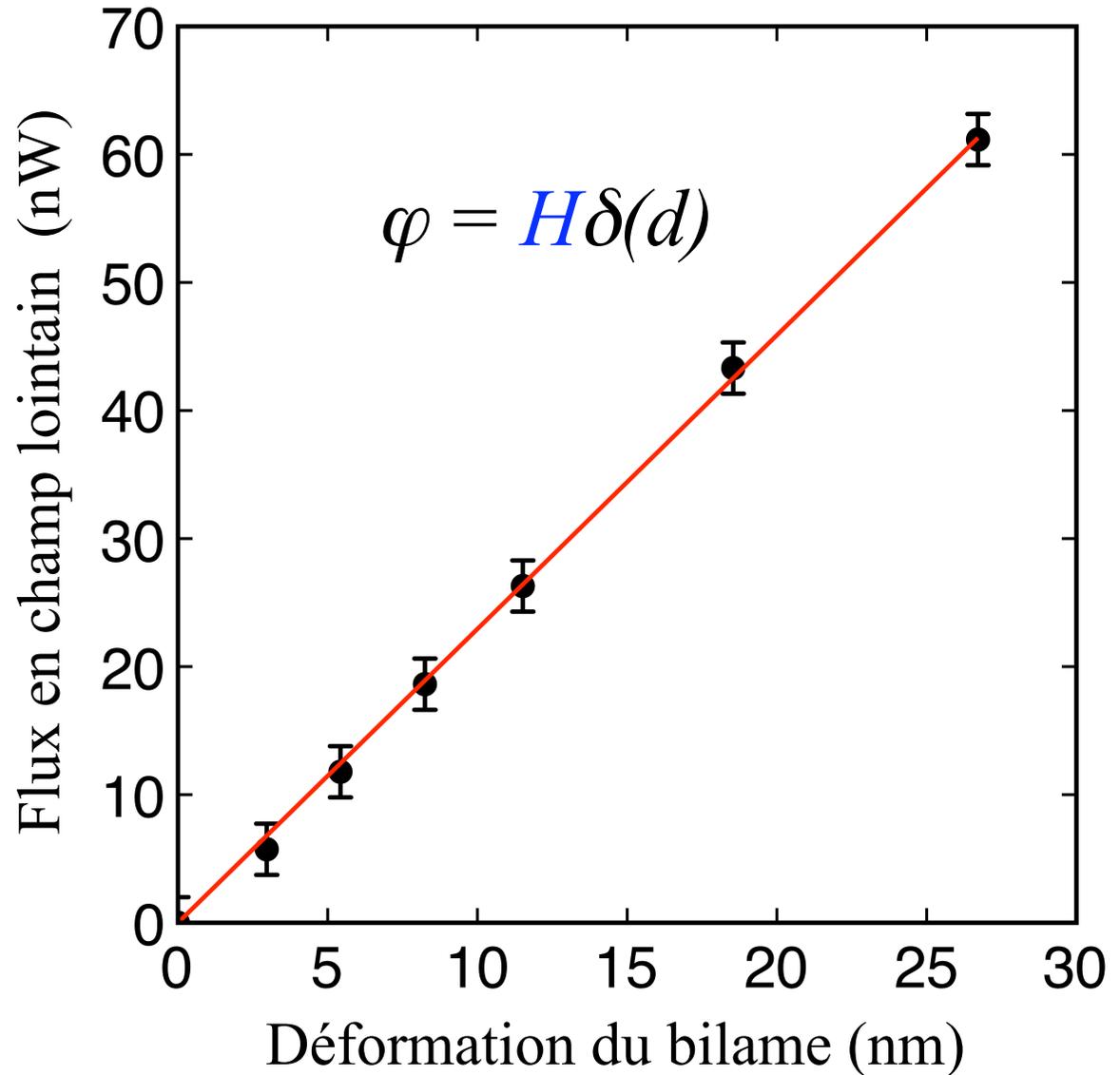
nW  $\longleftrightarrow$  nm



## Étalonnage en champ lointain.

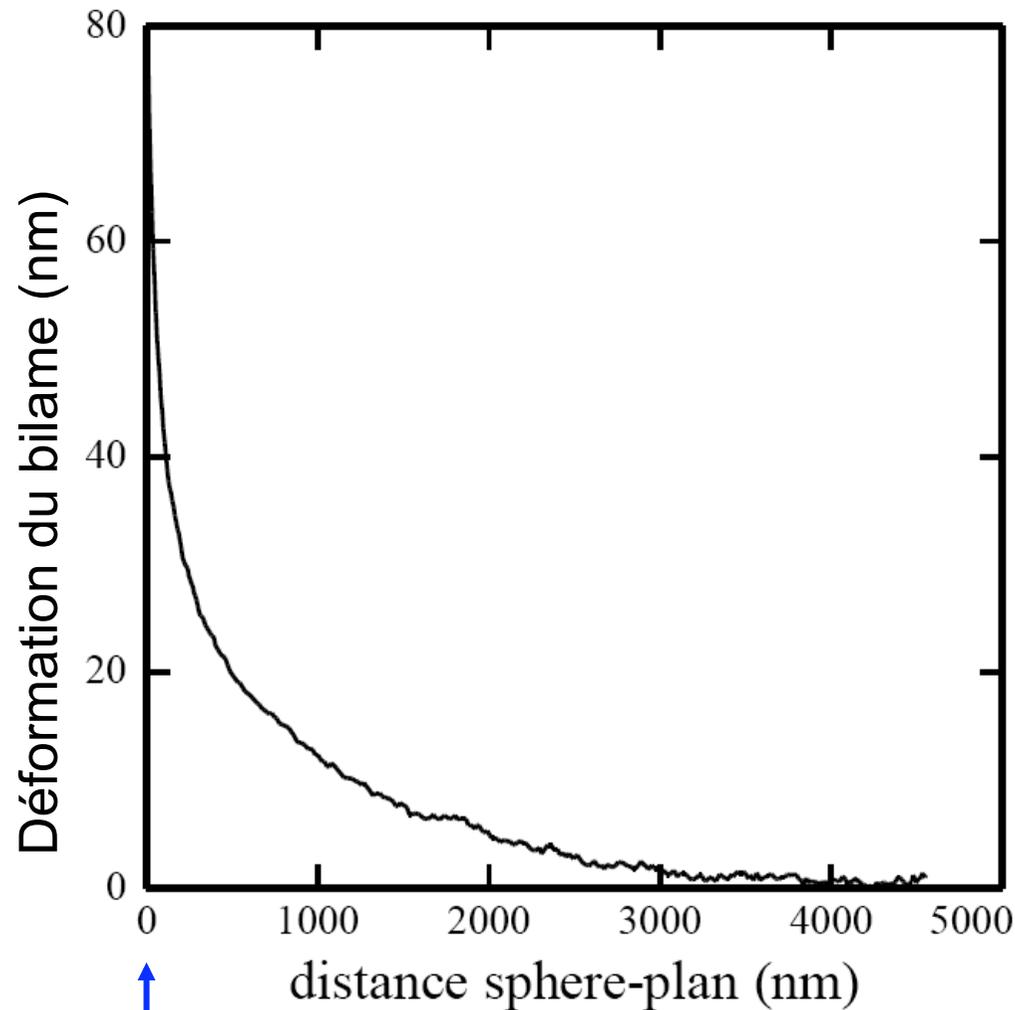


- Étalonner le bilame
- Ajouter contribution champ lointain

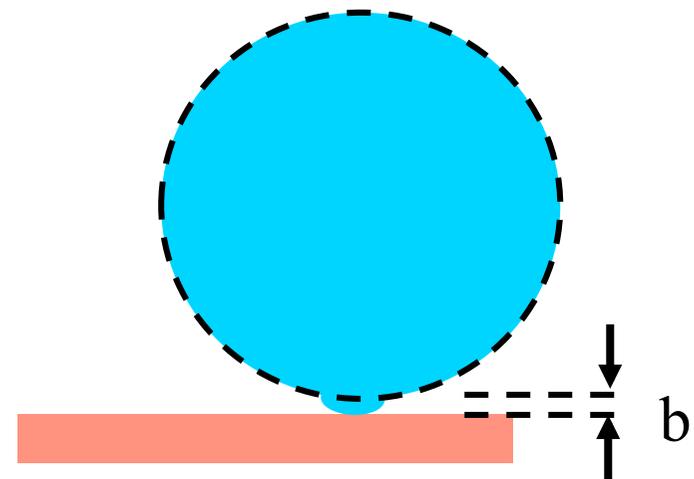


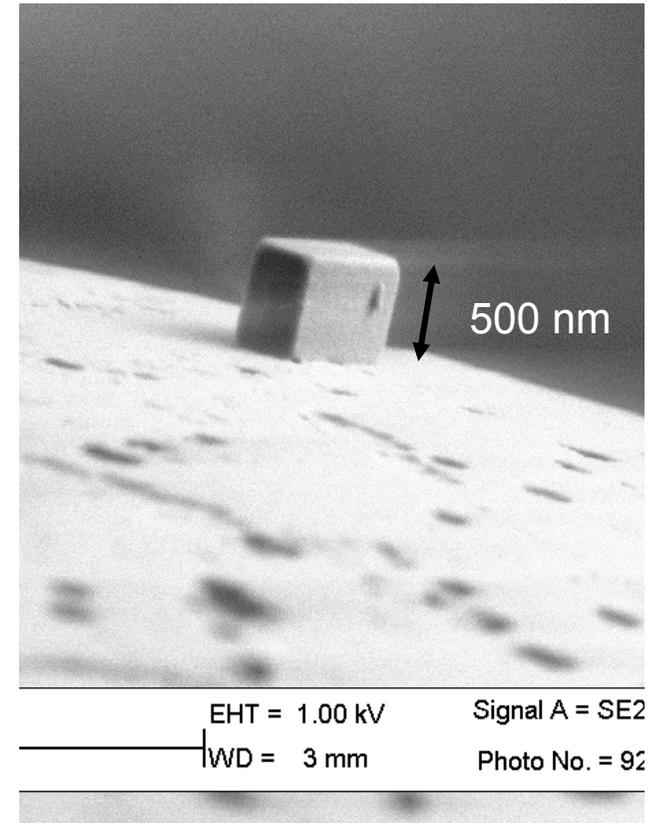
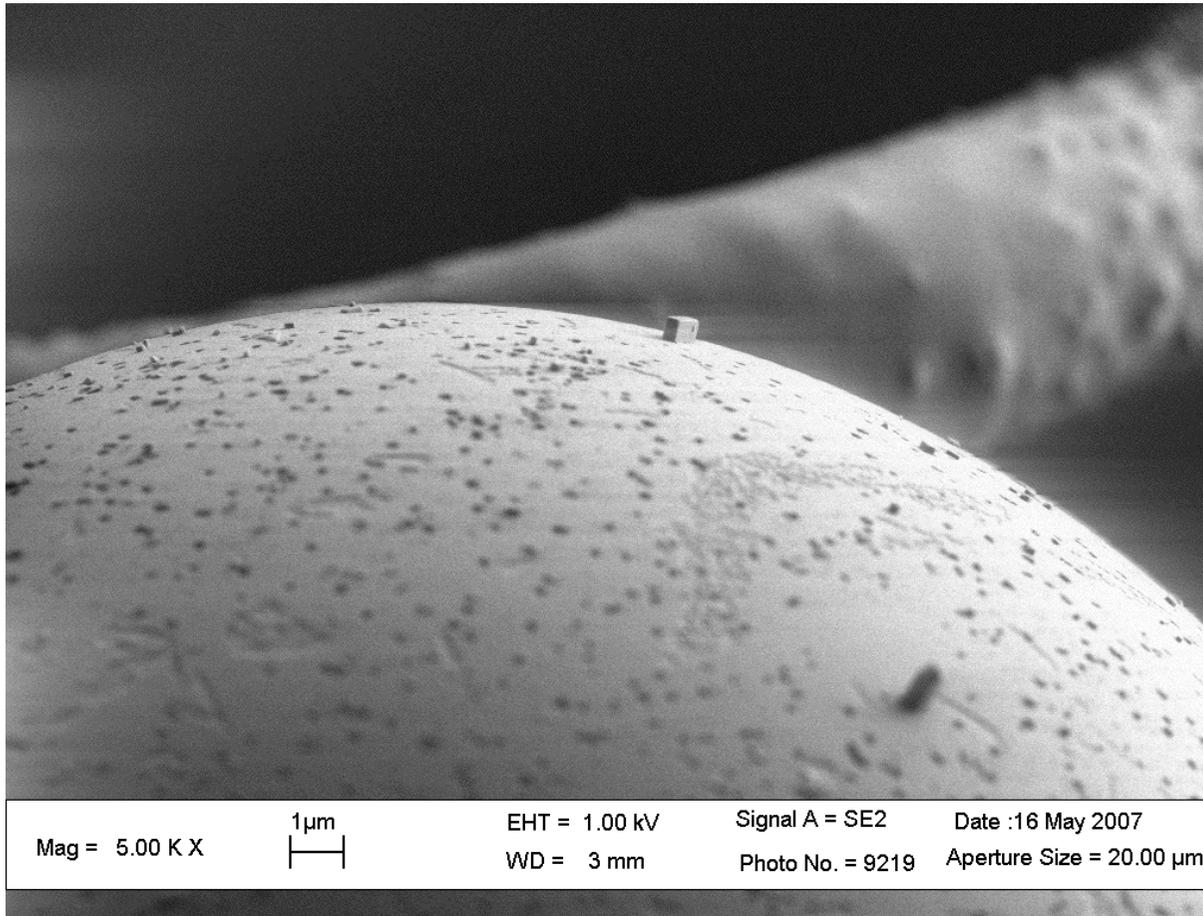
$$H = 2.30 \pm 0.05 \text{ nW/nm}$$

# Distance surface moyenne-plan .

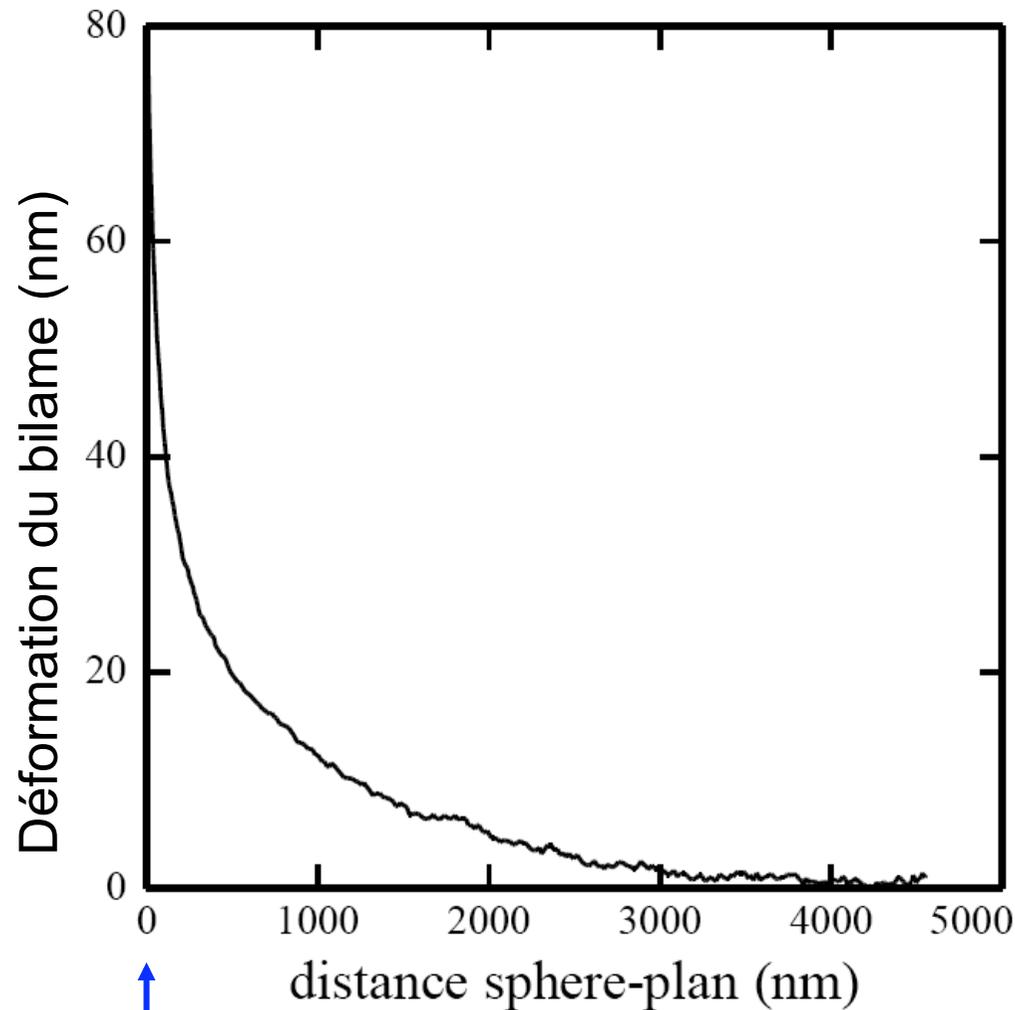


↑  
Contact! Entre quoi et quoi?

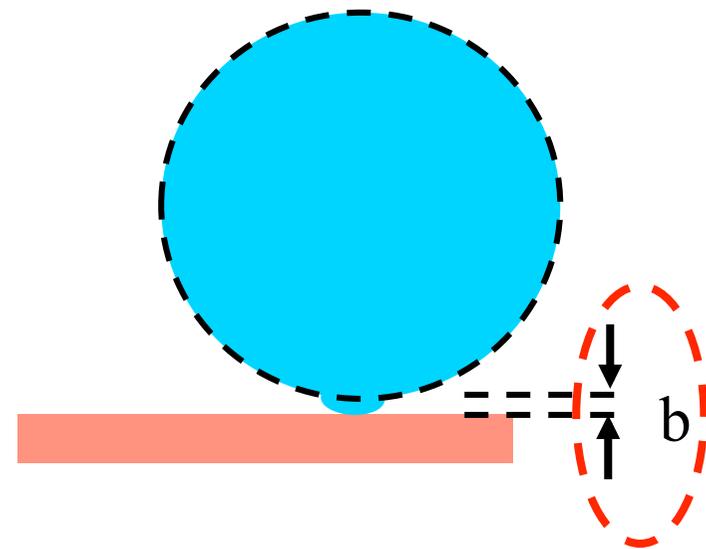




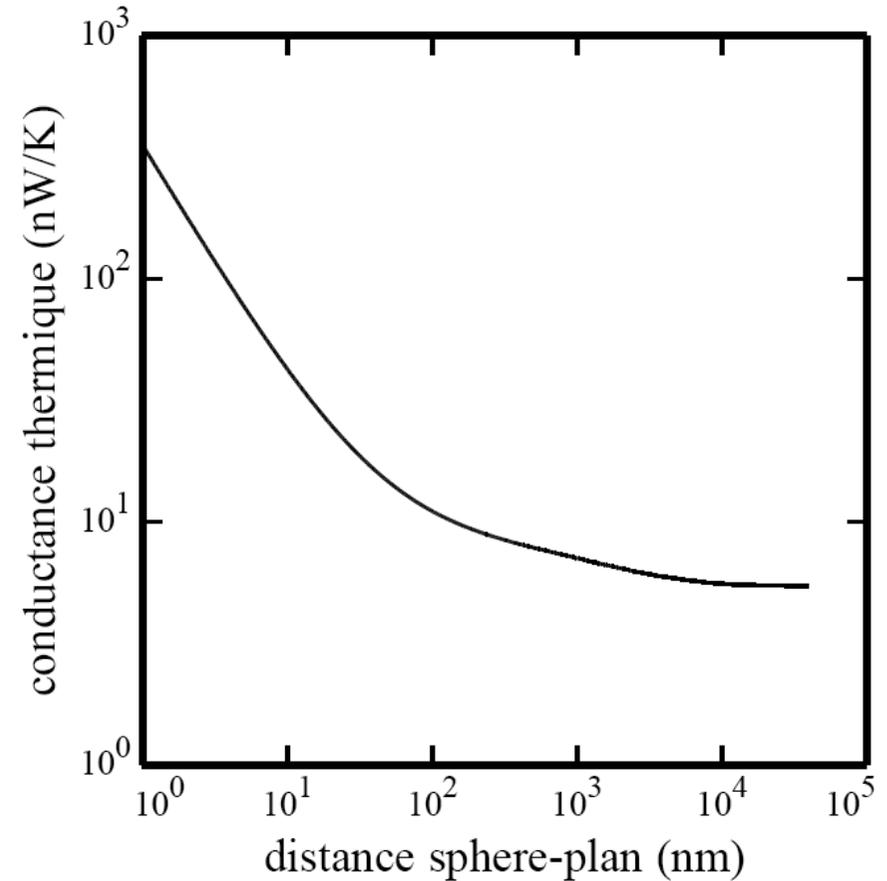
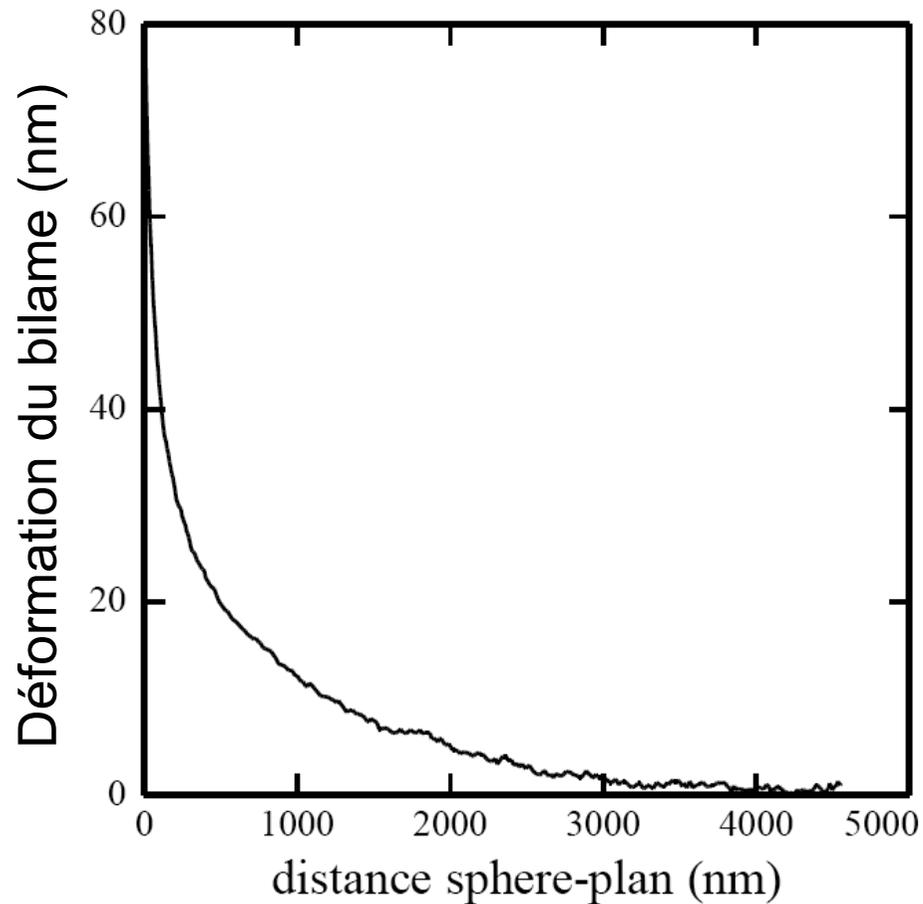
# Distance surface moyenne-plan .



↑  
Contact! Entre quoi et quoi?



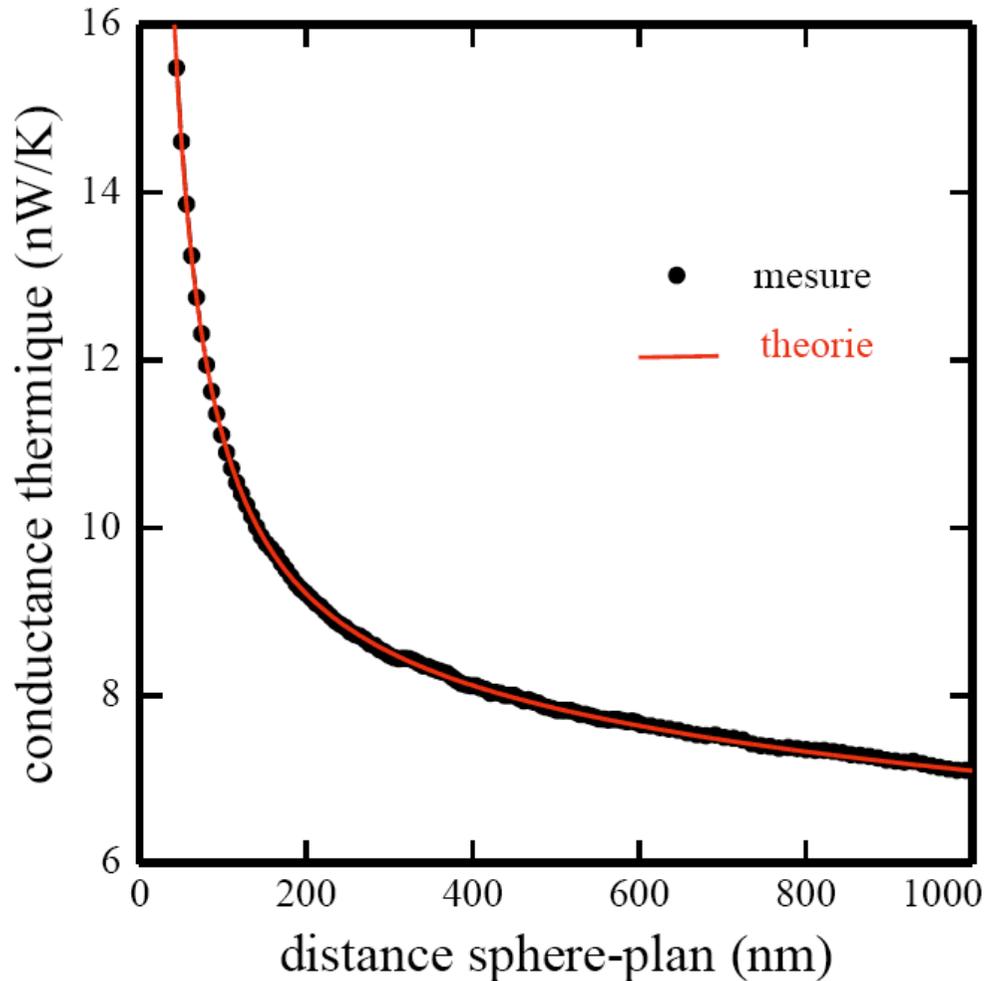
Pas moyen de le mesurer



1- Décaler du champ lointain  $G=6$  nW/K, conversion

2- Paramètre de fit: taille d'aspérité

# Comparaison expérience-théorie.



Taille des aspérités: ~ 30-50 nm d'après images MEB

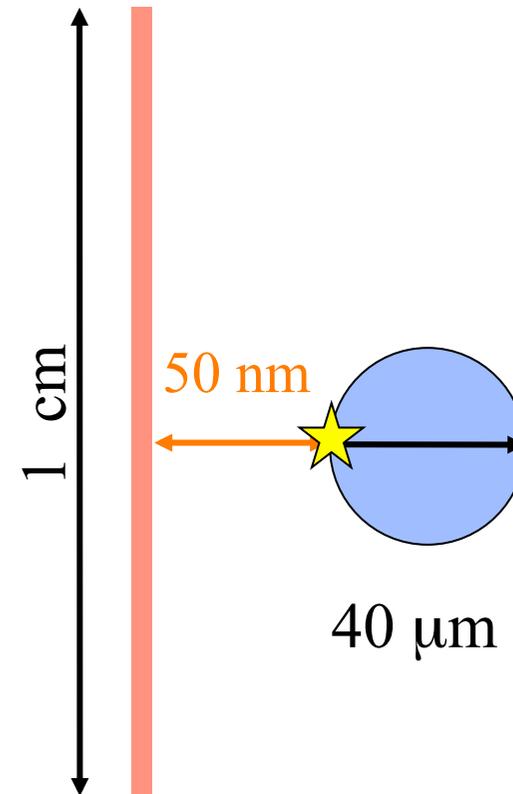
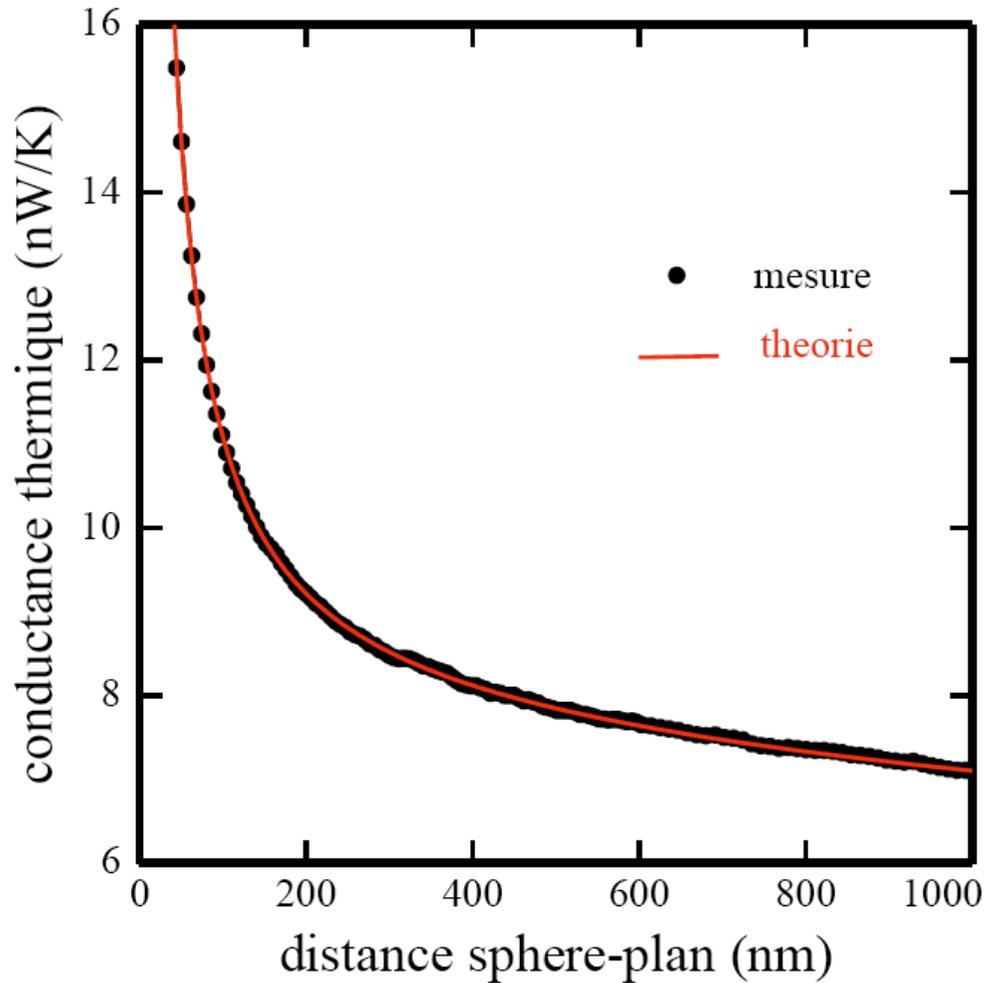
Fit ~ 32.8 nm

Variations flux-distance parfaitement reproduite

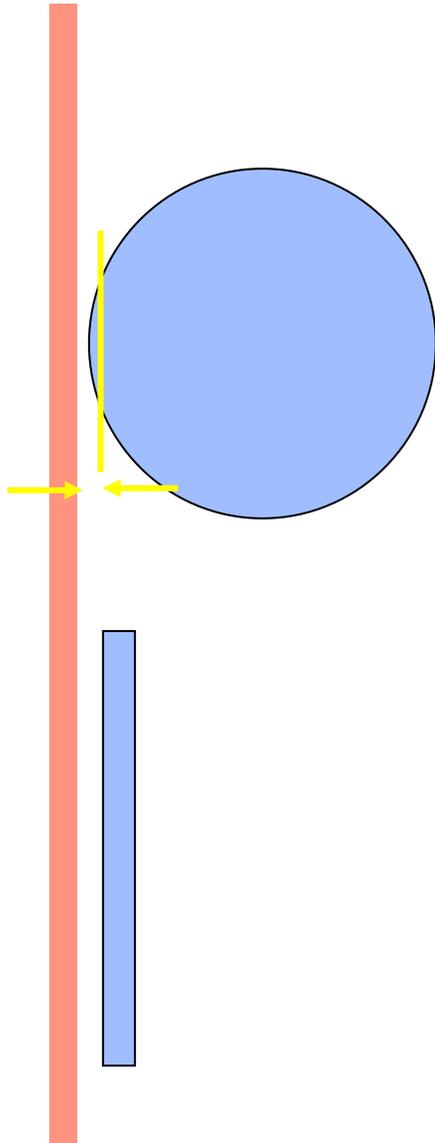
Premières mesures: confrontation théorie 1971

Nature Photonics **3**, 514 (2009)

# Comparaison expérience-théorie.

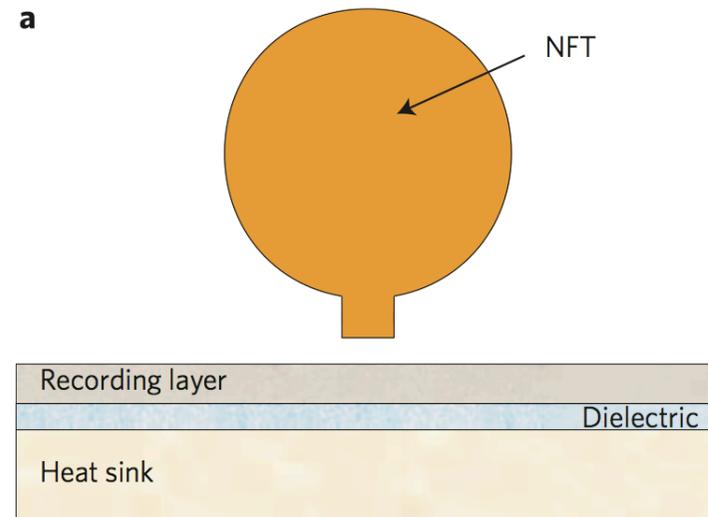
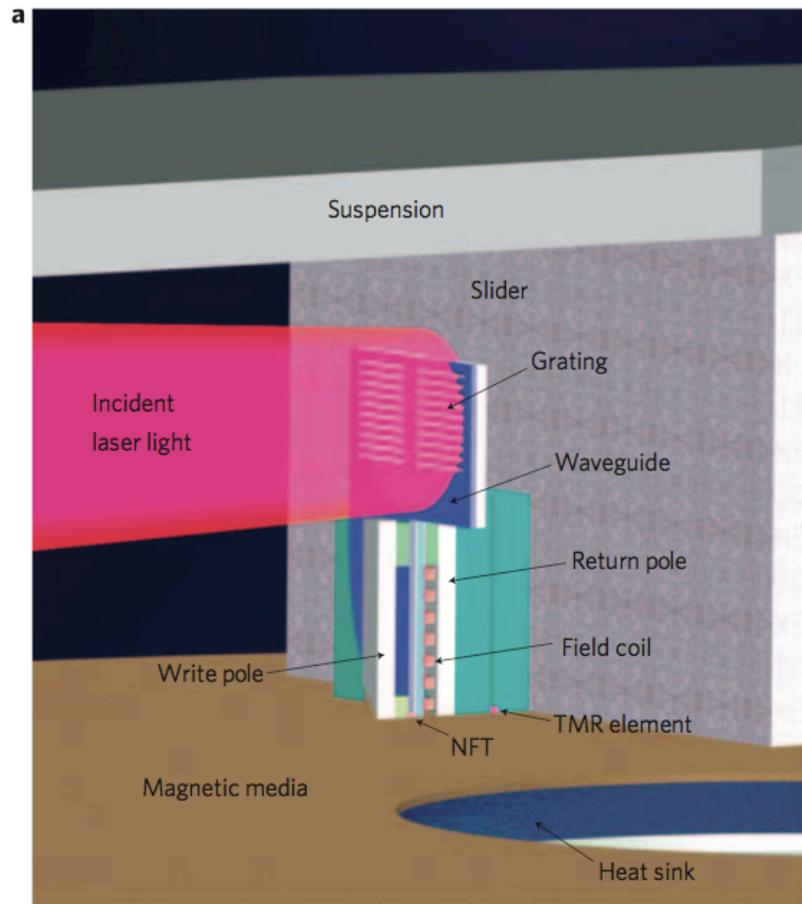


Facteur 3: moyenne sur toute la surface de la sphère.  
Facteur 500 par u. surface pour le point le plus proche!!



Mesure plan-plan:

- augmentation encore plus importante.
- aligner deux plans?



Heat-assisted magnetic recording by a near-field transducer with efficient optical energy transfer.  
W. A. Challener *et al.* *Nature Photonics* **3**, 220 - 224 (2009)

# Remerciements



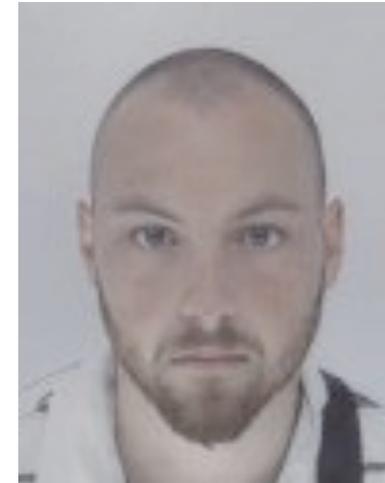
*Jean-Jacques Greffet*



*Sébastien Volz*

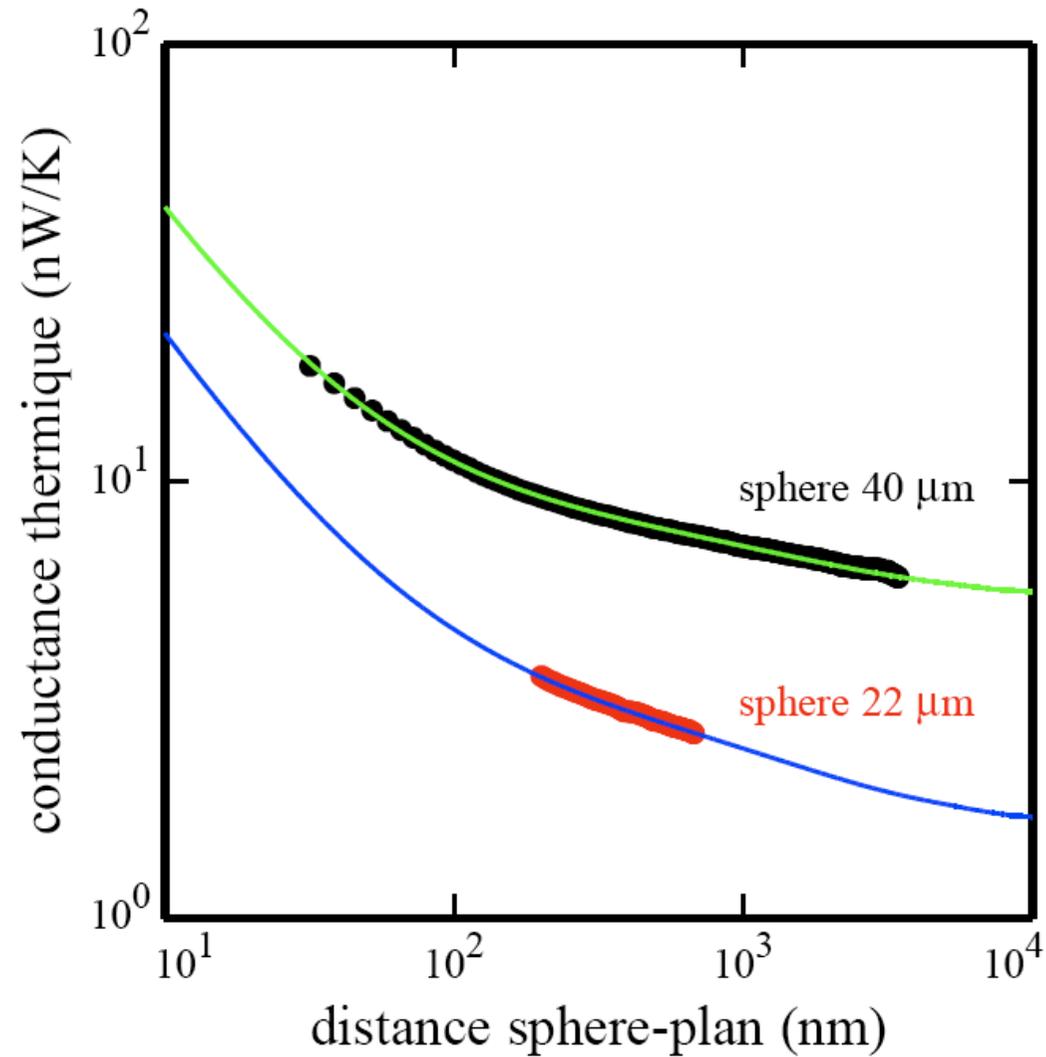


*Joël Chevrier*



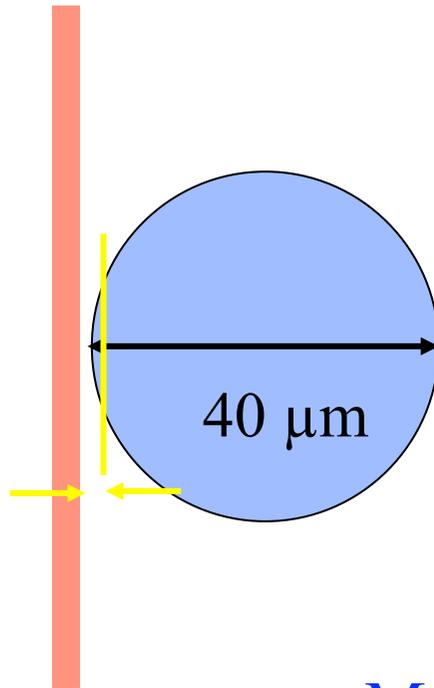
*Alessandro Siria*

# Dépendance non triviale avec la distance



Flux pour des sphère de différents diamètres

## Une seule distance caractéristique?



Une faible fraction de la sphère se trouve dans le domaine du champ proche.

Le transfert radiatif est dominé par le champ lointain

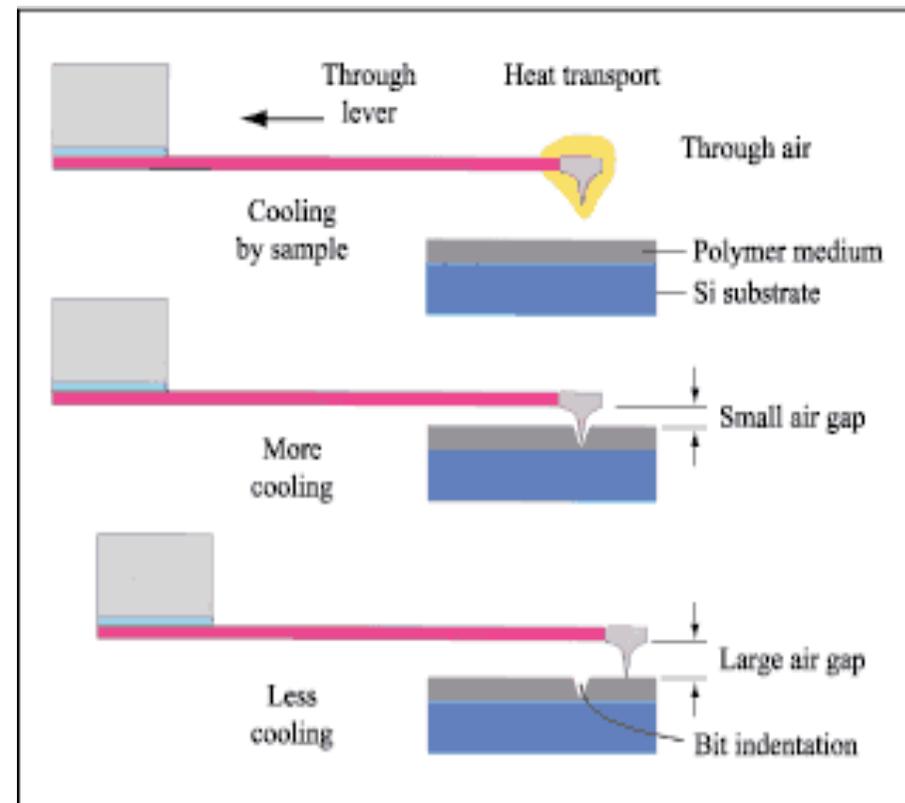
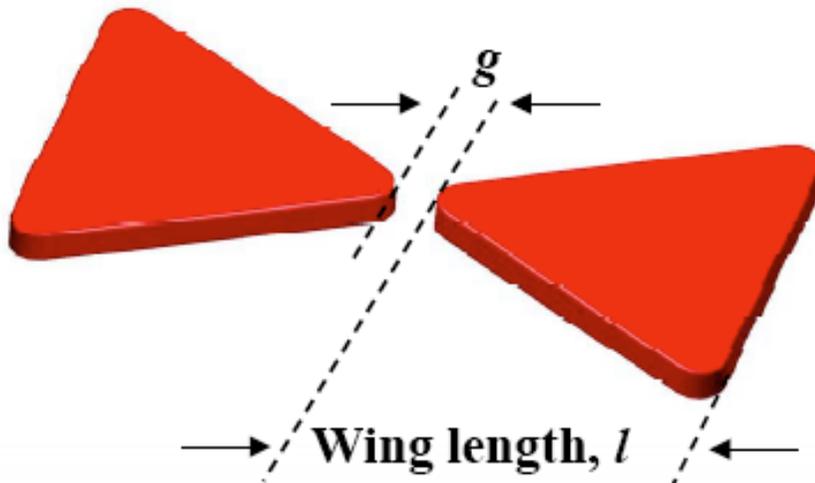
Mais si on veut mesurer quelque chose...

Le rayon de la sphère ne doit pas être trop grand

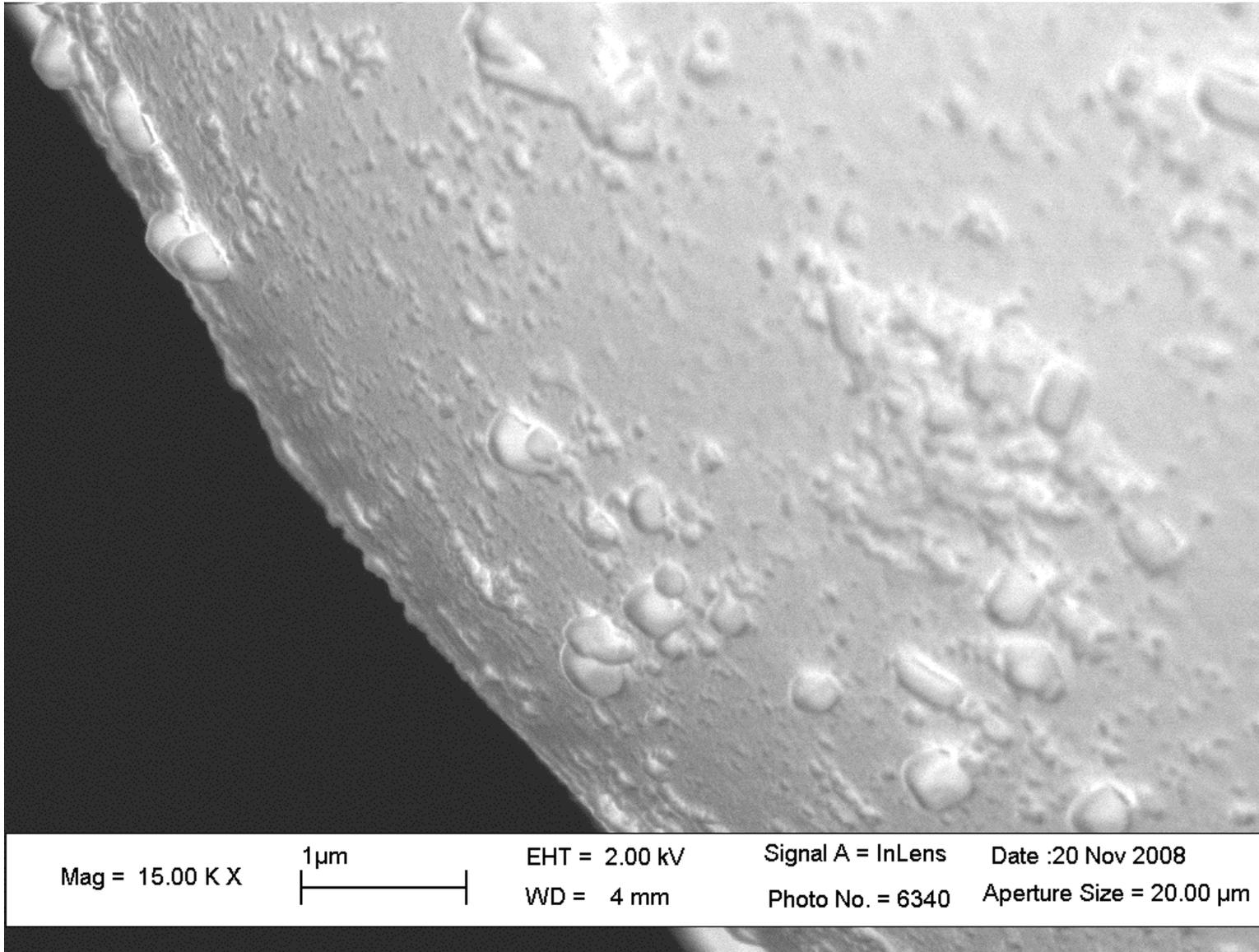
# Transfert thermique à courtes distances: applications

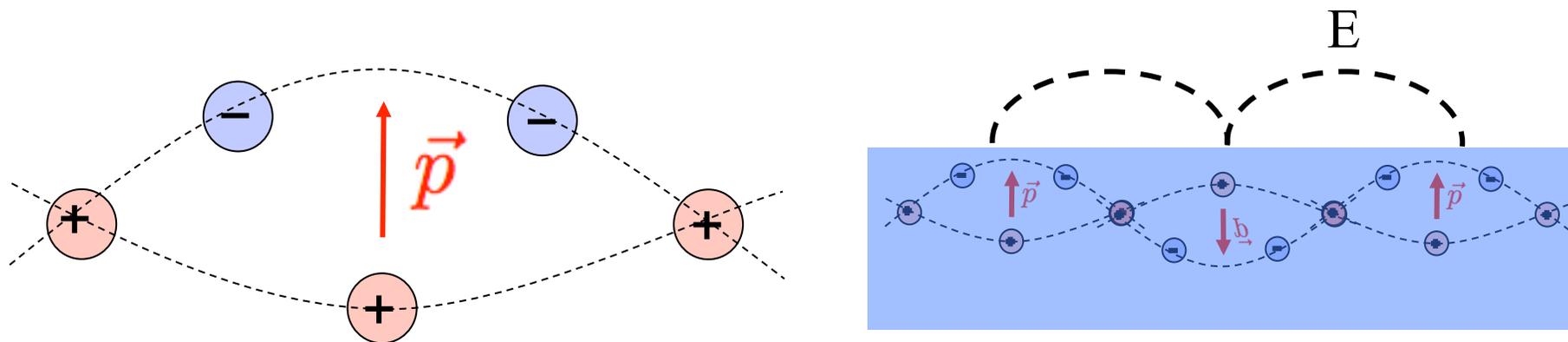
Le projet Seagate:  
chauffer pour retourner  
localement une aimantation.

Le projet Millipede (IBM):  
lire et écrire des données en  
chauffant localement un  
polymère.



# Taille des aspérités .



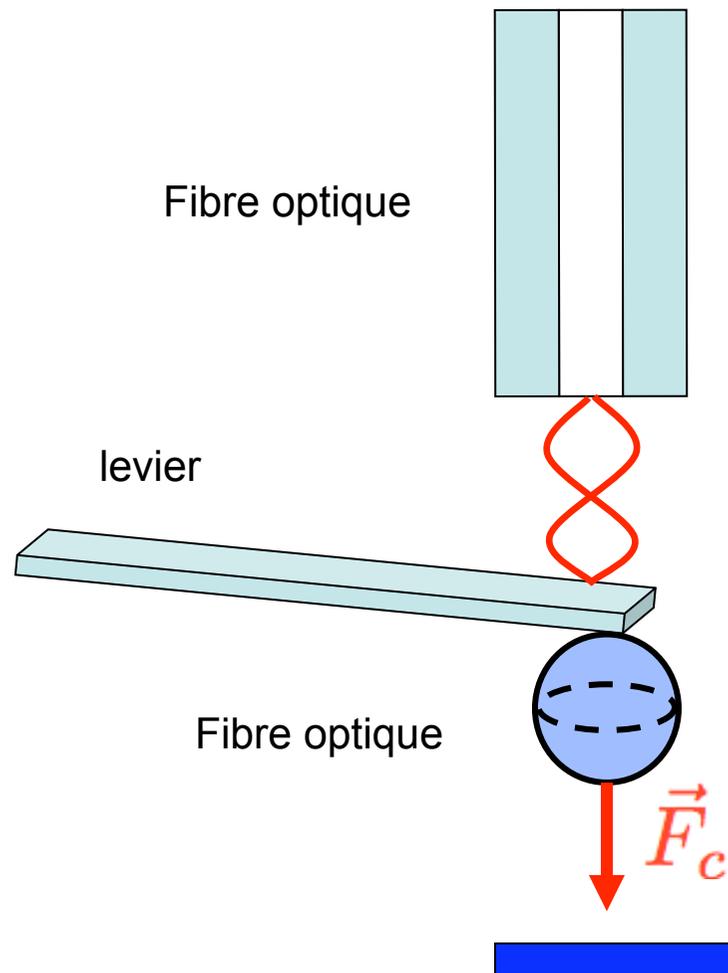


Phonon-polariton de surface (ex SiC)

Résonance dans l'infra-rouge (SiC, quartz, alumine, silice, Si dopé)

Transfert thermique encore plus important

# Mesure de la déformation?



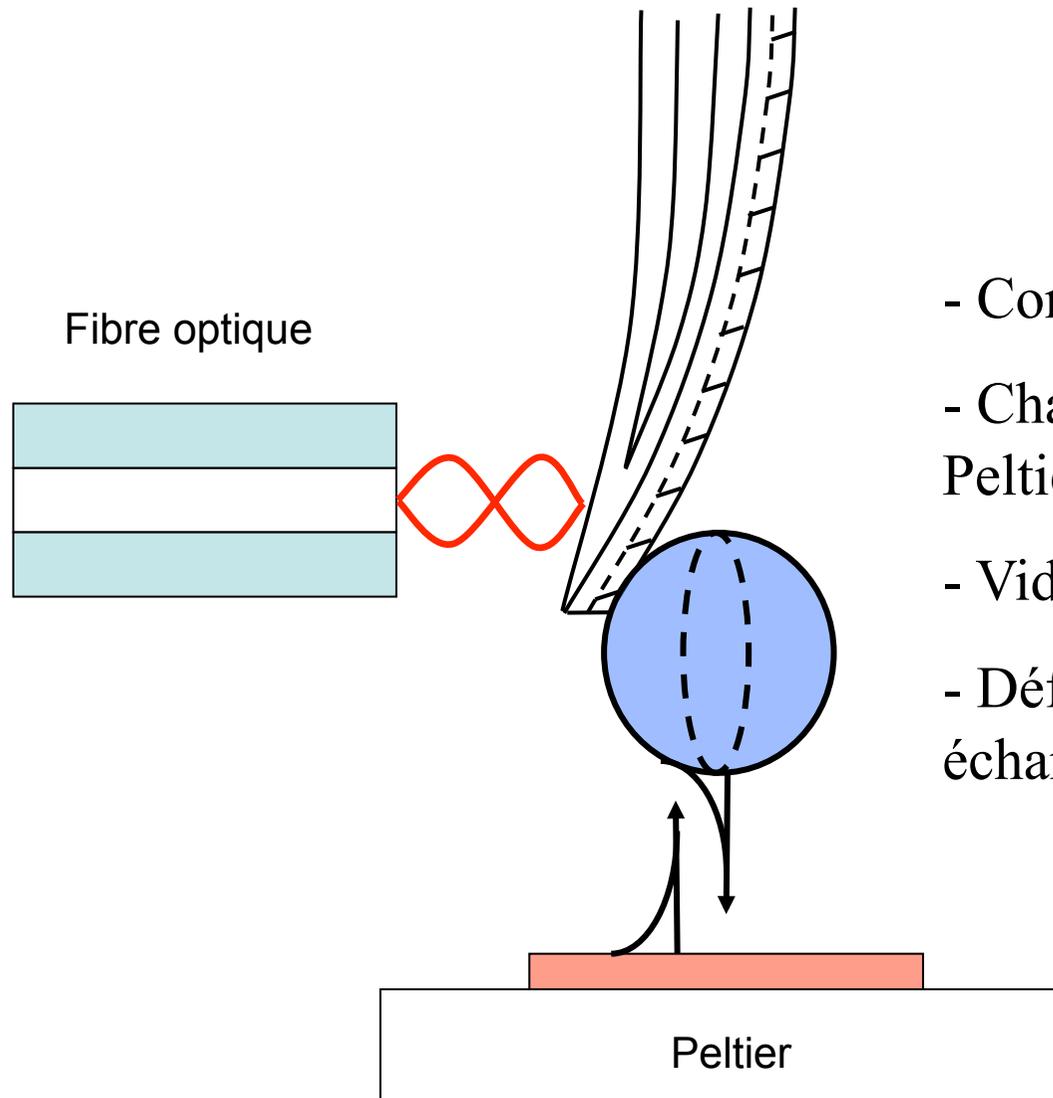
Dispositif expérimental de la mesure de la force de Casimir:

- Force entre deux surfaces dans le vide.

- Mesure de la déformation = mesure de la force de Casimir.

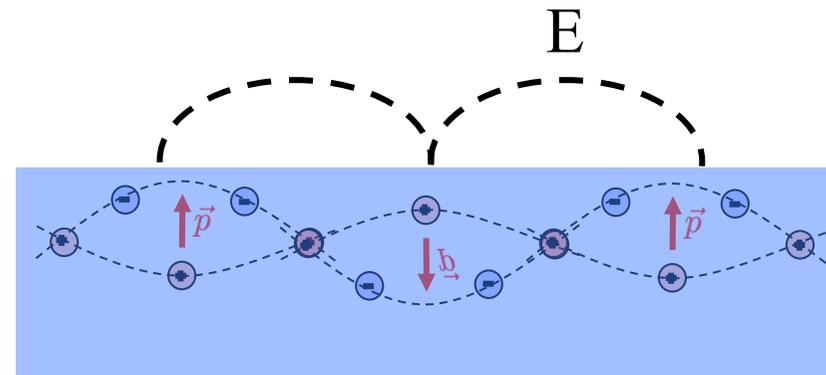
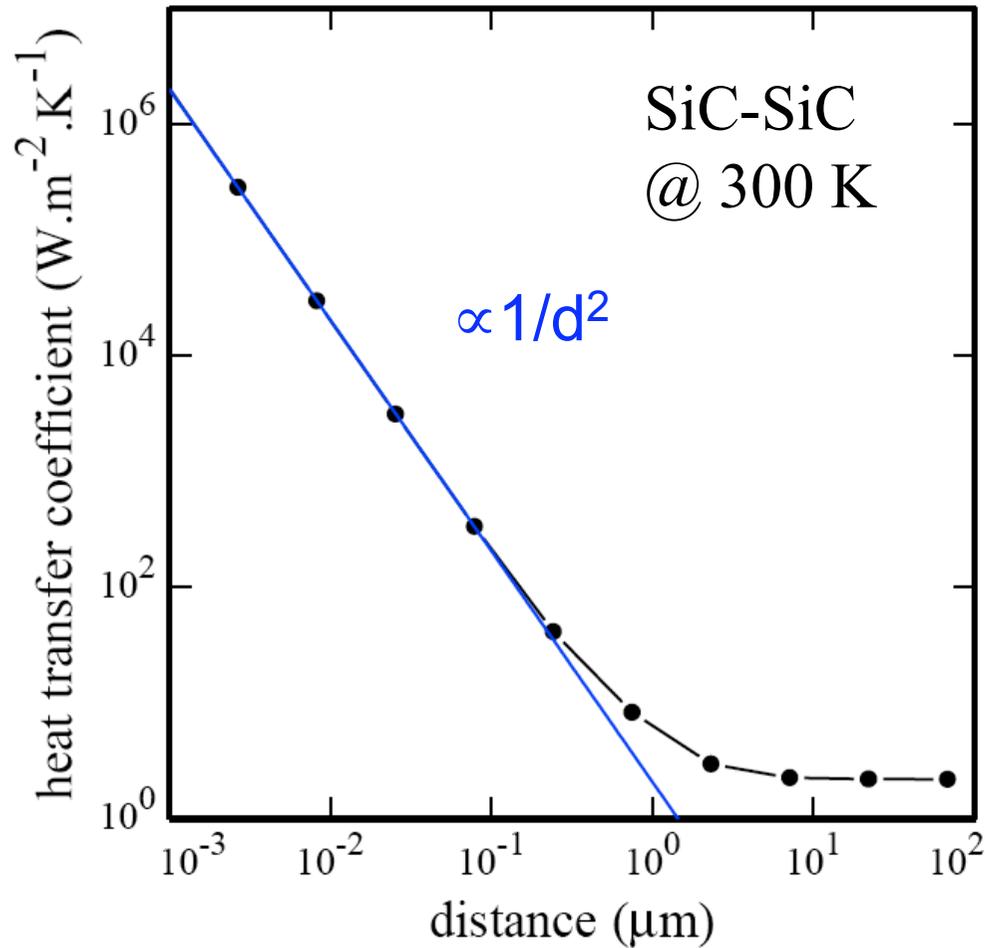
- Cavité Fabry-Pérot:  
mesure déformation  
mesure un signal d'erreur:  $\sim 50$  pm

## Quelques modifications



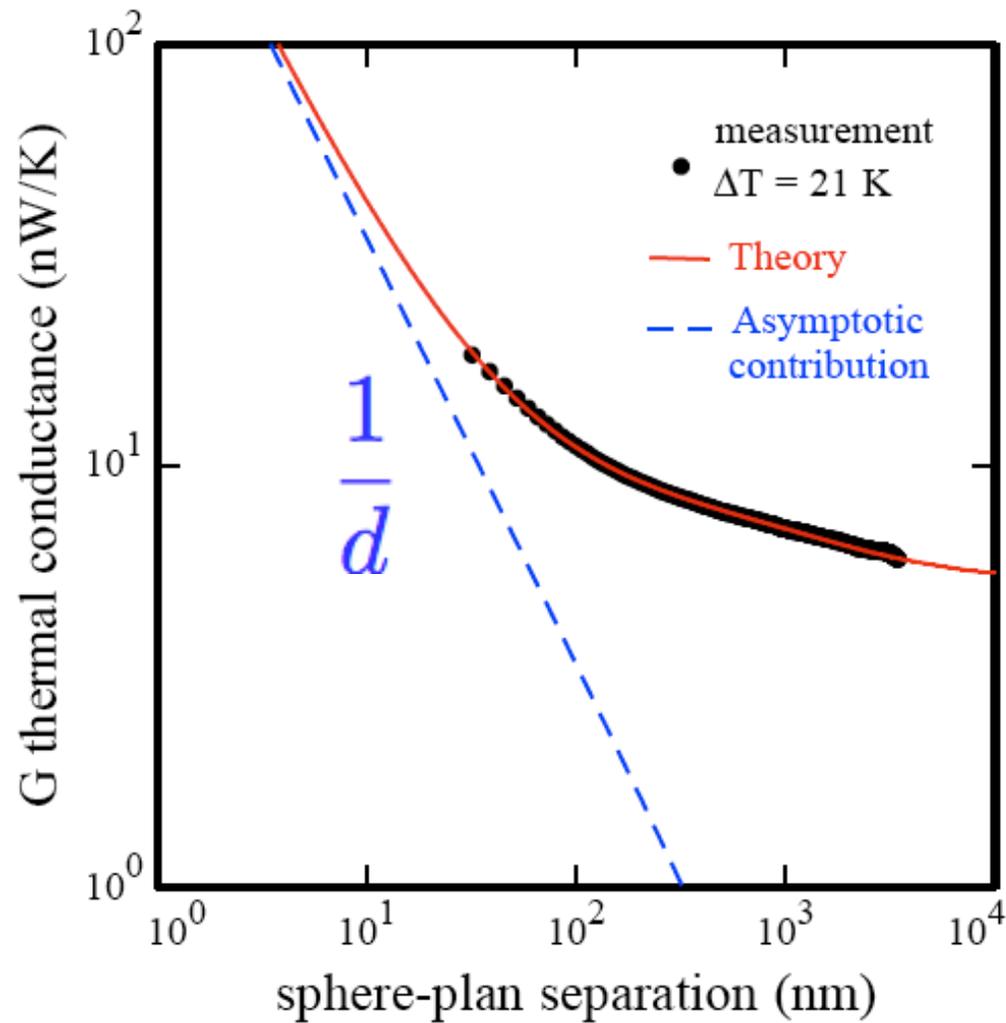
- Configuration verticale
- Chauffage du plan par élément Peltier.
- Vide secondaire  $P \sim 10^{-6}$  mbar
- Déformation mesurée = puissance échangée

# Phonon-Polariton de surface

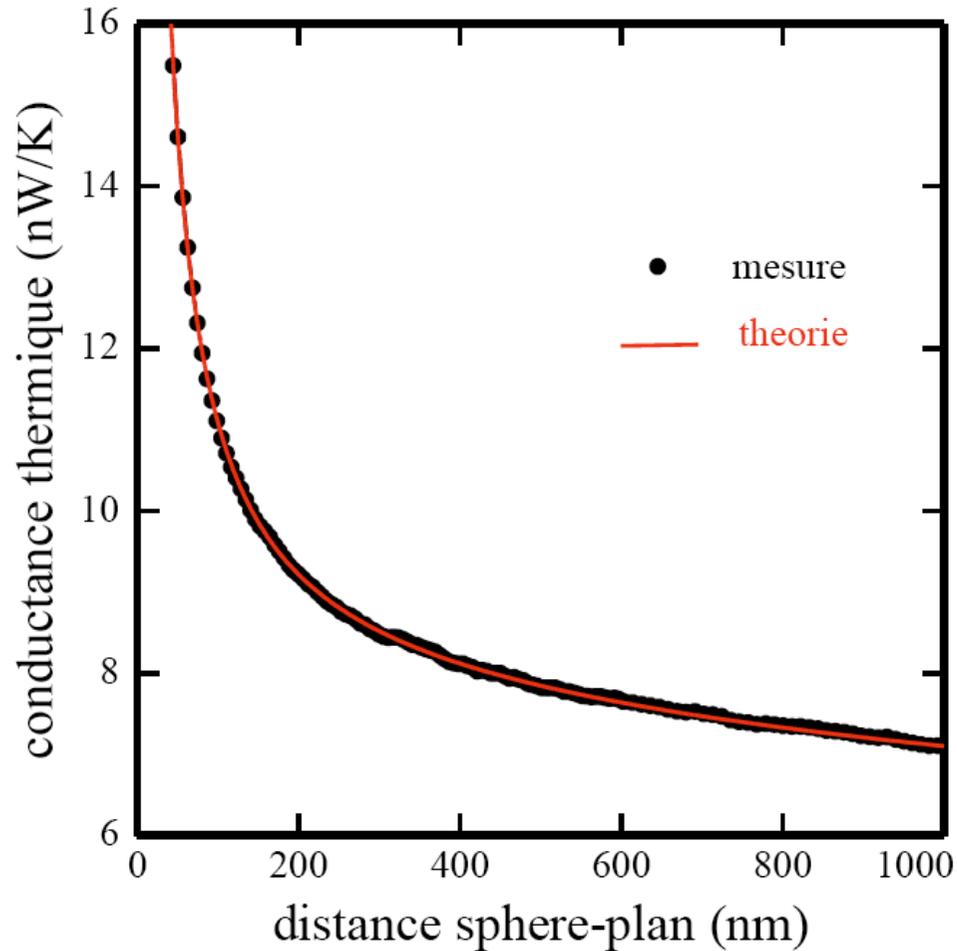


Grâce aux phonons-polaritons:  
le flux augmente de plusieurs  
ordres de grandeur.

# Comportement asymptotique.



A cause intégration sur la  
sphère  
comportement asymptotique  
 $d < 10$  nm

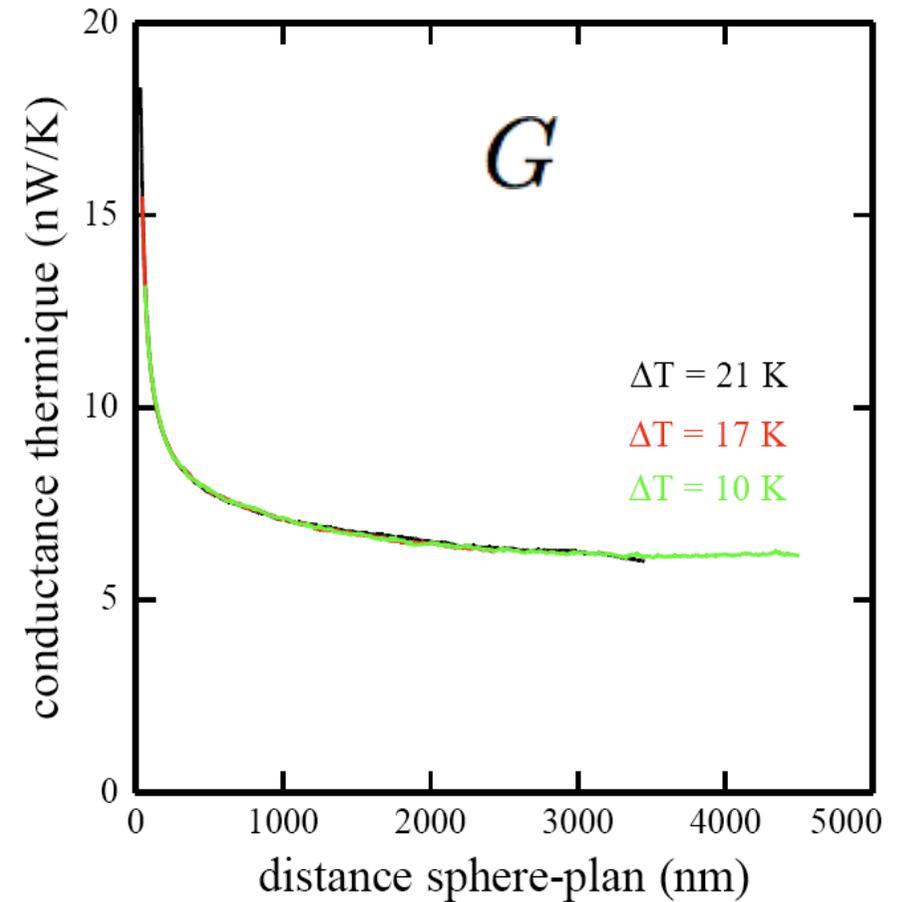
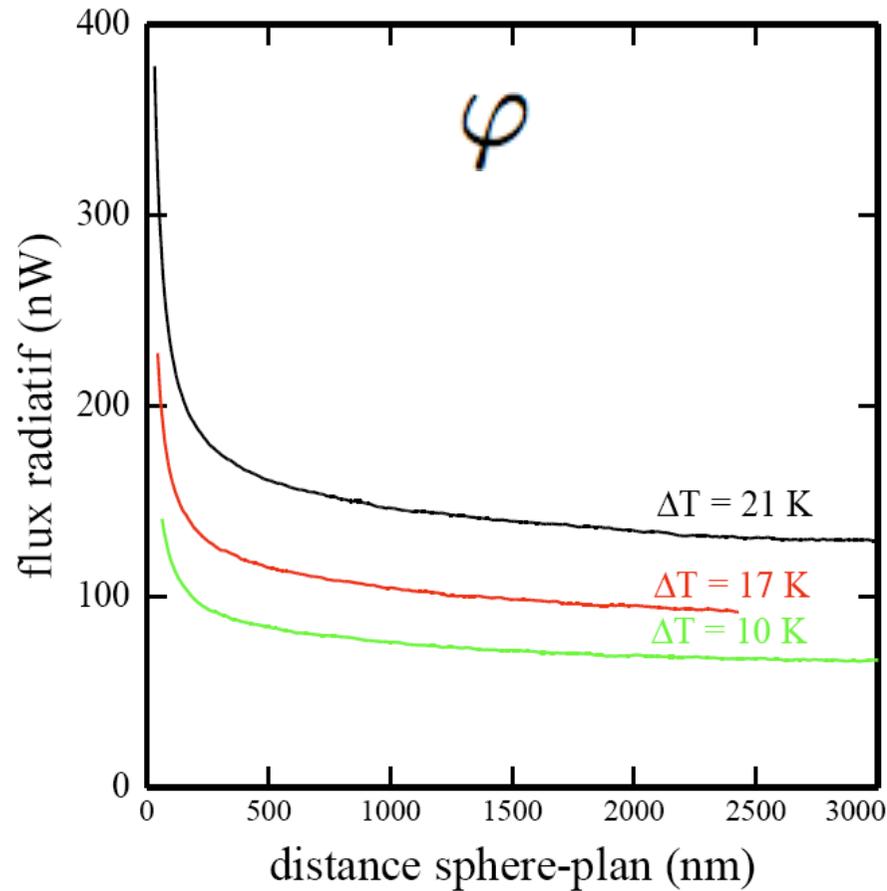


Mesures relatives: le flux mesuré est augmenté de la valeur (théorique) en champ lointain.

Détermination de la distance surface moyenne sphère-plan  
=> ajustement.

# Linéarité des flux avec la différence de température

$$\varphi = G\Delta T$$



Linéarité des flux avec la différence de température

# Dispositif expérimental

