

Inspiré de...



# Nouvelles frontières de la thermique

## **Micro et nanothermique : nanométrie thermique**

Coordonné par  
P.O. Chapuis et S. Lefèvre, CETHIL

Juin 2014

# **Techniques expérimentales**

## aux échelles nano/ micrométriques

*Etat de l'art et perspectives en nanométrie thermique,*  
S. Gomès, P.-O. Chapuis, Spectra Analyse 294, 59-68 (2013).

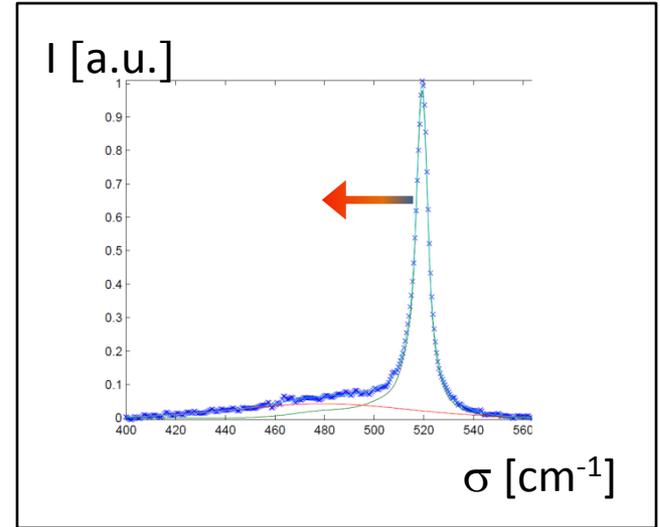
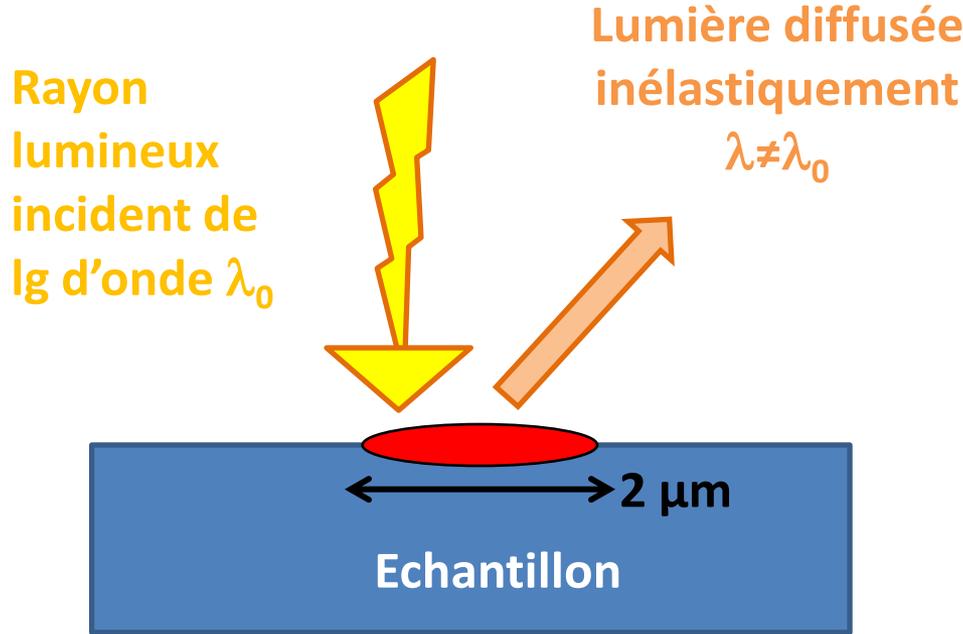
Différentes méthodes sont possibles...

### Mesures électriques ou optiques

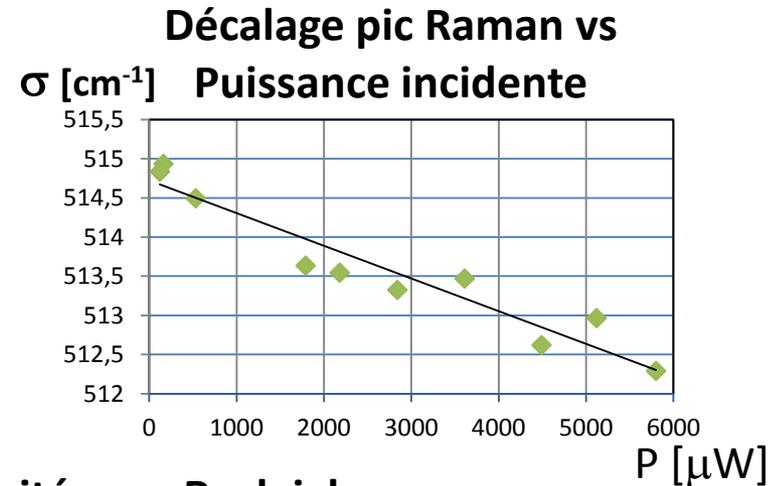
	METHODE	INCONVENIENT	AVANTAGE	RESOLUTION	SENSITIVITY
<b>CAPTEURS</b>	3 $\omega$	INVASIF	CUSTOMIZED		FABRICATION
<b>DEPOSES</b>	Th-couple, $\mu$ heaters				
<b>METHODES</b>	Thermoréfectance	CONNAITRE	VOLUME		RAYLEIGH
<b>OPTIQUES</b>	Raman	MATERIAU			
<b>SONDES</b>	SThM	SLT SURFACE	AUSSI TOPO.		SUB 100 NM ?



# Thermométrie Raman

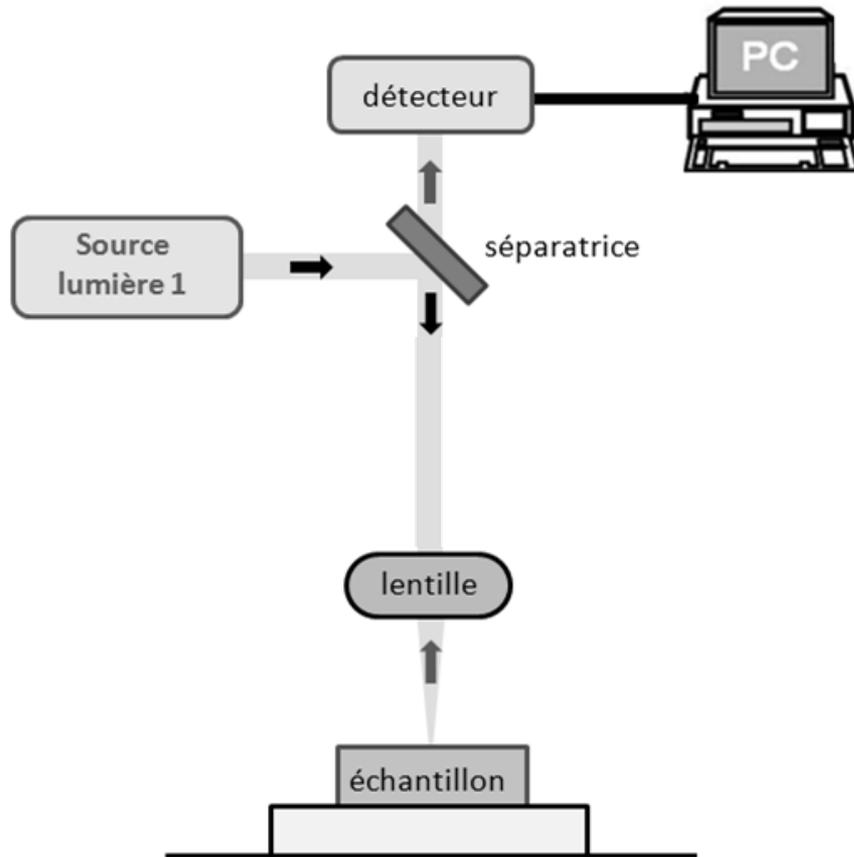


- La position du pic d'un mode de phonon dépend de la température
- La température mesurée (position du pic) dépend de la conductivité thermique de l'échantillon



→ Résolution spatiale limitée par Rayleigh

Le coefficient de réflexion optique dépend de la température :



$$R = R_0 + \frac{\partial R}{\partial T} \Delta T$$

A) Si l'échantillon est **ACTIF : Thermoréflectance**

- Illumination visible ou UV
- $\frac{\partial R}{\partial T} \sim 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ ,  
mesurable avec une détec. synchrone

B) Si l'échantillon est **PASSIF : Photoréflectance**

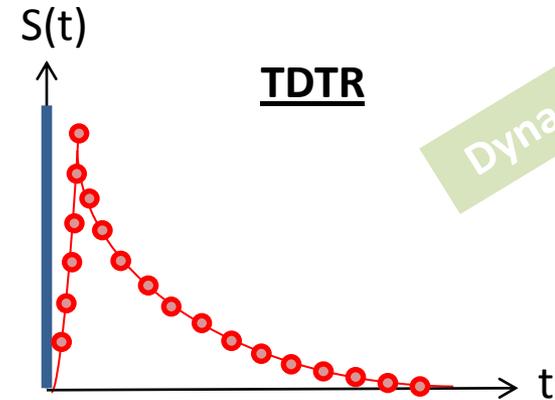
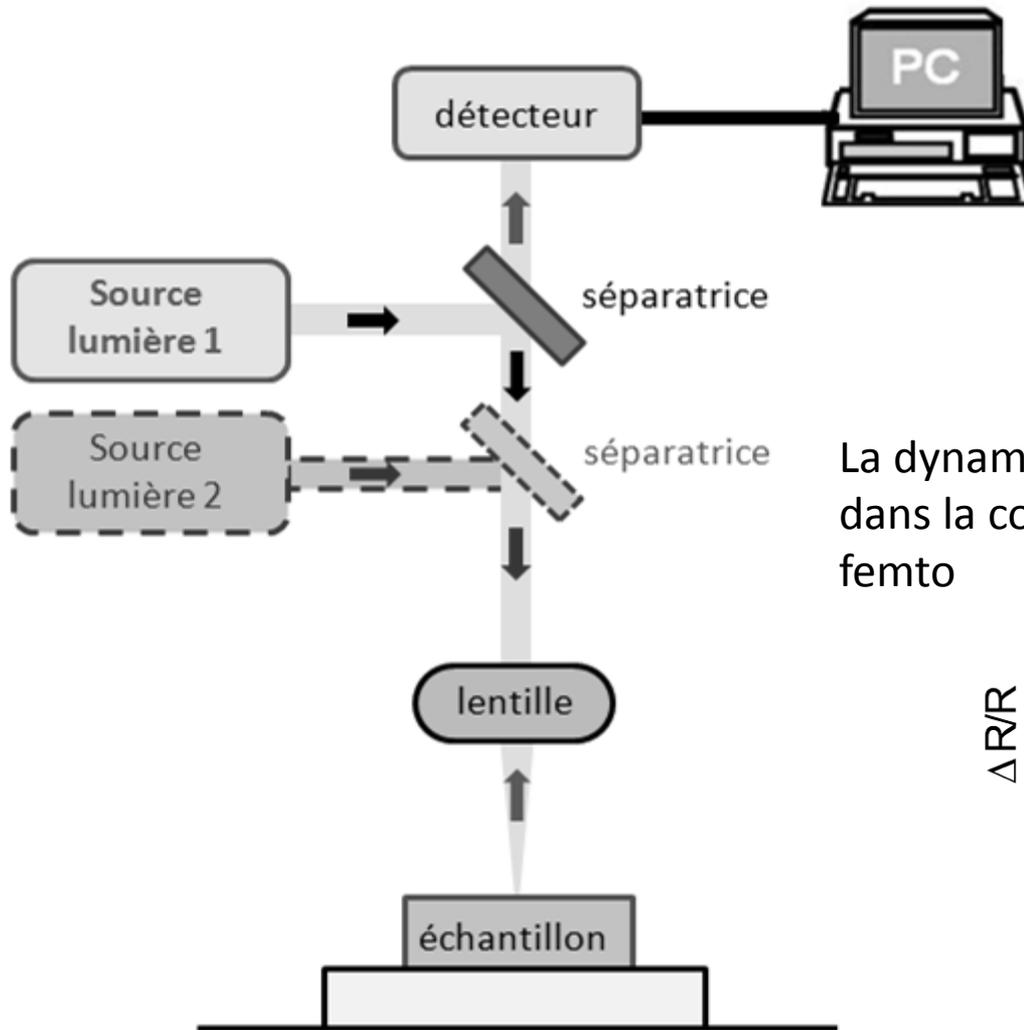
La source de chaleur est un laser modulé

La surface de l'échantillon doit être opaque (par exemple dépôt d'or  $\sim 100\text{nm}$ )

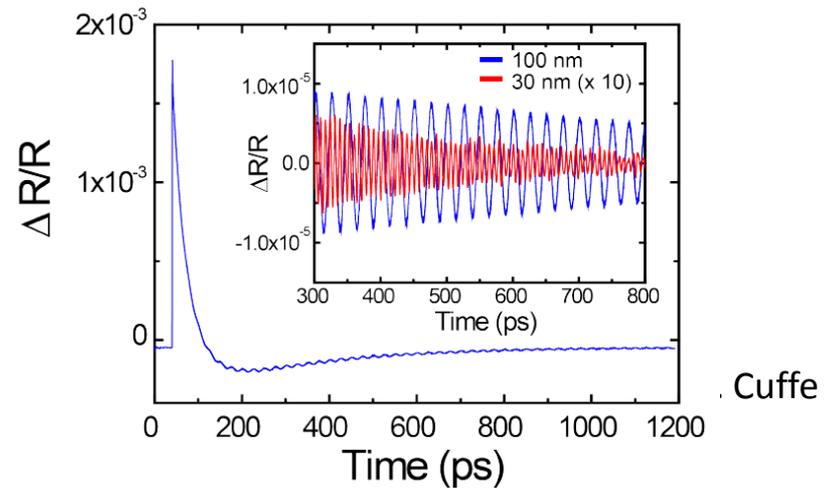
Modèle thermique associée à la mesure pour extraire la **diffusivité thermique** en analysant l'amplitude et la phase du signal collecté

→ Résolution spatiale limitée par Rayleigh

# Thermoréflectance résolue temporellement (TDTR)



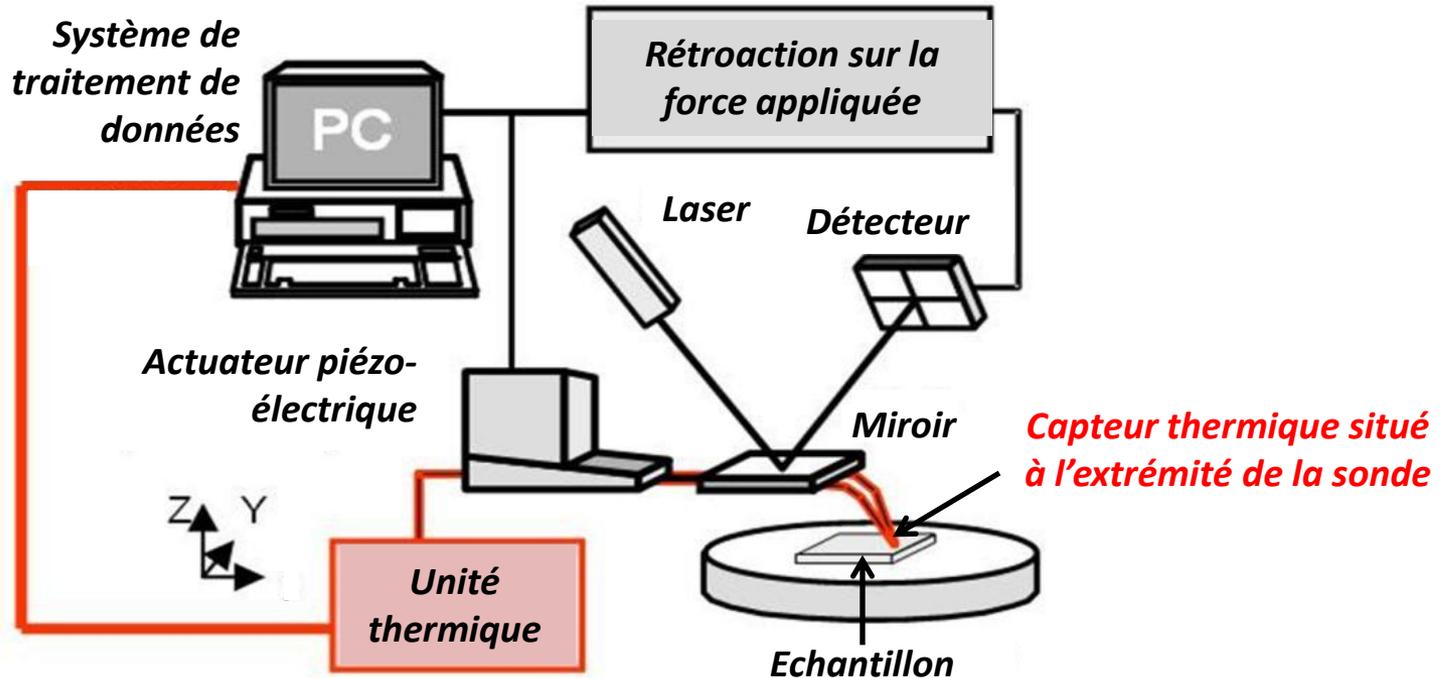
La dynamique aux temps courts peut être obtenue dans la configuration pompe-sonde avec un laser femto



→ Résolution spatiale limitée par Rayleigh

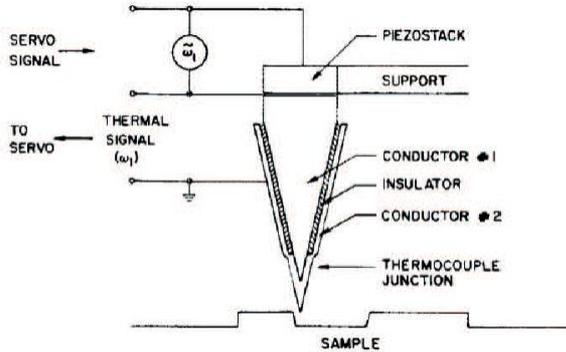
# Microscopie thermique à sonde locale SThM

## Principe

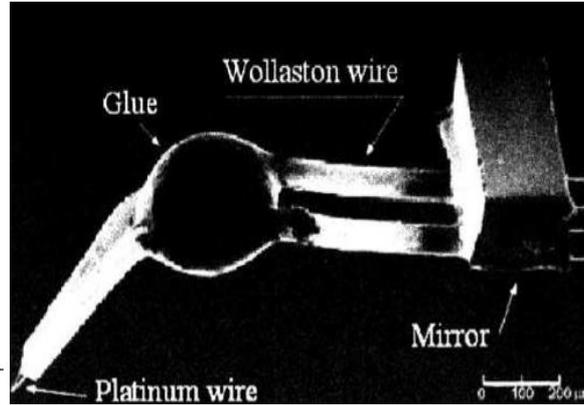


Microscopie thermique à sonde locale

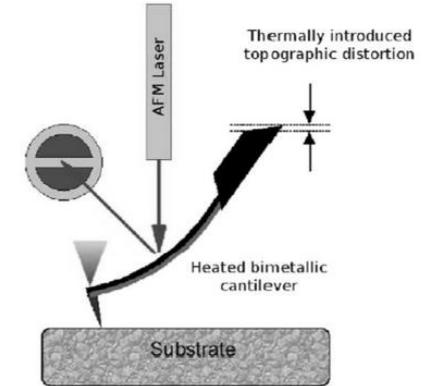
**SThM: Beaucoup de sondes**



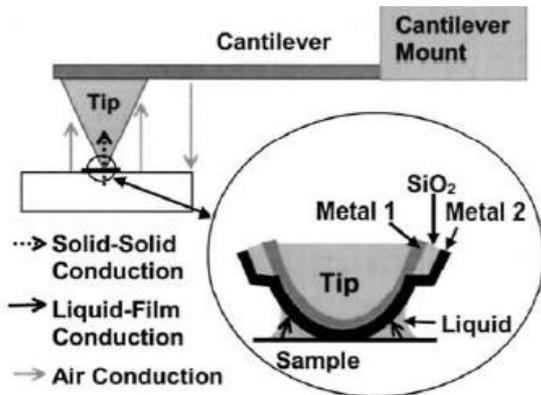
Williams & Wickramasinghe, *Scanning thermal profiler*, APL 1986



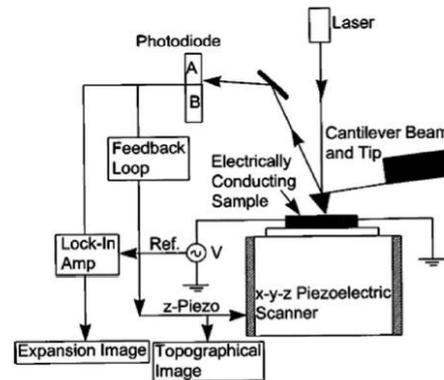
Pointe thermorésistive Wollaston, Dinwiddie 1994



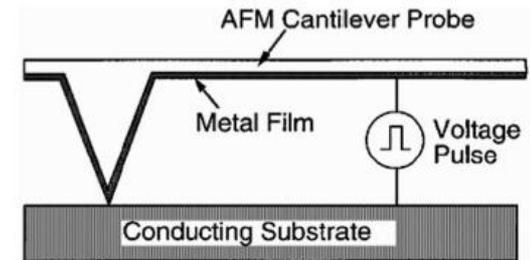
Sonde à effet bilame Nakabeppu, APL 1995



Thermocouple Majumdar & Li Shi (1995-...)



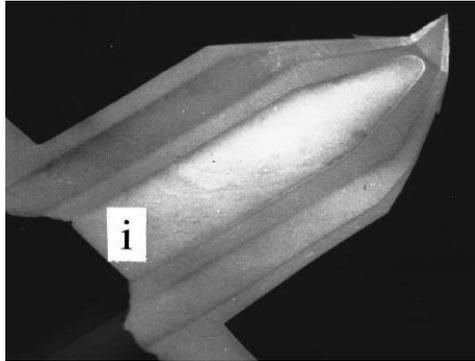
Mesure de la dilatation thermique Varesi, APL 1998



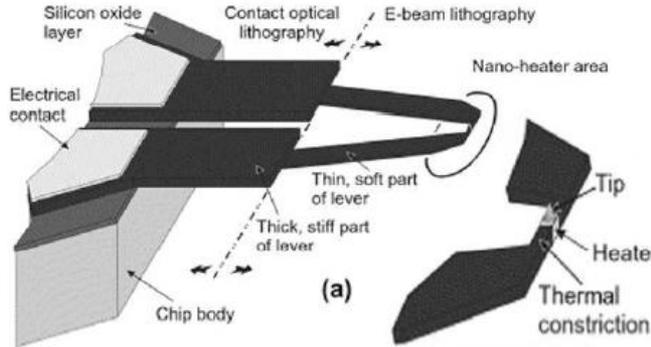
Thermocouple intrinsèque (échantillon métallique) Luo (1998-...)

# Microscopie thermique à sonde locale

## Vraiment beaucoup de sondes...

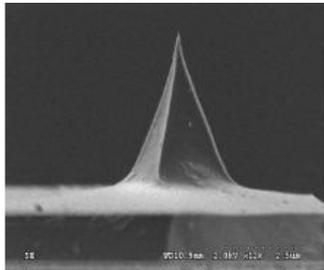


Thermocouple, Glasgow  
APL 1998

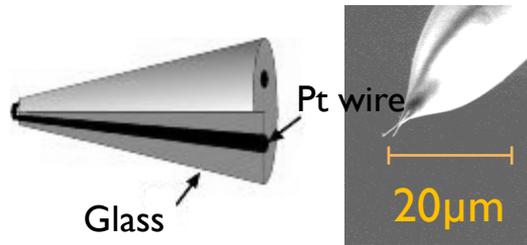


Pointe avec particule fluorescente,  
Aigouy, APL 2003

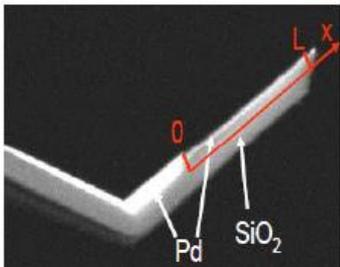
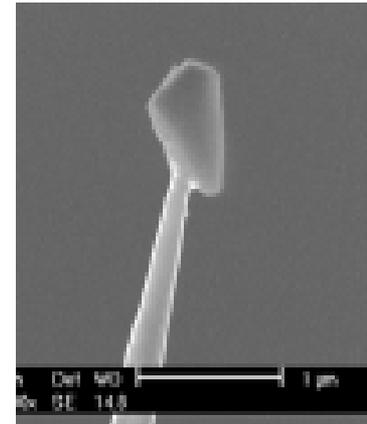
“Millipede”, IBM Zürich, 1998-...



Si



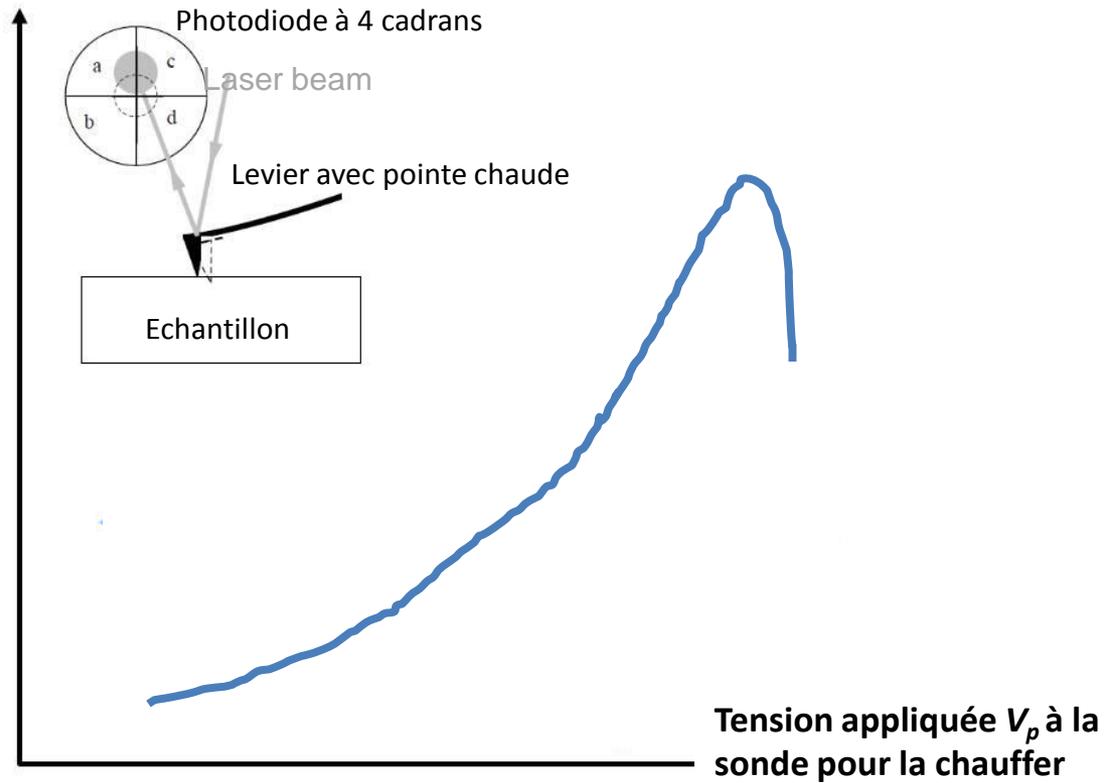
Nanonics, “tapping thermique”..., 2010-



Pd

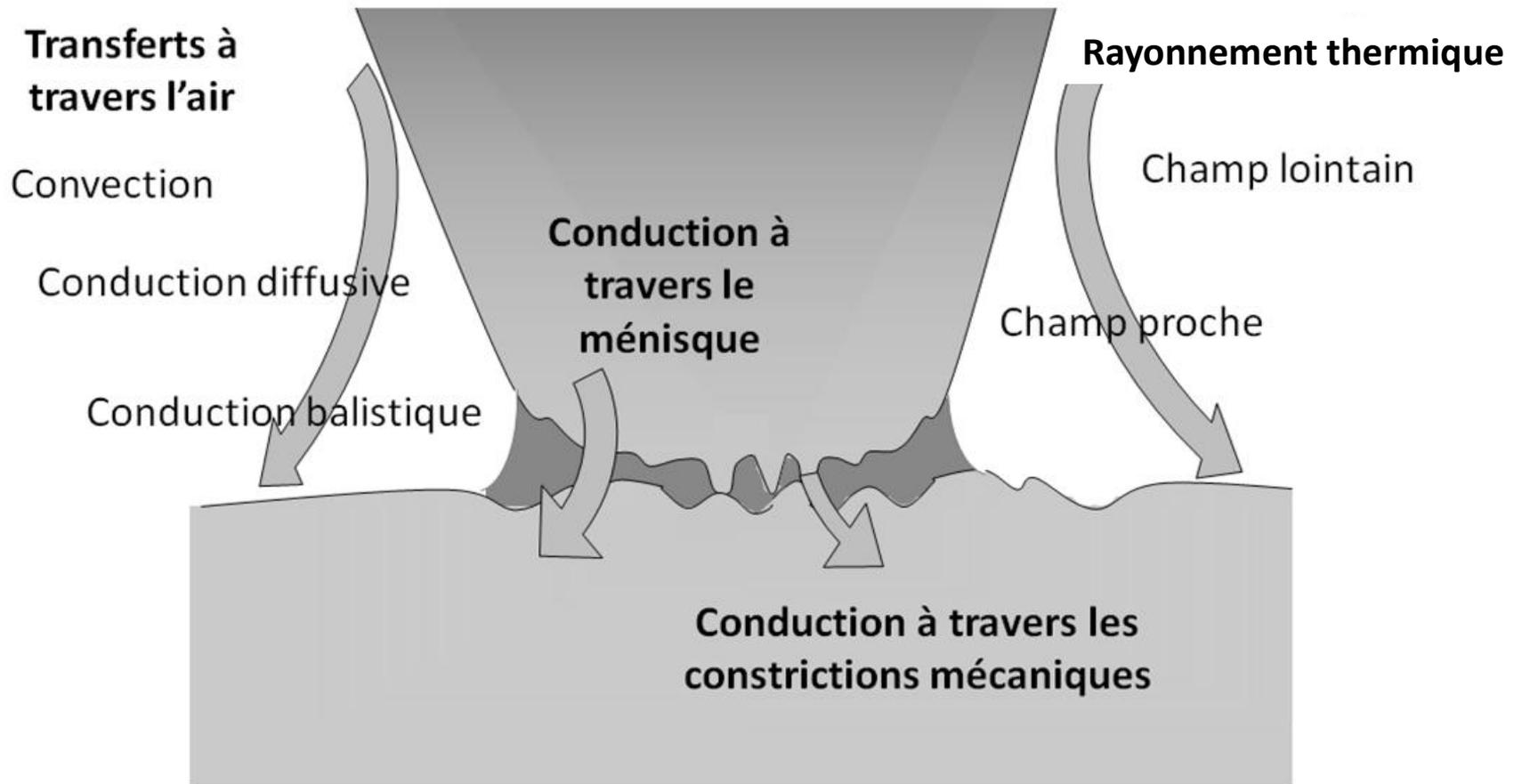
## Calorimétrie locale

Déflexion du levier



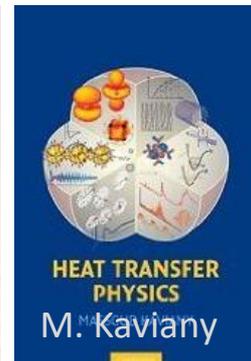
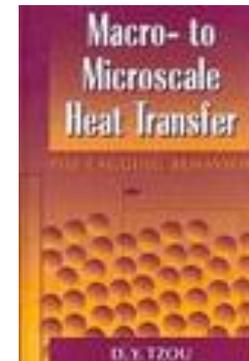
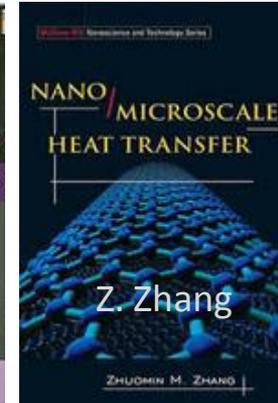
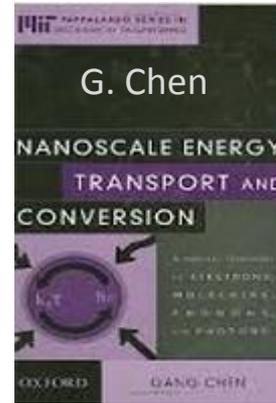
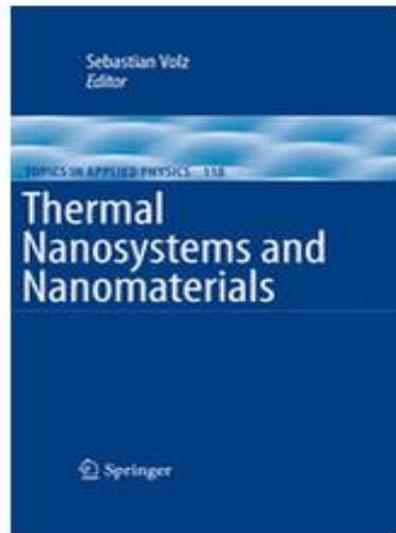
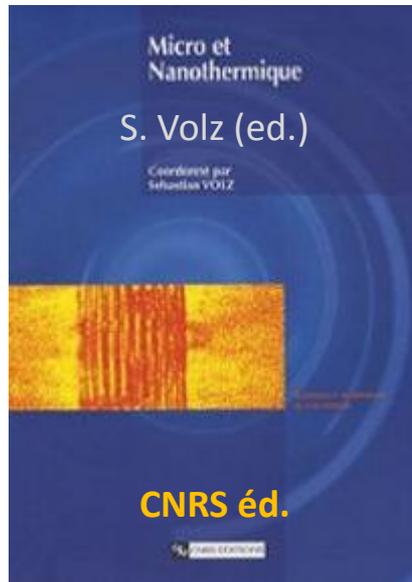
## Différents modes de transferts thermiques entre la sonde et l'échantillon

→ L'analyse quantitative est-elle possible ?



**Quelques sources de documentation**

pour finir !



- GDR Micro et nanothermique
- Groupe SFT Micro et nanothermique
- Projet européen QUANTIHEAT