

# Etude des propriétés physiques de nanoobjets par Microscopie à Force Atomique (AFM) et par spectroscopie femtoseconde.



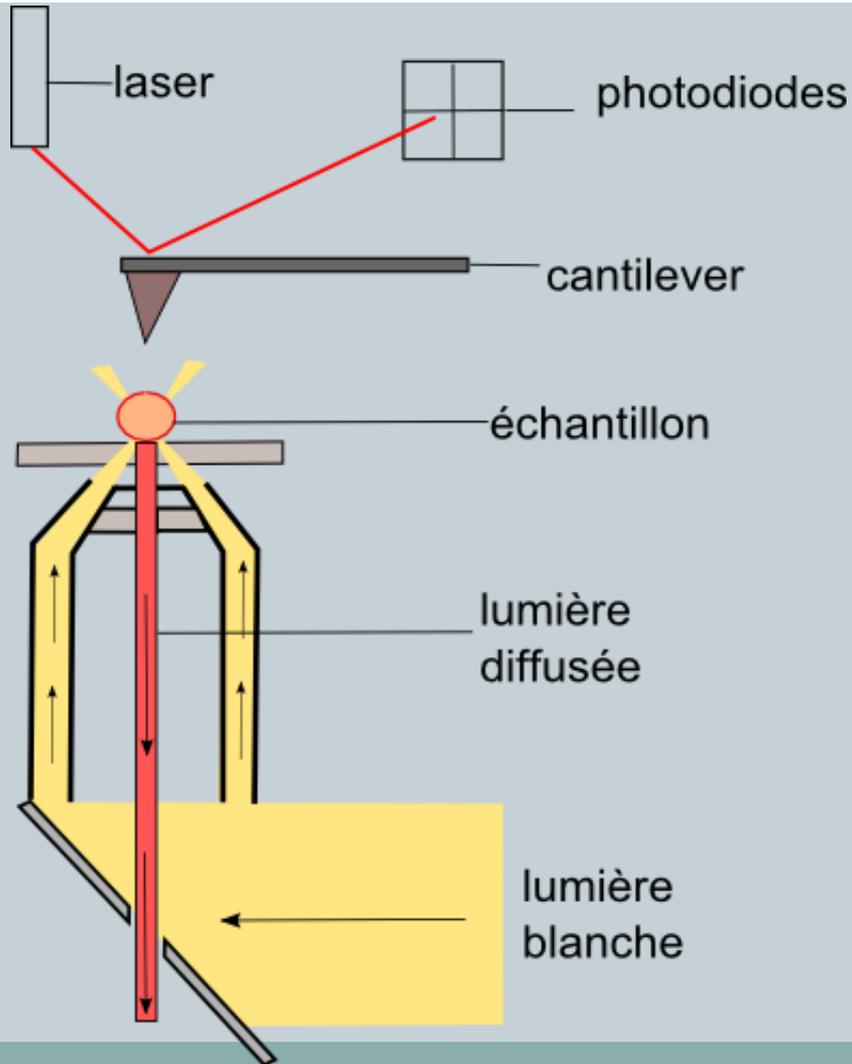
**Anaïs Coline Machado**  
**Jean Baptiste Perraud**

STAGE MASTER 1 RECHERCHE

NANO OPTICS GROUP  
RESP : J. Burgin, P. Langot

LABORATOIRE ONDES ET MATIÈRE D'AQUITAINE

# Microscope principe



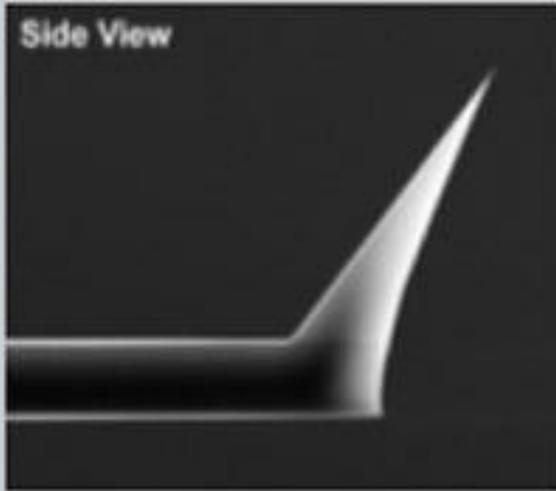
## ● AFM :

- Mesure de la **dévi**ation du capteur à force
- Mode de fonctionnement **tapping**
- Grandeurs caractéristiques :
  - ✦ Cantilever **100 à 500  $\mu\text{m}$**
  - ✦ Pointe **15 à 20  $\mu\text{m}$**
  - ✦ Rayon de courbure pointe **10 nm**

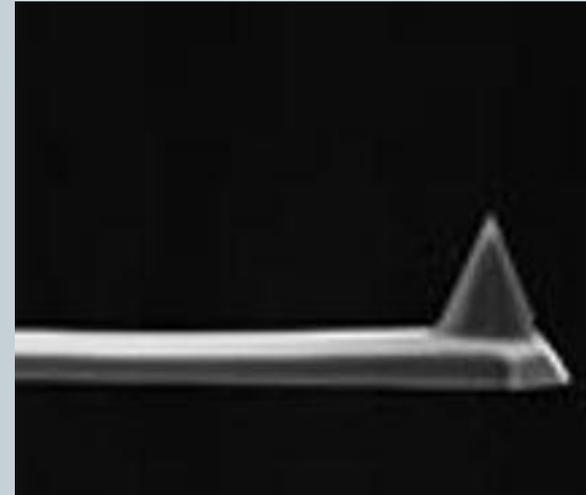
## ● Champ noir

- Visualisation de la lumière diffusée
  - ✦ Particules métalliques **>15 nm**

# Les pointes Nanosensor



Pointe Atec Nc



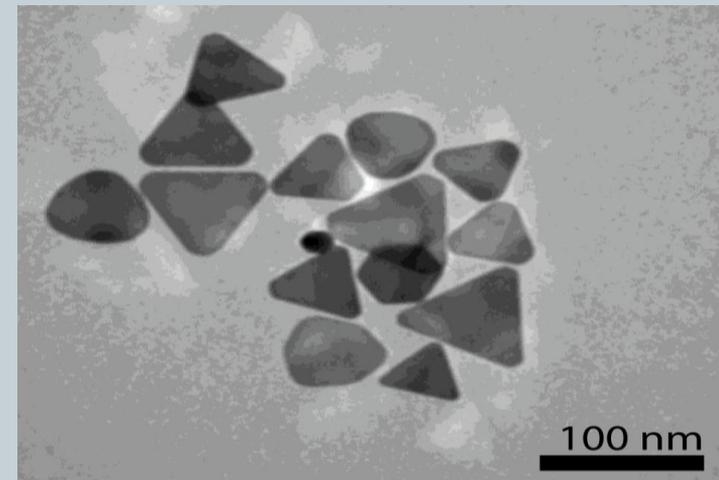
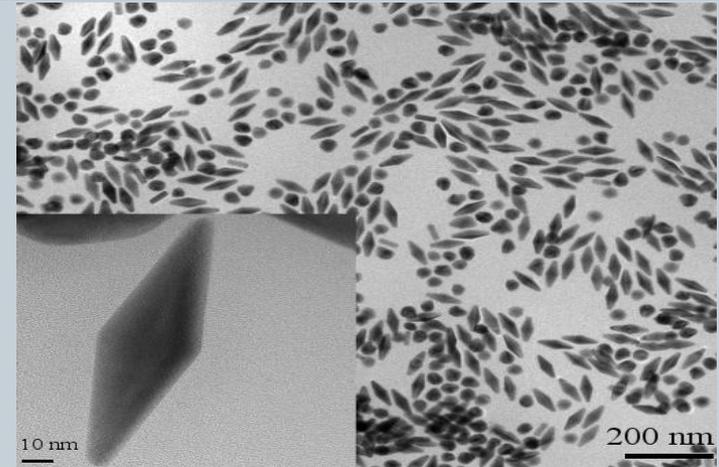
Pointe PPP NCL

	Fréquence d'oscillation kHz	Raideur N/m
Atec Nc	300	45
PPP NCL	160	48

# Nano-bipyramides d'or et nano-triangles d'argent



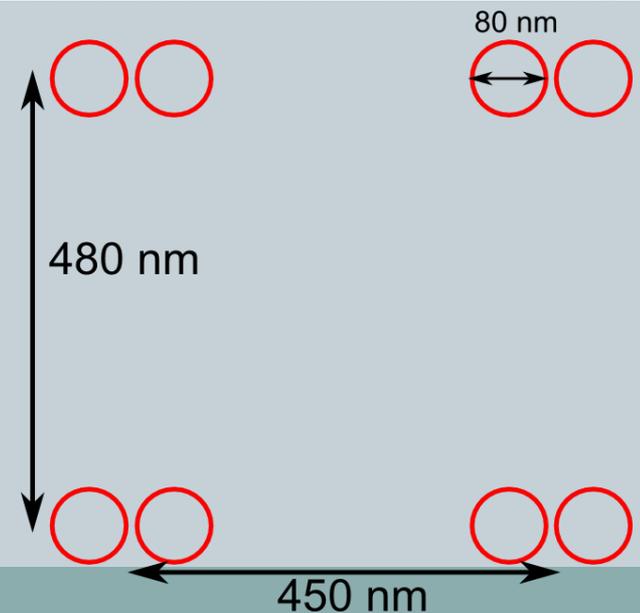
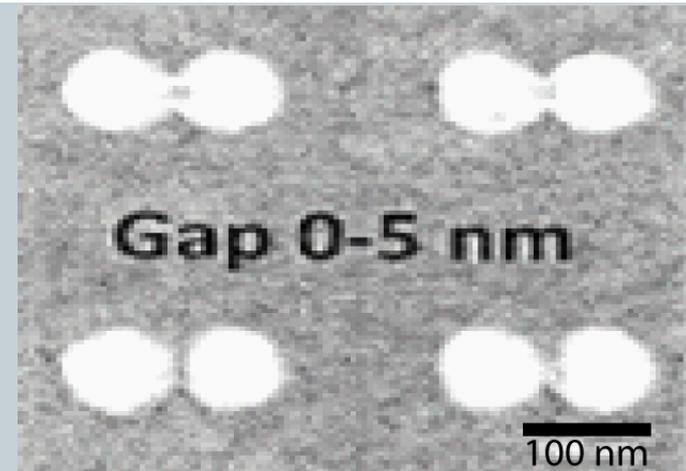
- Synthèse par croissance sur germes (ICMCB, Bordeaux)
- croissance anisotrope
- Dimensions moyennes des bipyramides:  
Longueur **94 nm**  
Hauteur **31 nm**
- Dimensions moyennes des triangles:  
côtés **65 nm**  
épaisseur **5 nm**



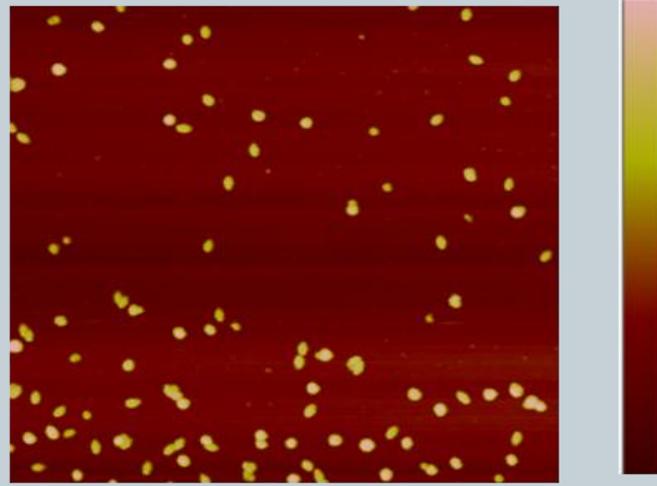
# Echantillon lithographié de plots d'or



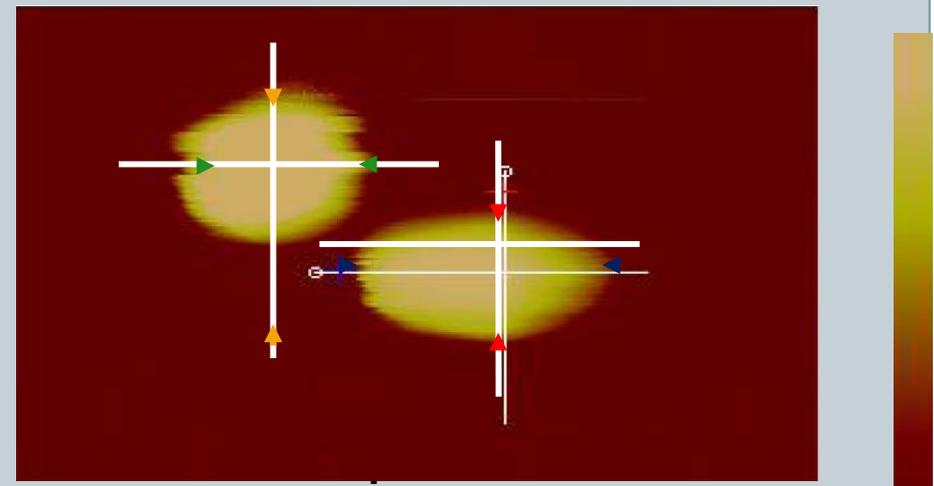
- Méthode de lithographie « lift off » (UTT Troyes) :
  - Impression de motif sur un polymère à partir d'un MEB
  - Vaporisation d'une couche d'or
  - Suppression du polymère à l'acétone
- Dimension des plots :
  - Diamètre : **80 nm**
  - Hauteur : **30 nm**
- Périodes :
  - Horizontale : **450 nm**
  - Verticale : **480 nm**
- Espacement des plots
  - dépend de leurs positions dans l'échantillon **5 nm ou 10 nm**



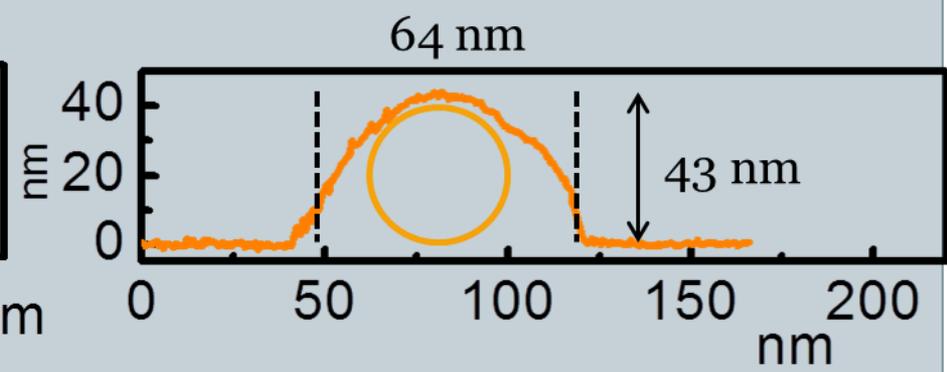
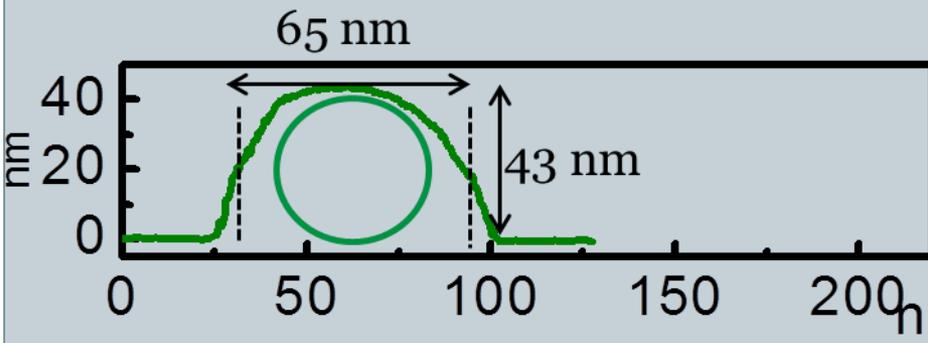
# Etude AFM de l'échantillon synthétisé



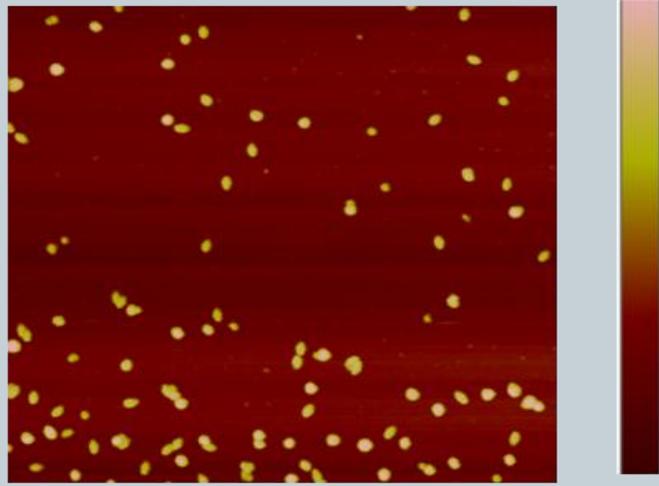
0  $\mu\text{m}$  3  $\mu\text{m}$



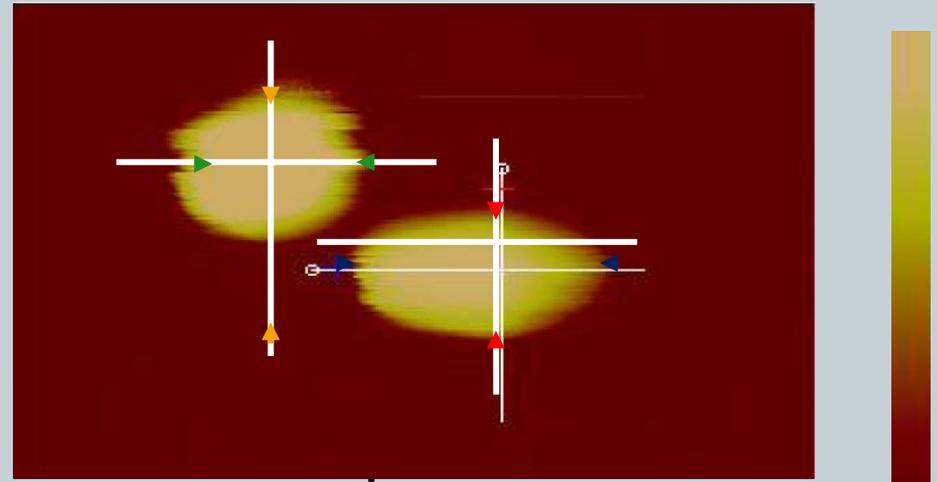
0 nm 300 nm



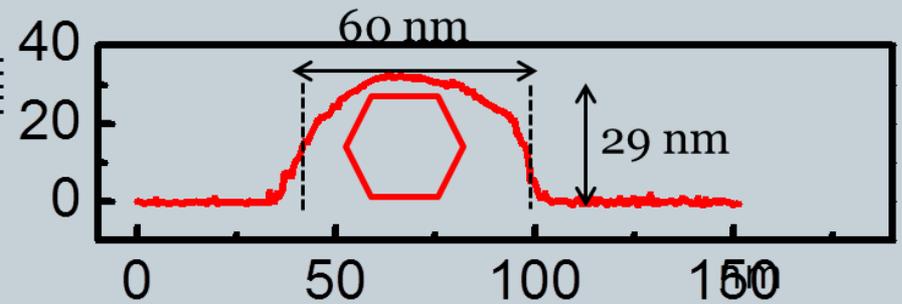
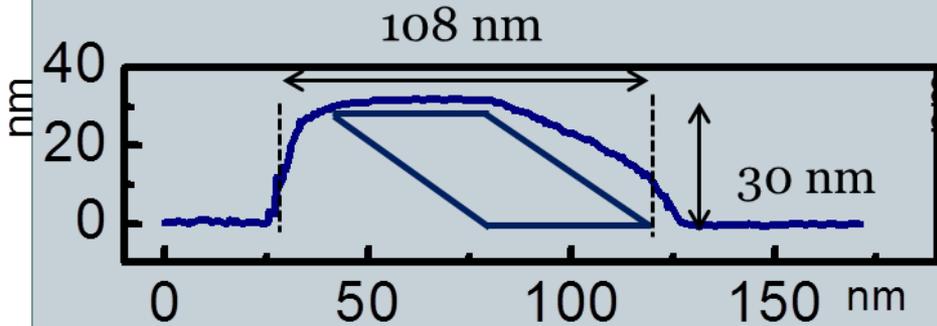
# Etude AFM de l'échantillon synthétisé



0  $\mu\text{m}$  3  $\mu\text{m}$



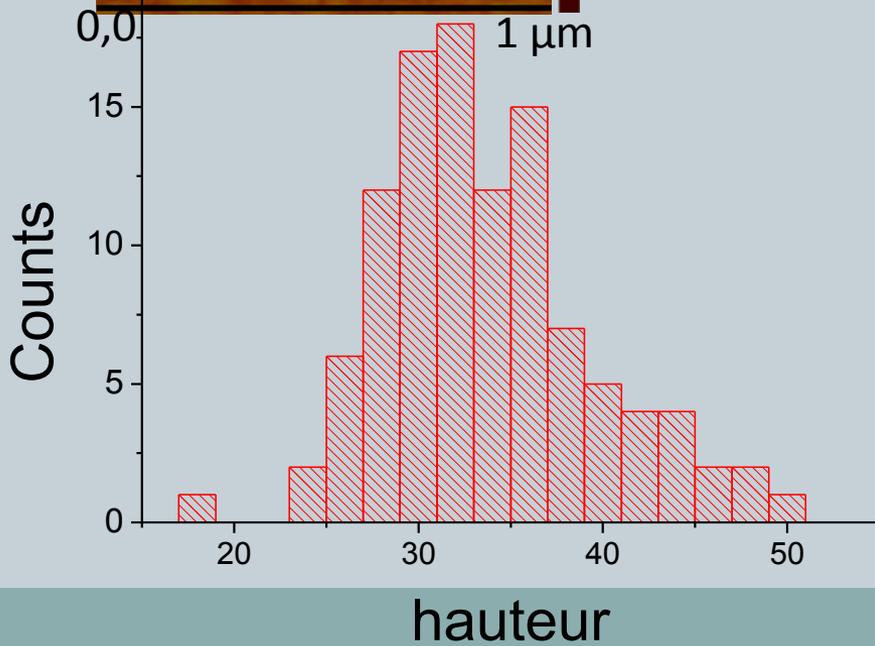
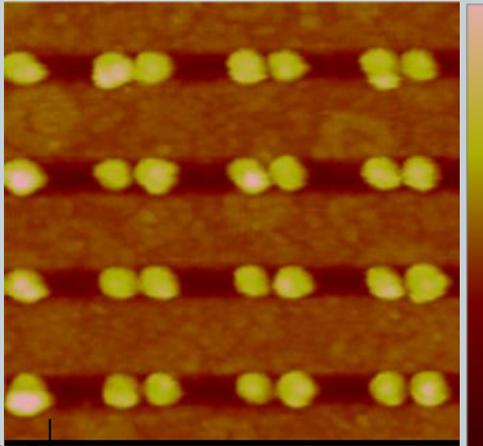
0 nm 300 nm



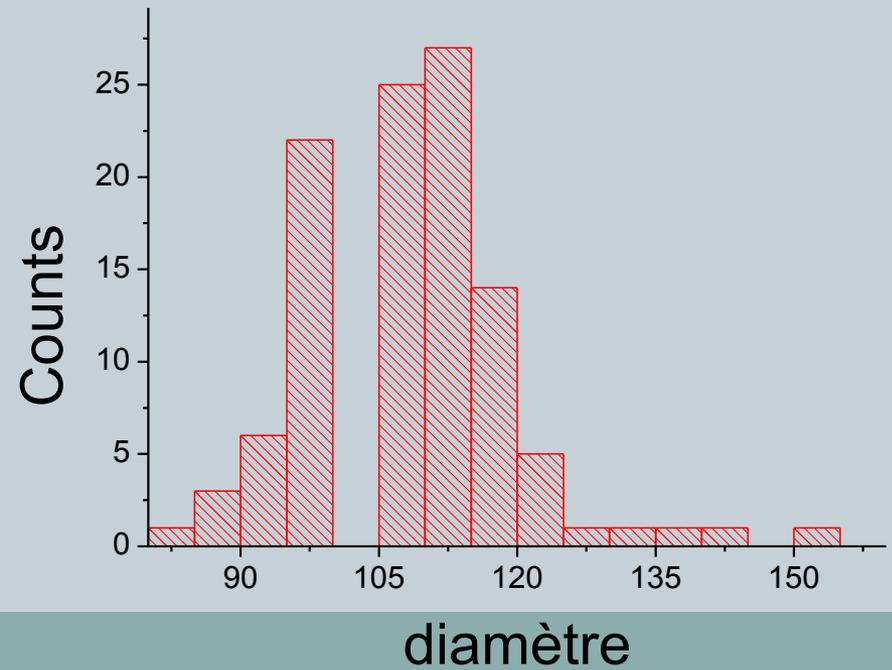
# Etude AFM de l'échantillon lithographié



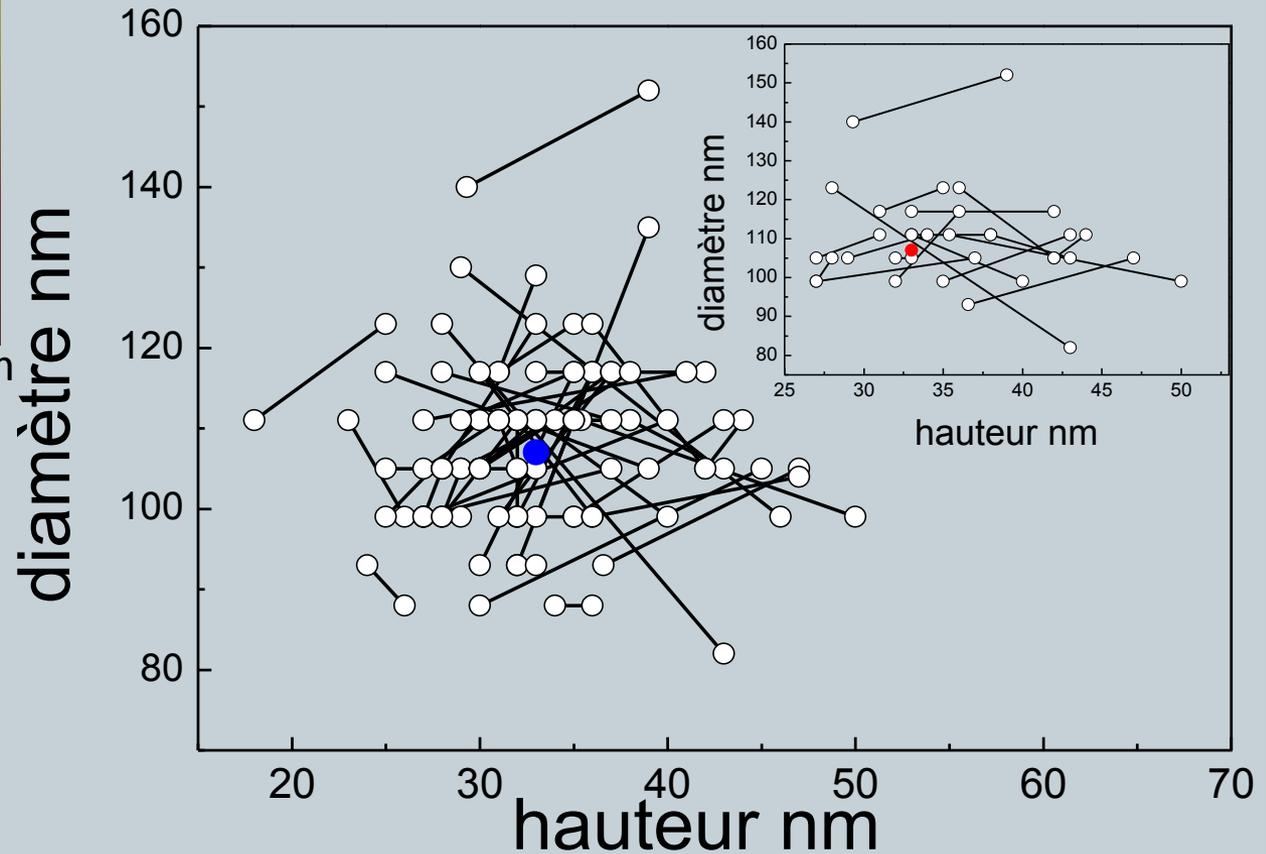
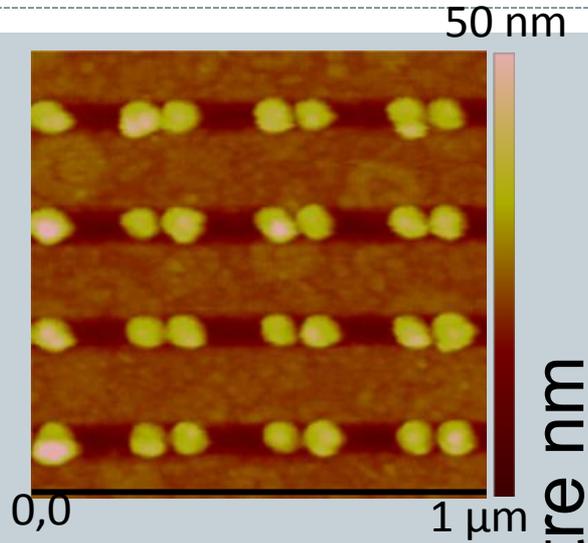
50 nm



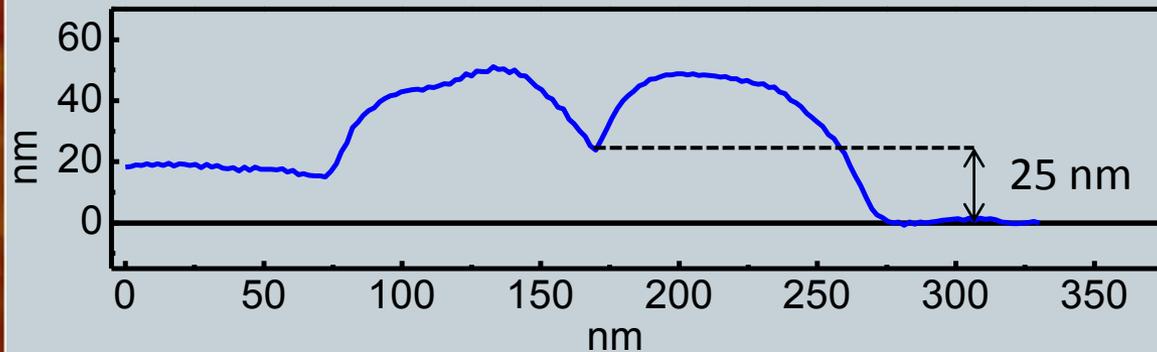
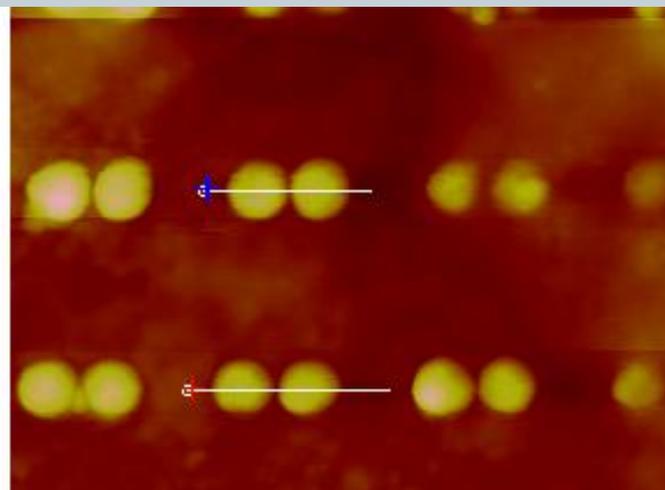
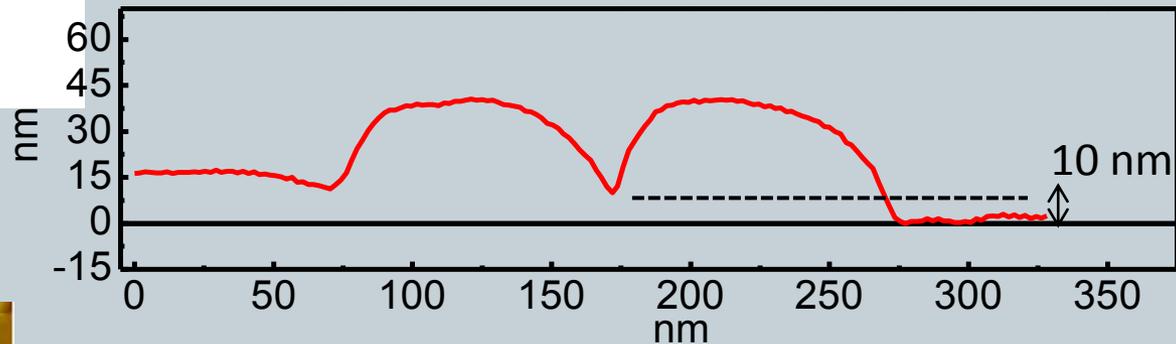
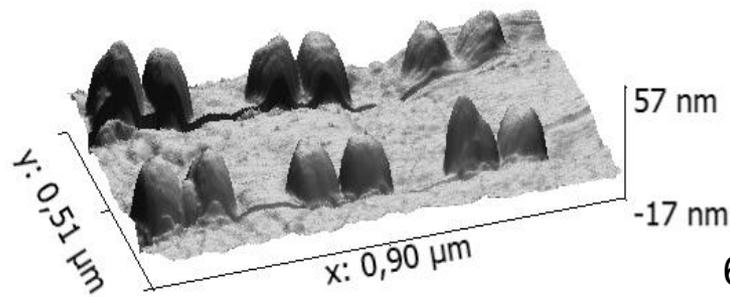
- Hauteur
  - Moyenne : **33 ± 6 nm**
- Diamètre
  - Moyenne : **107 ± 11 nm**



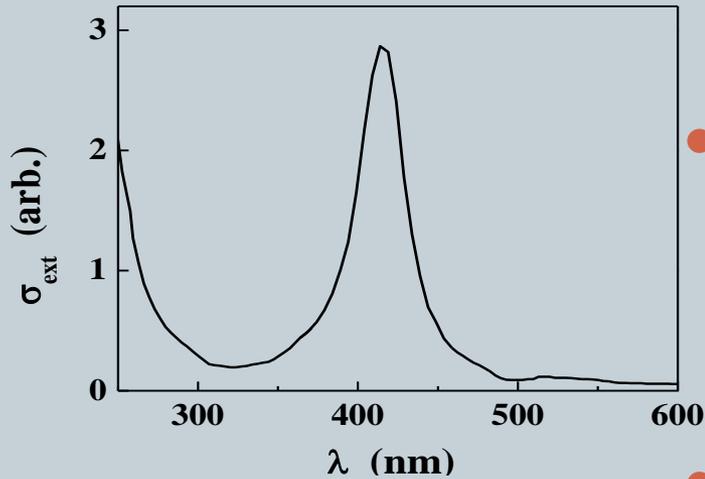
# Etude AFM de l'échantillon lithographié



# Etude AFM de l'échantillon lithographié



# Propriétés physiques des nano-objets métalliques

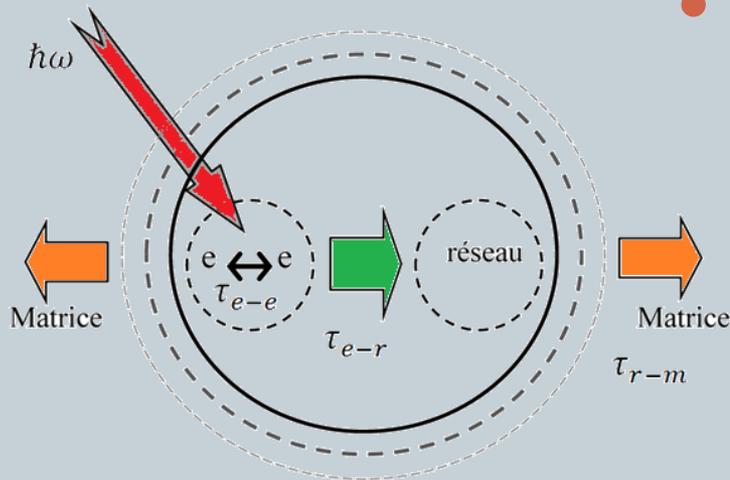


- **Optique**

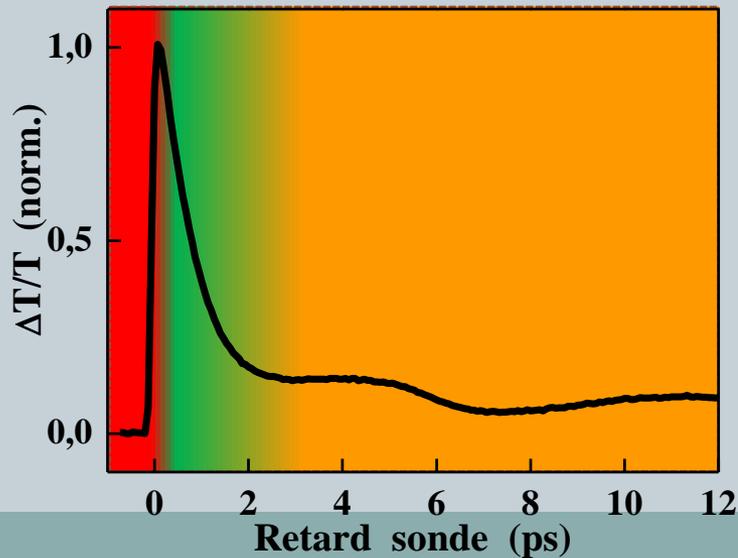
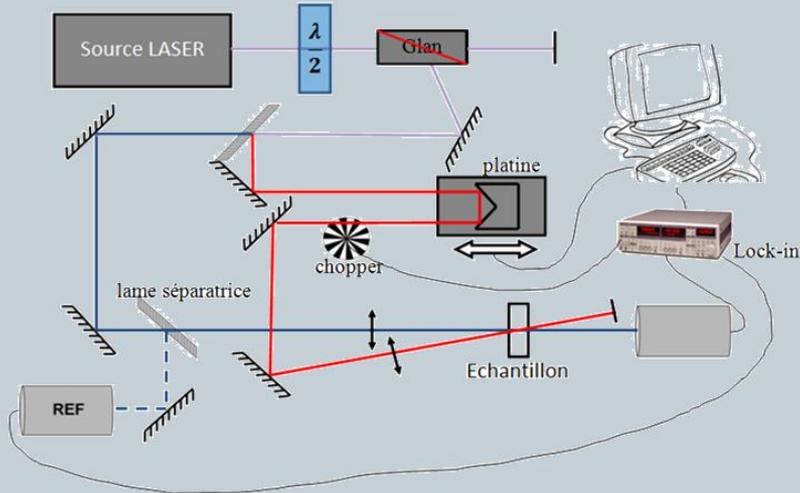
- Résonance plasmon de surface (RPS)  
→ forme – taille – matériau

- **Électroniques et vibrationnelles :**

- Thermalisation interne du gaz d'électron après excitation impulsionnelle des photons ( $\approx 100\text{fs}$ )
- Transfert d'énergie au réseau ( $\approx 500\text{fs}-1\text{ps}$ )
- Transfert d'énergie à la matrice environnante – vibrations acoustiques ( $\approx 5\text{ps}-50\text{ps}$ )



# Spectroscopie pompe-sonde résolue en temps



- Source laser impulsionnelle femtoseconde (Chameleon Ultra II) (680 nm – 1080 nm)
- Cadence de 80 MHz, durée impulsion 150 fs, puissance en sortie (0-3W)
- Retard pompe-sonde modifiable avec platine de translation et coin cube
- Mesure de transmission dans l'échantillon avec lock-in :
  - Détection synchrone : chopper
  - Mesure différentielle
- Puissance pompe de 1 à 500 mW

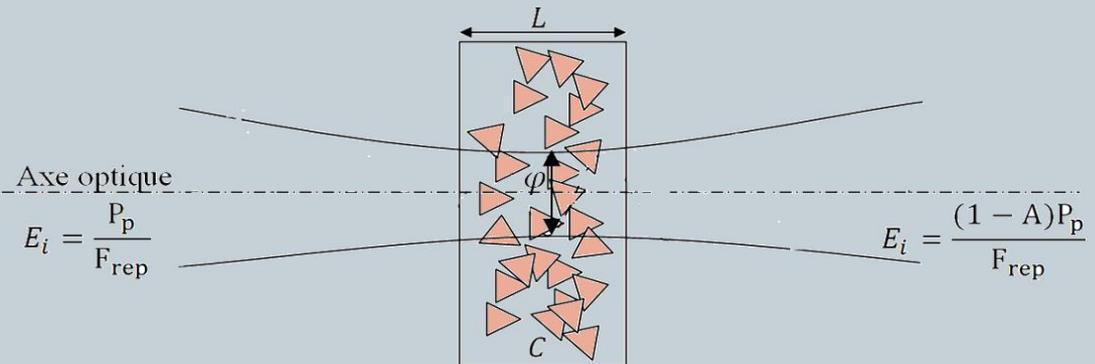
# Température initiale d'excitation électronique

- Nombre moyen de photons absorbés par nanoparticule par impulsion
- Augmentation de densité d'énergie

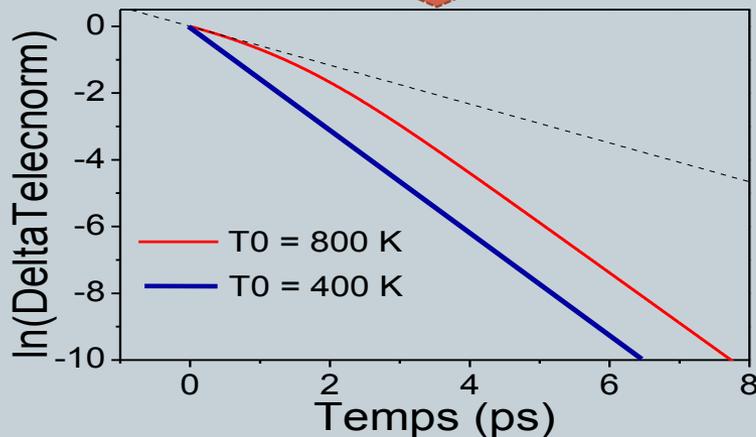
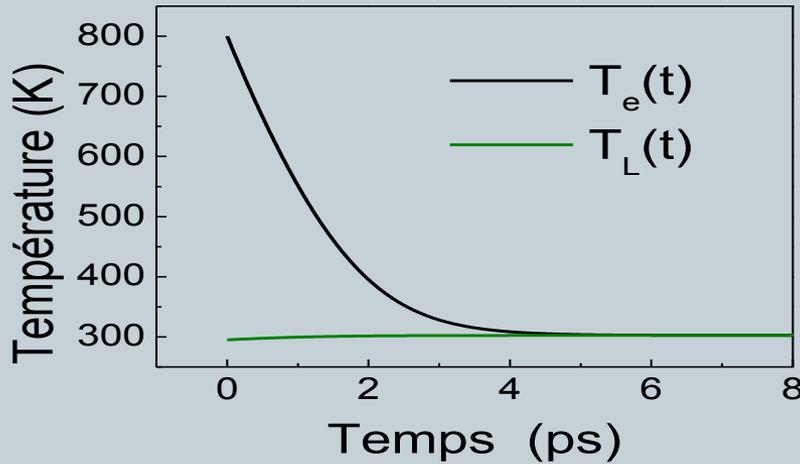
$$\langle N \rangle = \frac{A P_p}{F_{rep}} \frac{1}{\hbar\omega} \frac{1}{C V_{\text{éclairé}}}$$

$$\Delta u = \frac{\langle N \rangle}{V_{\text{triangle}}} \hbar\omega = \frac{A P_p}{F_{rep}} \frac{1}{C V_{\text{éclairé}} V_{\text{triangle}}}$$

Pp (mW)	1	40
$\langle N \rangle$	124	4960
Te (0) (K)	443	2113



# Transfert d'énergie: modèle à deux températures



- Deux bains thermiques

$$\begin{cases} C_e(T_e(t)) \frac{dT_e(t)}{dt} = -G(T_e(t) - T_L(t)) \\ C_L(T_L(t)) \frac{dT_L(t)}{dt} = G(T_e(t) - T_L(t)) \end{cases}$$

→ Résolution numérique : Logiciel Maple

- $T_e(t)$  faible →  $C_e$  et  $C_L$  constant

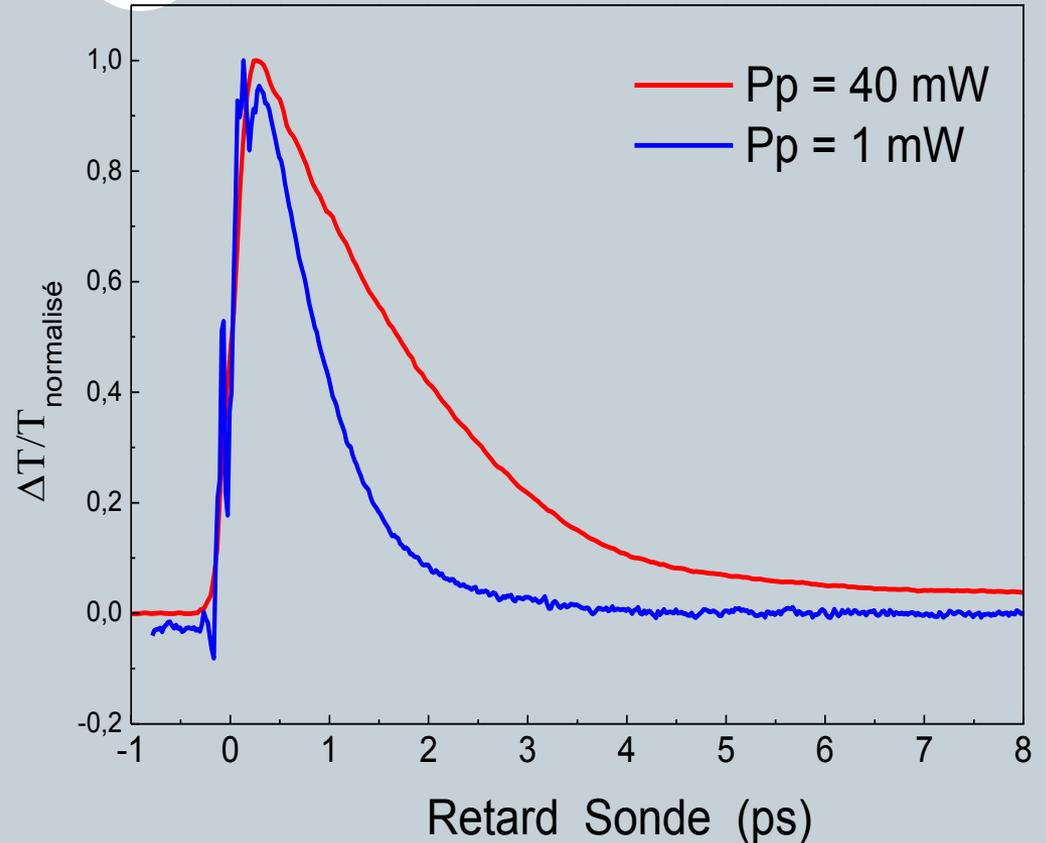
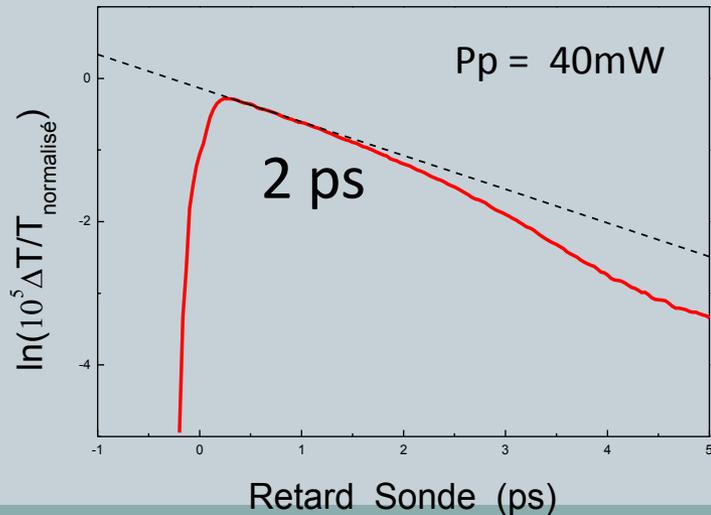
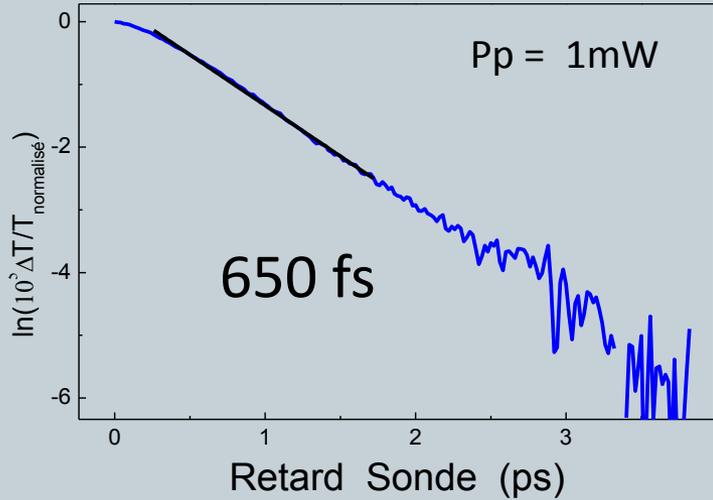
$$T_e(t) = \frac{C_L \Delta T_{init}}{C_e + C_L} \cdot \exp\left(-G \left(\frac{1}{C_e} + \frac{1}{C_L}\right) (t - t_0)\right)$$

→ Temps électron-phonon :

$$\frac{1}{\tau_{e-ph}} = G \left(\frac{1}{C_e} + \frac{1}{C_L}\right)$$

$G$ , constante de couplage électron-phonon

# Résultats expérimentaux : nanotriangles d'argent



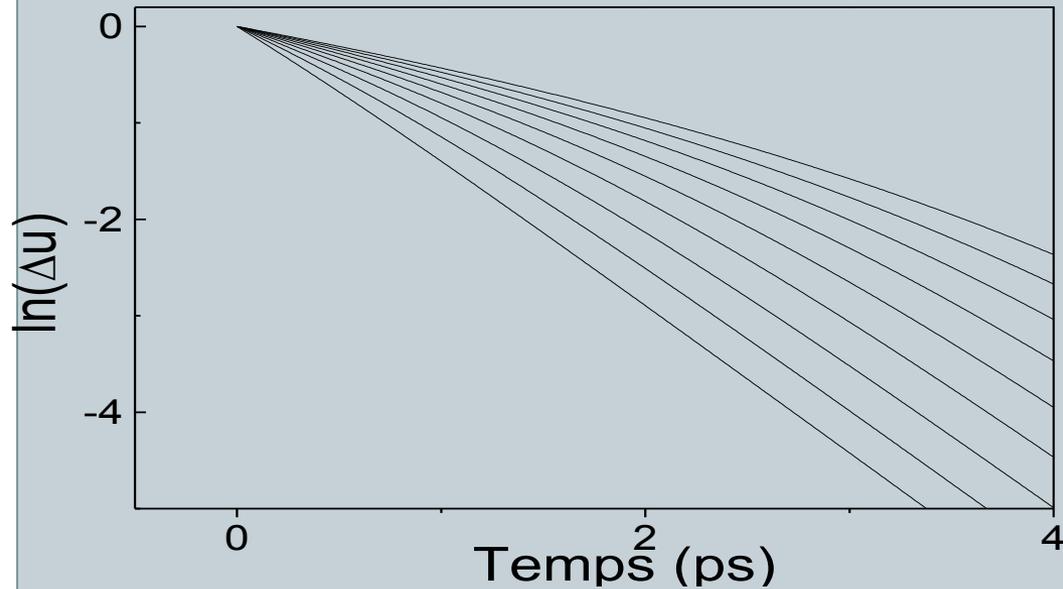
Faible puissance de pompe :

→ Mesure de temps électron-phonon  $\tau_{e-ph}$

# Simulations et expérience

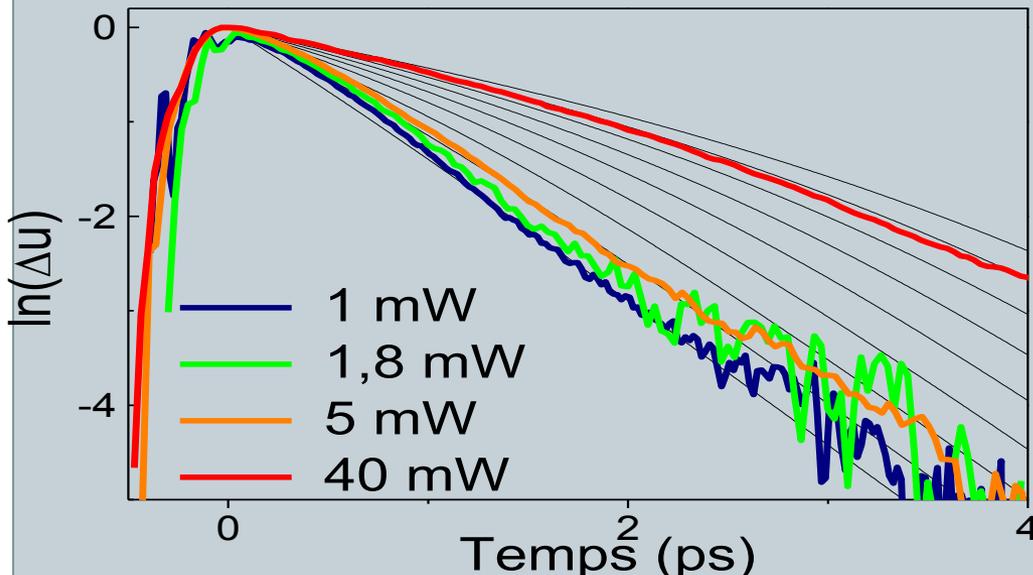


- Modèle deux températures + résultats expérimentaux :



# Simulations et expérience

- Modèle deux températures + résultats expérimentaux :



$P_p$ (mW)	1	1,8	5	40
$T_{\text{exc}}$ ((K)	443	533	796	2113
Abaque : T (K)	400	500	600	1800

- Températures calculées surestimées :
  - Concentration de la solution, taille des nano-objets

→ Critères simples pour les expérimentateurs mesurant des  $\tau_{e-ph}$

# Conclusion



- AFM bipyramides : profils asymétriques
- AFM Litho : Statistiques sur les tailles, Visualisation de gaps de 10 nm
- Spectroscopie résolue en temps :
  - Modèle à deux températures vs Expériences
  - Critères fiable pour estimer les températures d'excitation et déterminer  $\tau_{\text{eph}}$ .

# Remerciements



- **LOMA**
  - J. Burgin, P. Langot, J. Oberlé
  - Benoit Da Costa Fernandes
  - Fabien Moroté (Plateforme NanoSpectro Imagerie, NSI)
  - Hatim Baida
  
- **ICMCB**
  - Aurélie Le Beulze, Miguel Spuch Calvar, Mona Treguer
  
- **LNIO**
  - Pierre Michel Adam

# Annexe pointe



	Pointe	raideur N/m	fréquence Khz	Masse1 kg
Tapping	atec NC	45	335	1E-11
	ppp ncl	48	190	3,4E-11
Contact	atec	0,2	15	2,3E-11
	ppp cont	0,2	13	3E-11
modulation	atec	2,8	85	9,8E-12
	ppp fm	2,8	75	1,3E-11