



Lien entre acoustique et thermique en excitation ultra-brève

Clément Rossignol ⁽¹⁾

Jean Luc Battaglia ⁽²⁾

Vincent Schick ⁽²⁾

(1) Laboratoire de Mécanique Physique
Université Bordeaux 1 CNRS
351, Cours de la Libération
33405 TALENCE cedex

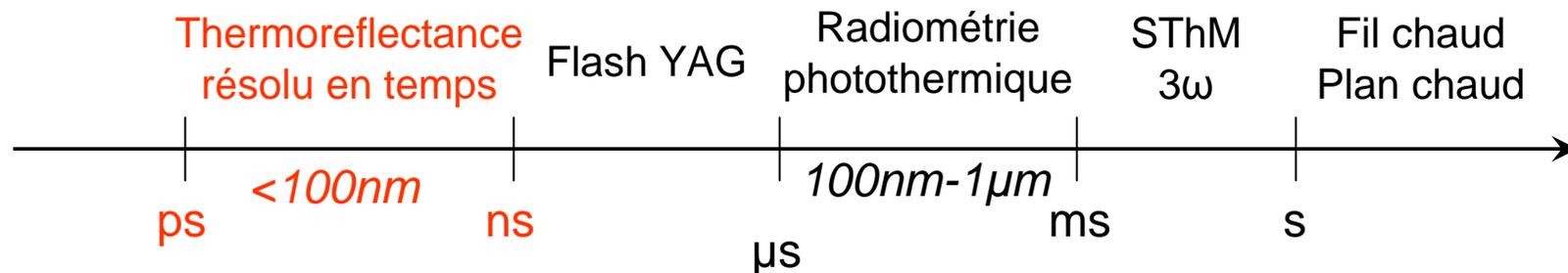
(2) Laboratoire TRansfert Ecoulement FLuide Energetique
Université Bordeaux 1
Esplanade des Arts et Métiers
33405 TALENCE cedex

Journée SFT 17/12/2009



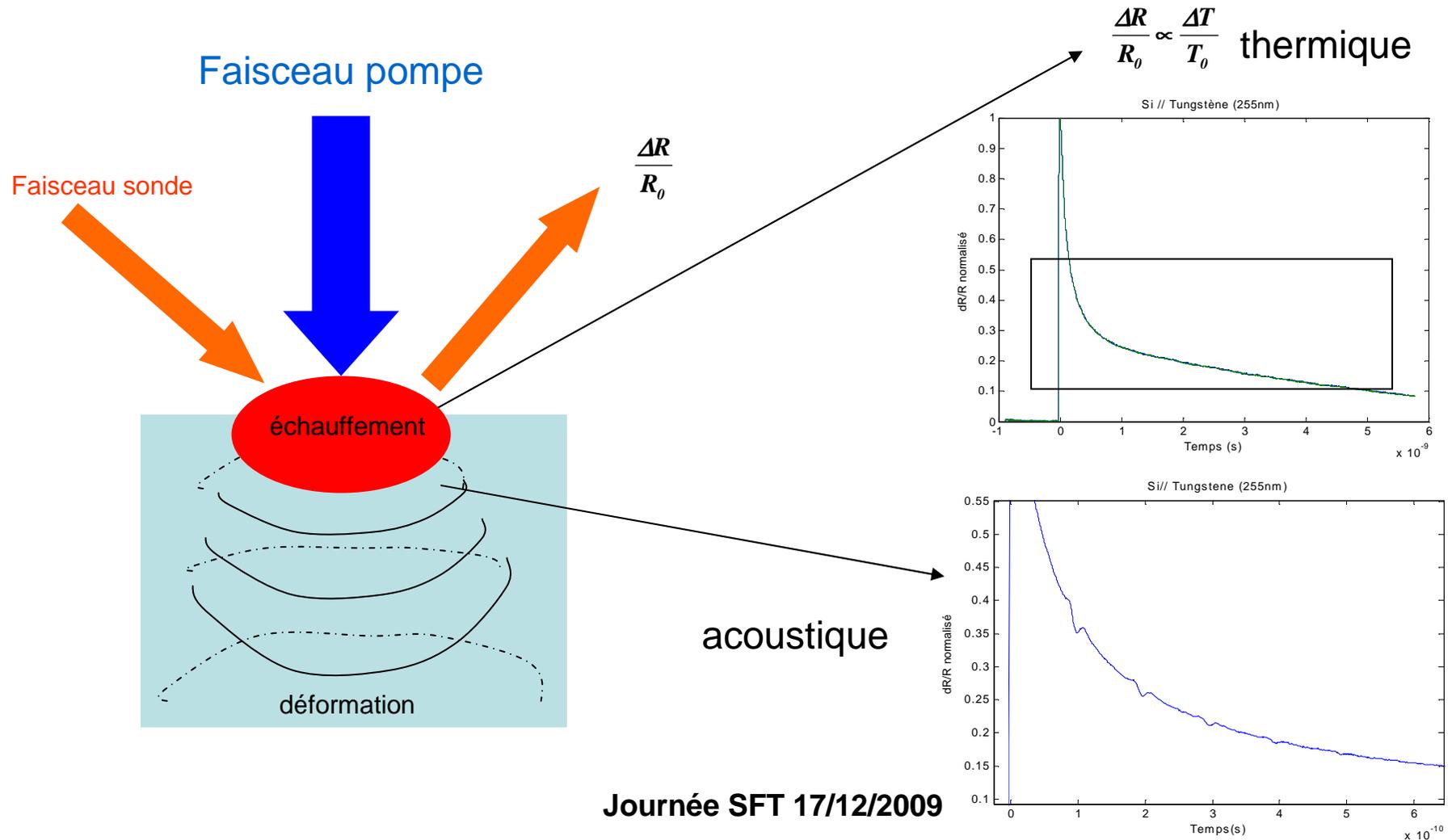
Avant propos

- Métrologie thermique, dimension et échelle de temps
 - TREFLE- Équipe thermocinétique et caractérisation



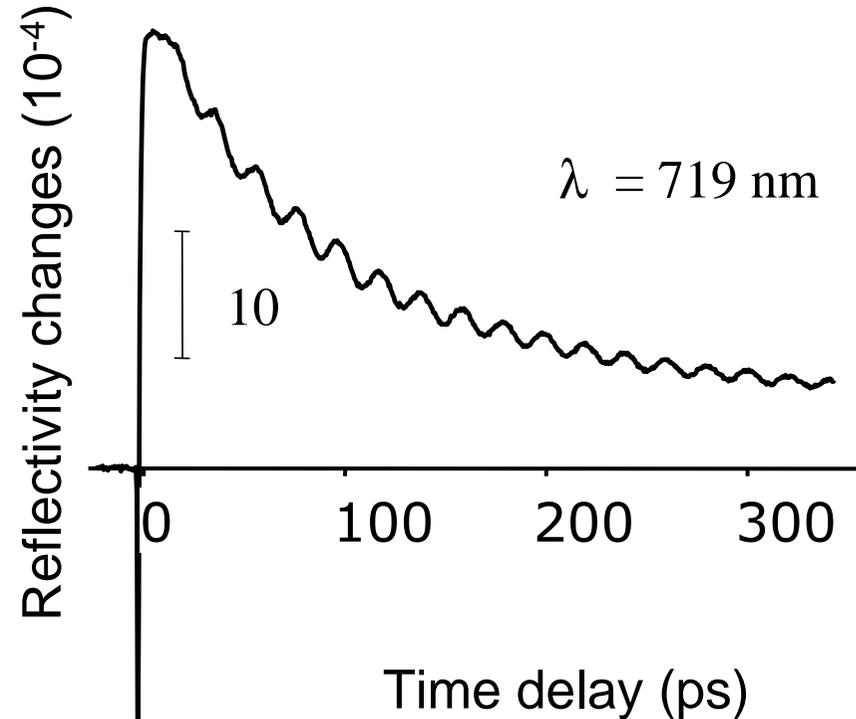
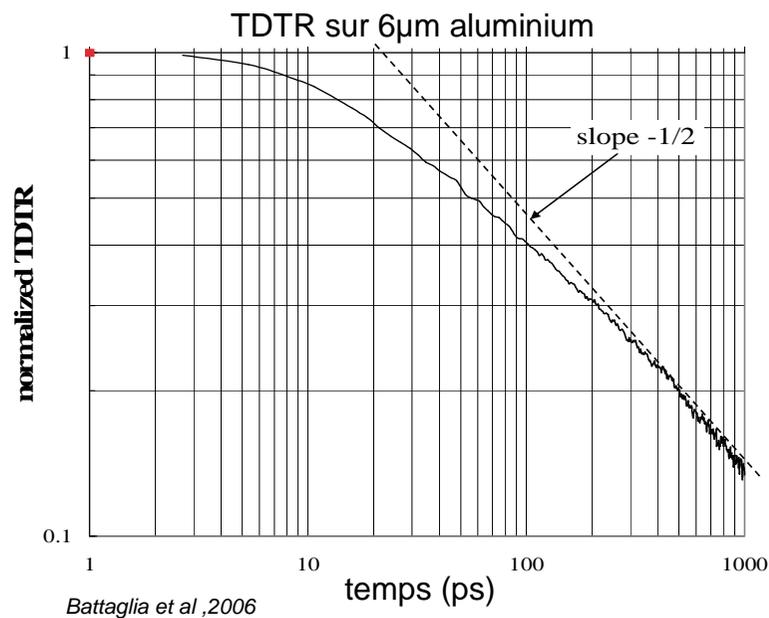
- Métrologie thermique → Application aux mémoires à changement de phase (verre chalcogénure GeSbTe)
 - 25-400°C
 - 40-200nm
 - **Résistance thermique d'interface**

Principe de la technique pompe sonde résolue en temps



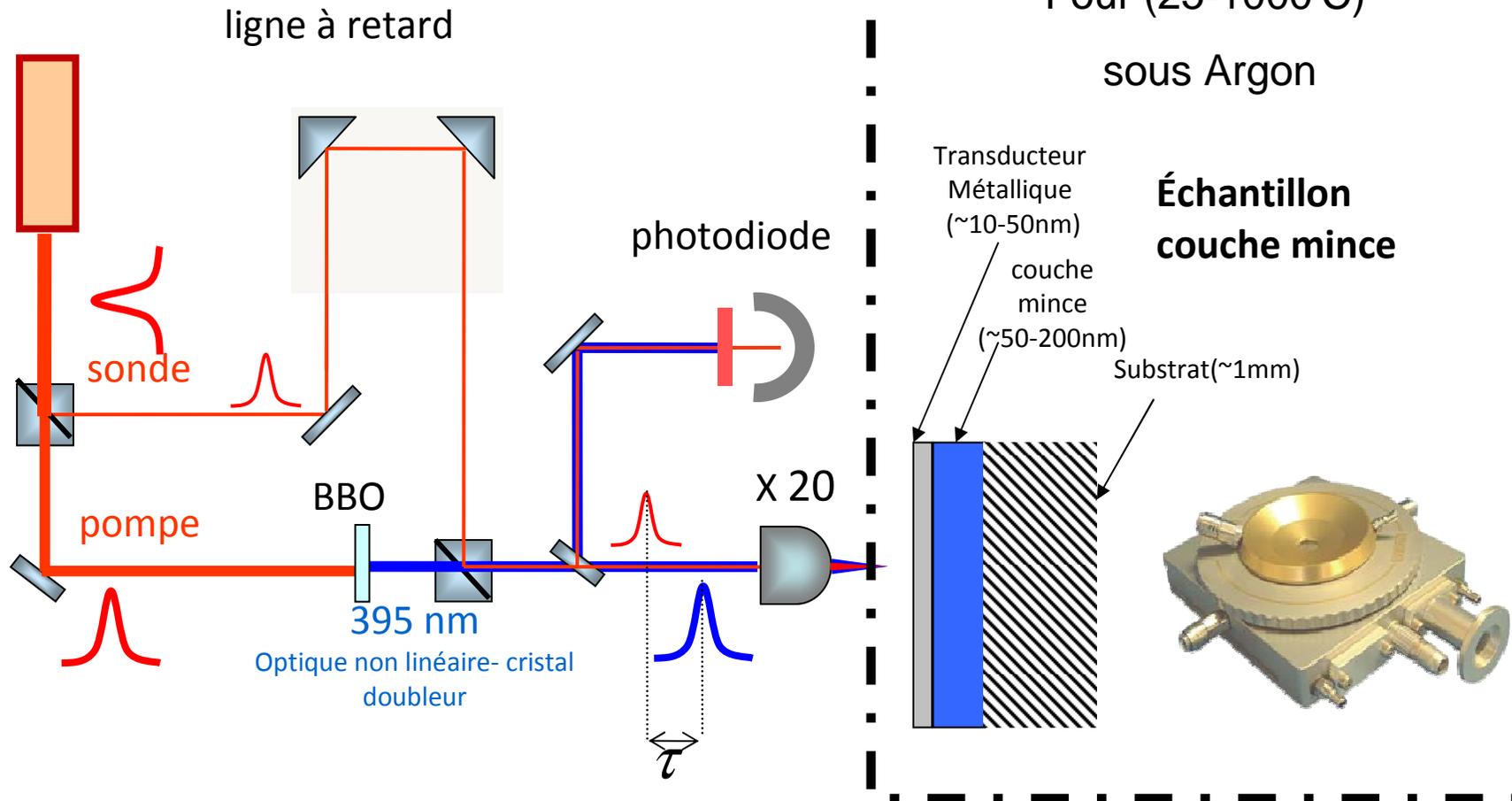
Principe de la technique pompe sonde résolue en temps

- Phénomène thermique observé
 - Réponse face avant à une excitation flash face avant

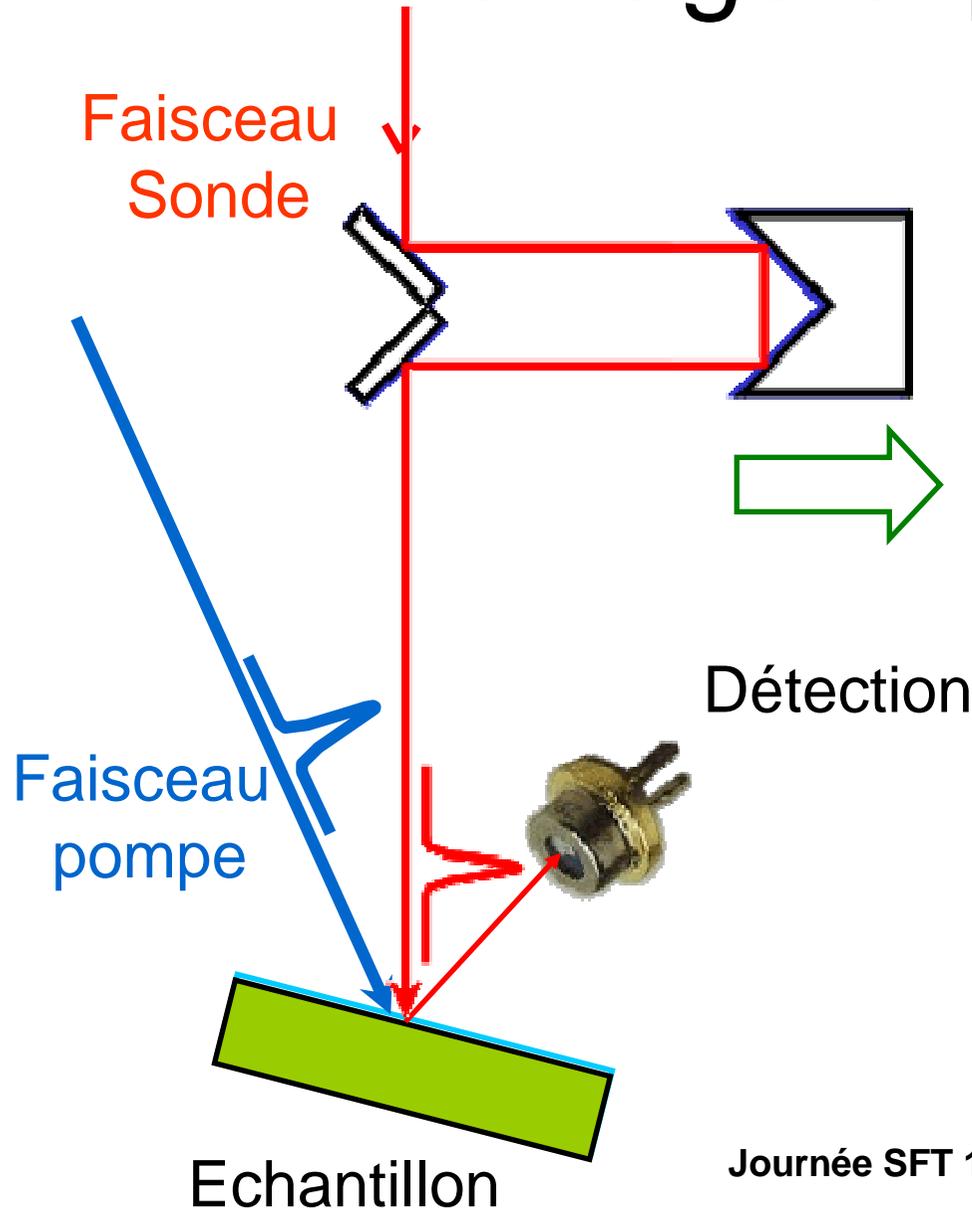


Montage expérimental

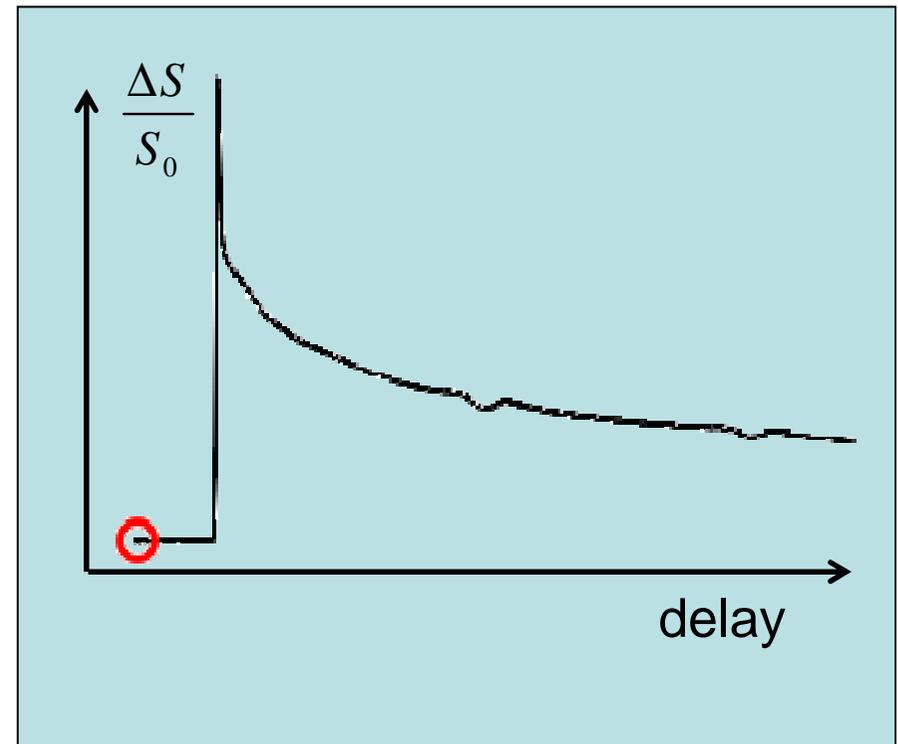
Laser 200 fs
790 nm – 82 MHz



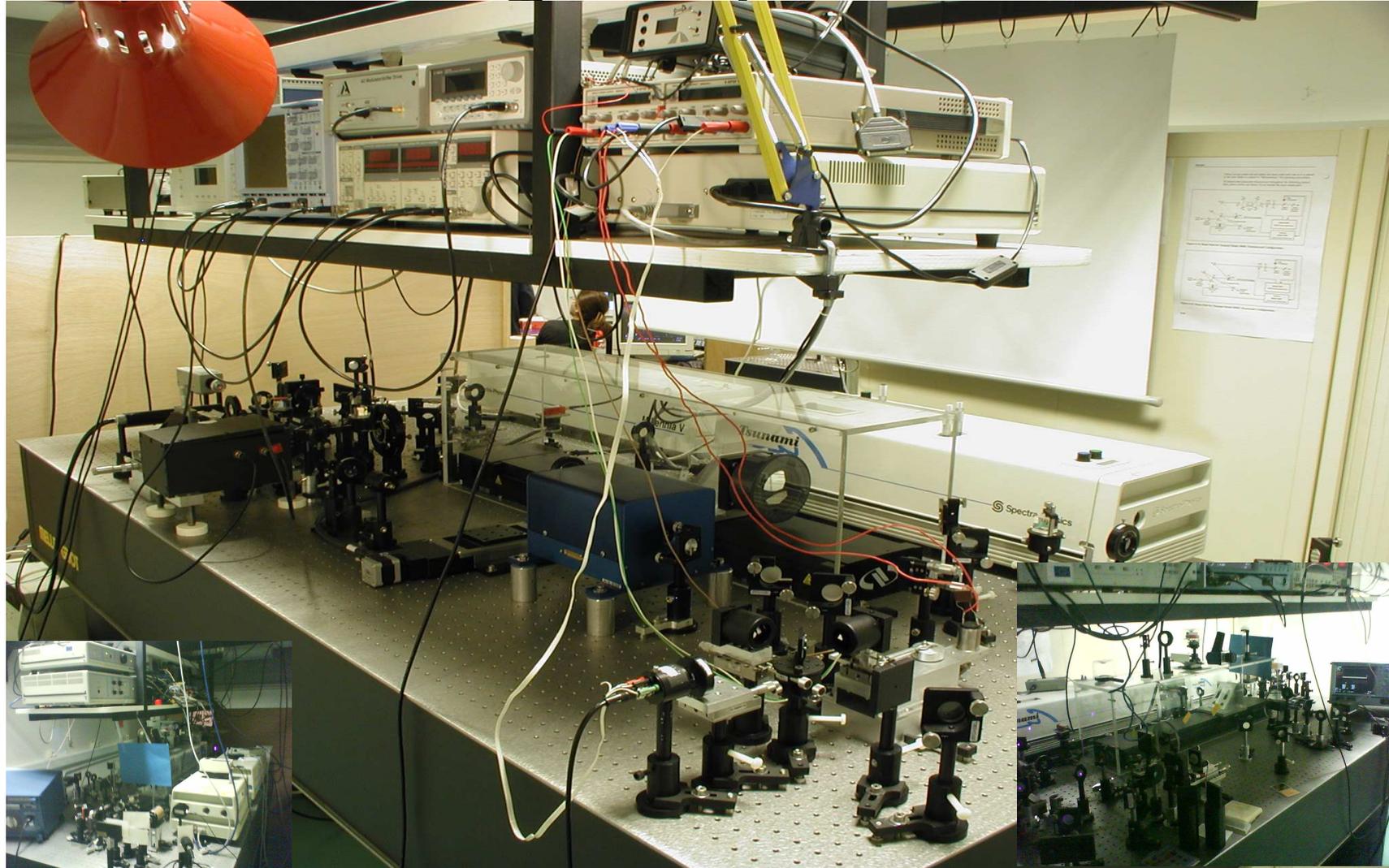
Montage expérimental



Délais
100 fs \leftrightarrow 15 μ m



Montage expérimental



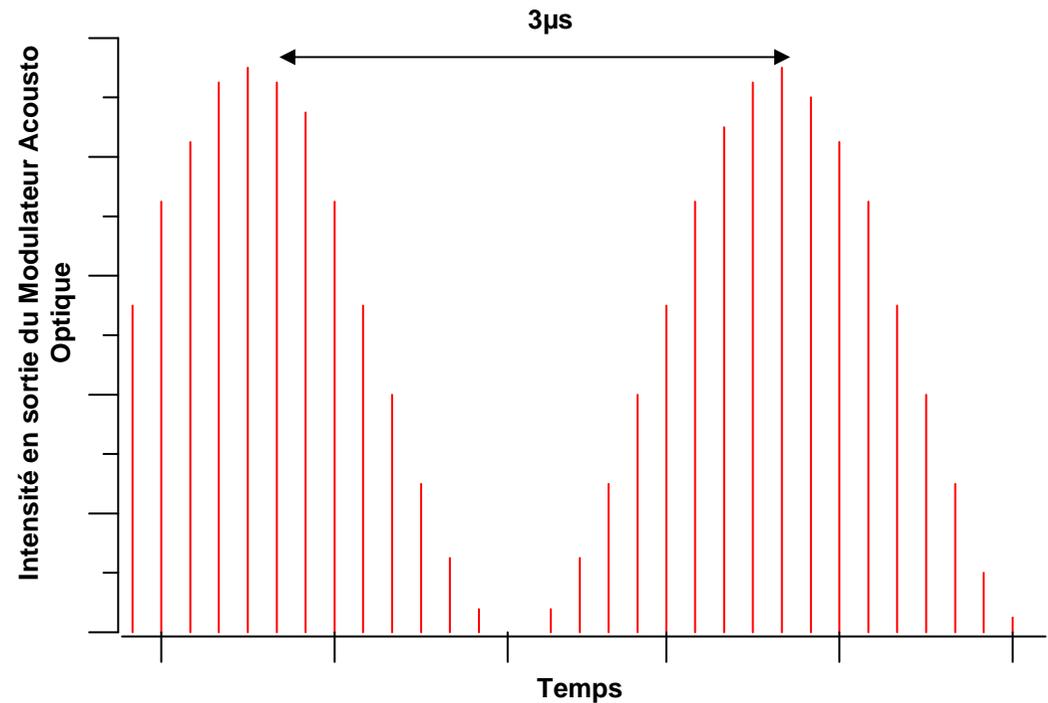
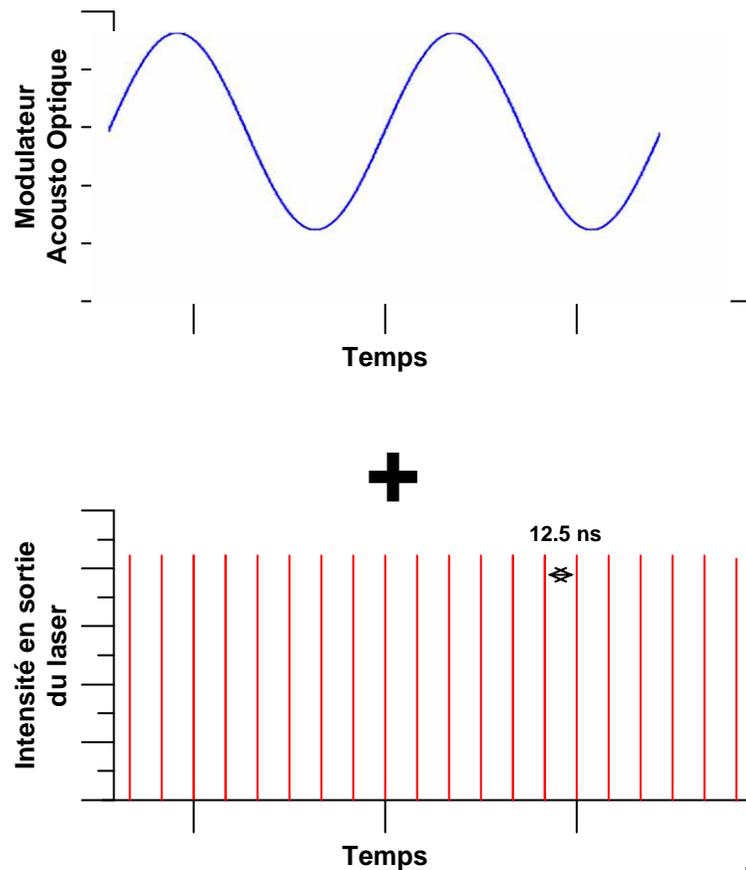
Journée SFT 17/12/2009

Montage expérimental

- Utilisation de la détection synchrone:
 - Résolution temporelle de l'ordre de 10^{-12} s
 - Mesure de $\frac{\Delta R}{R_0}$ avec une sensibilité de 10^{-7}
 - Longueur de la plage de mesure: 6ns
 - Bande passante du détecteur : DC -15MHz
 - Niveau de bruit très élevé

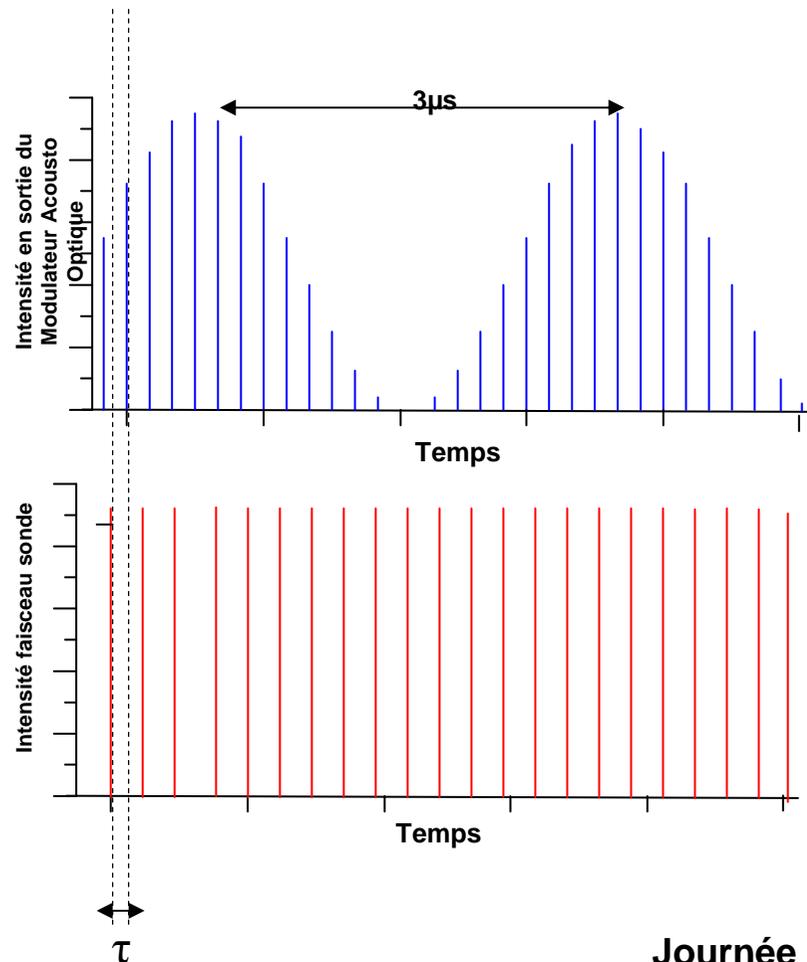
Montage expérimental

- Utilisation de la détection synchrone : modulation du faisceau pompe

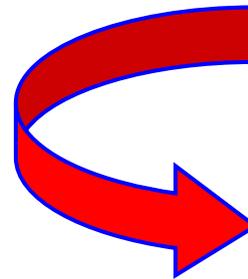
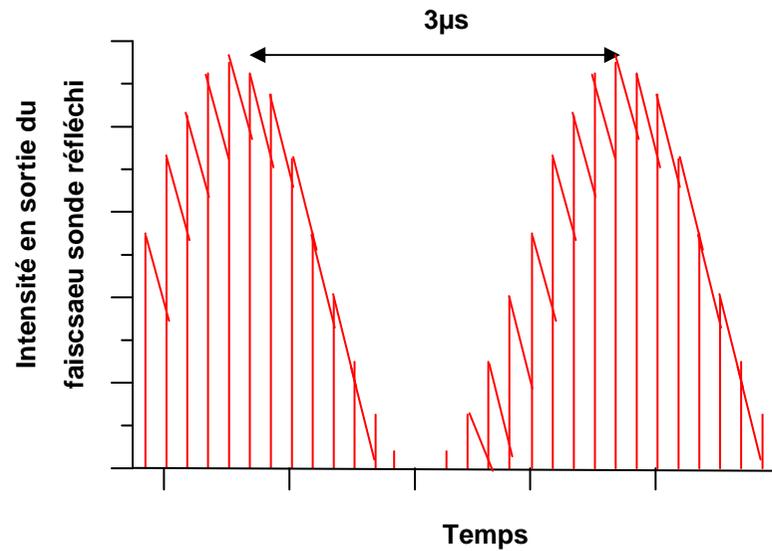


Montage expérimental

- Utilisation de la détection synchrone :



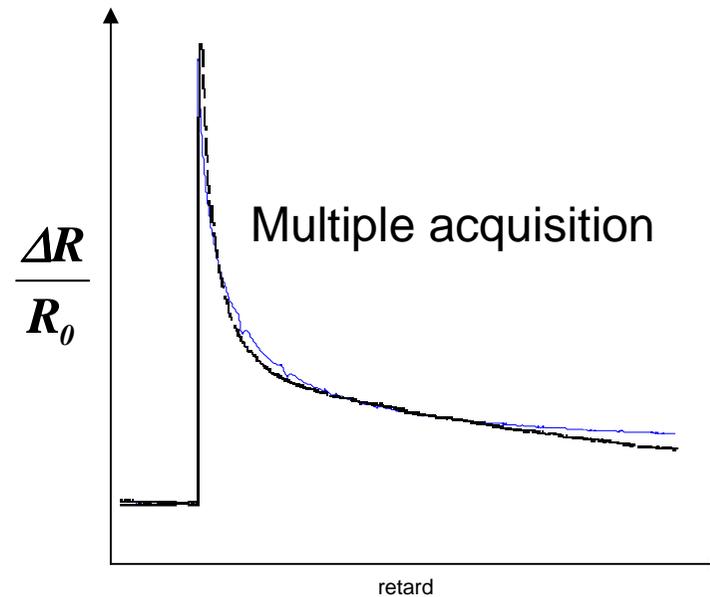
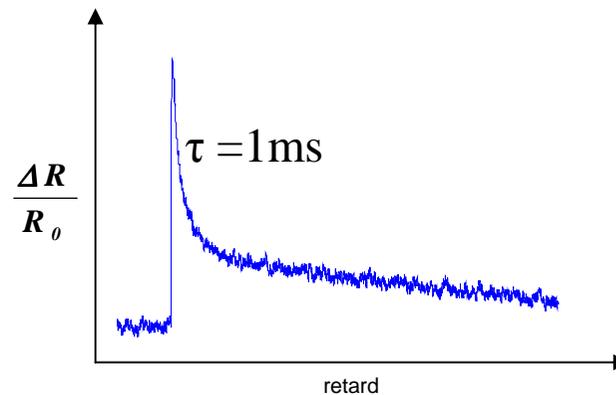
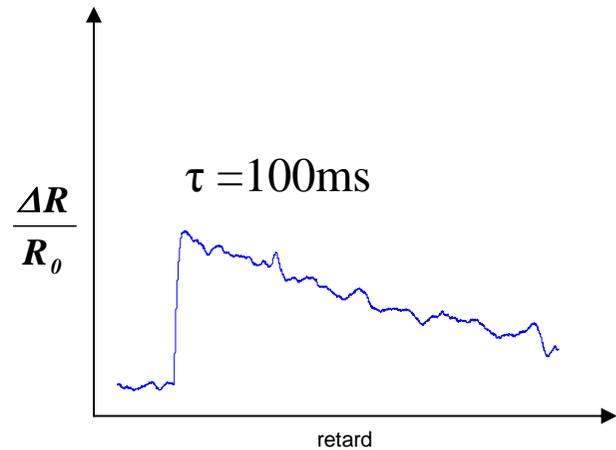
faisceau sonde réfléchi



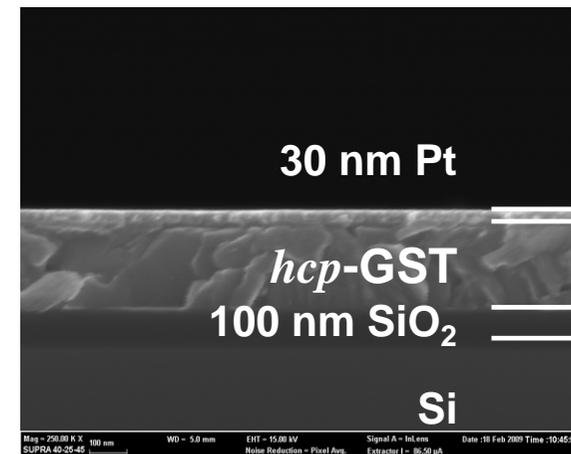
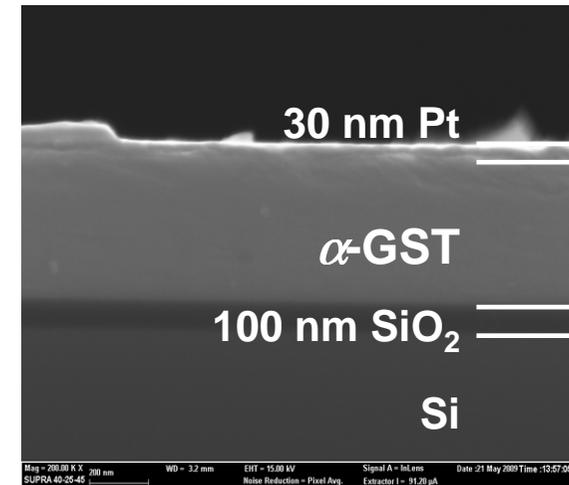
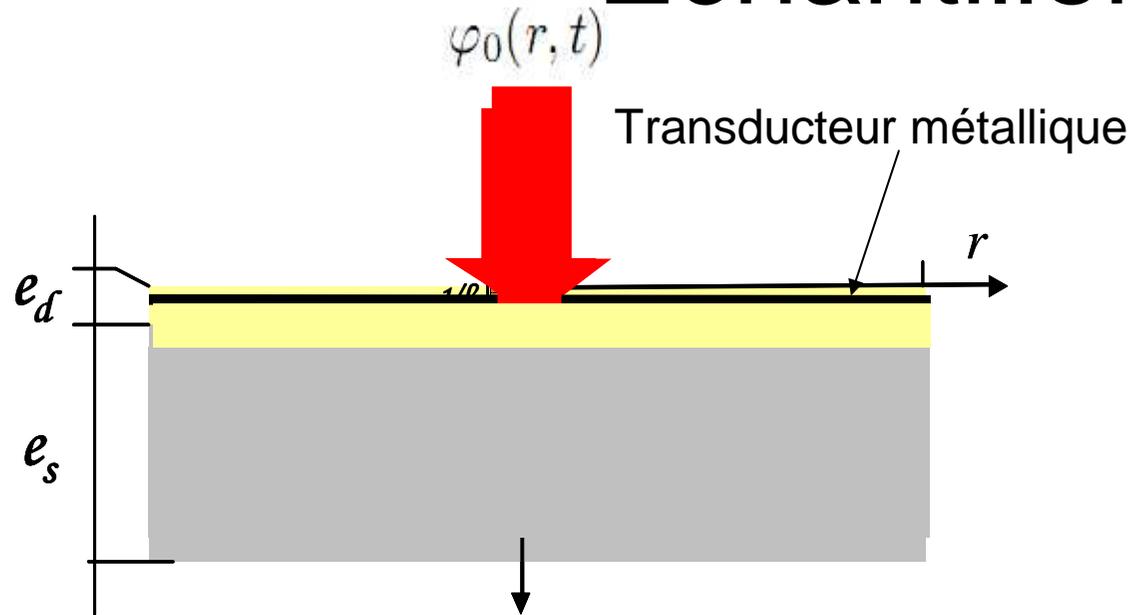
- Signal de référence pompe modulé à 330Khz
- Lock-in filtre les fréquences indésirables

Montage expérimental

- Utilisation de la détection synchrone : lissage des courbes et temps d'intégration



Échantillon

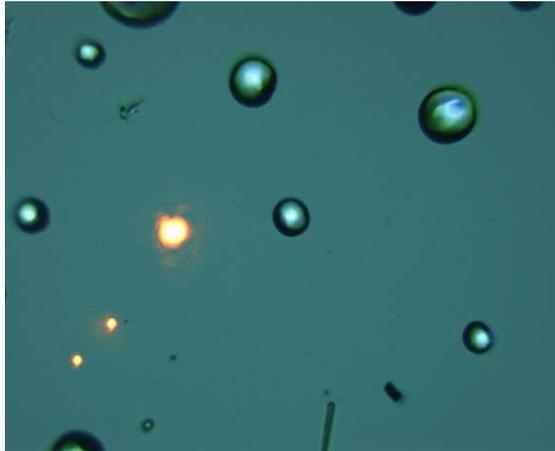


- Utilisation d'un transducteur métallique
 - Évite ablation échantillon
 - Évite évaporation/oxydation échantillon (haute température)
- Choix du transducteur métallique
 - Al, Pt (10-55nm)
- Puissance reçu par échantillon : 1mW
- Rayon tache laser (10-12 μm) avec objectif X20

Journée SFT 17/12/2009

Échantillon

Si//SiO₂(100nm)/α-GST(210nm)/Al(20nm)



400°C

Oxydation



Ablation



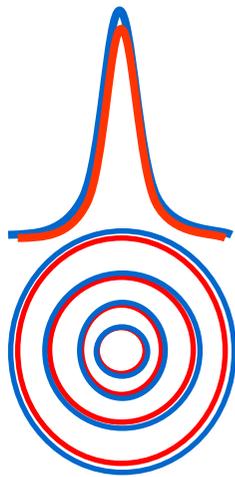
25°C



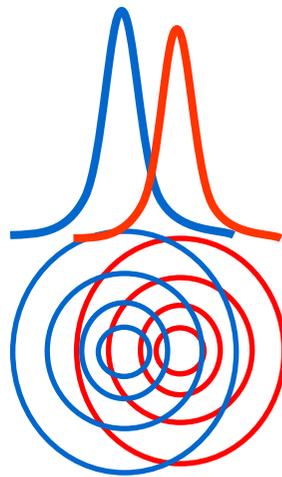
Montage expérimental

- Recouvrement pompe sonde
 - Dérive ligne à retard

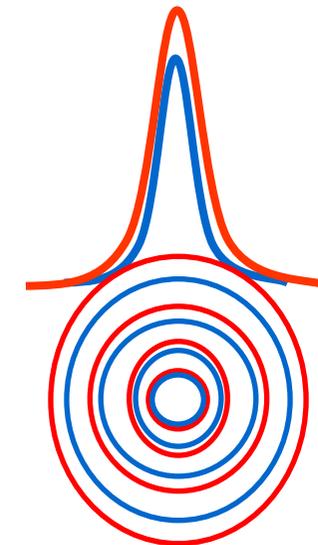
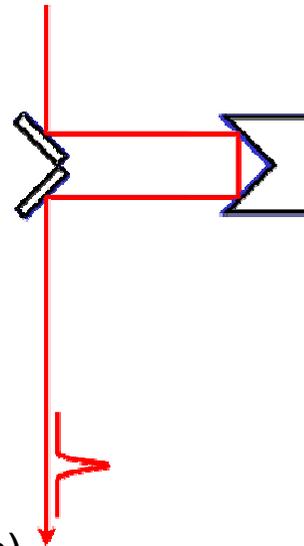
Col du faisceau



Pic de coincidence



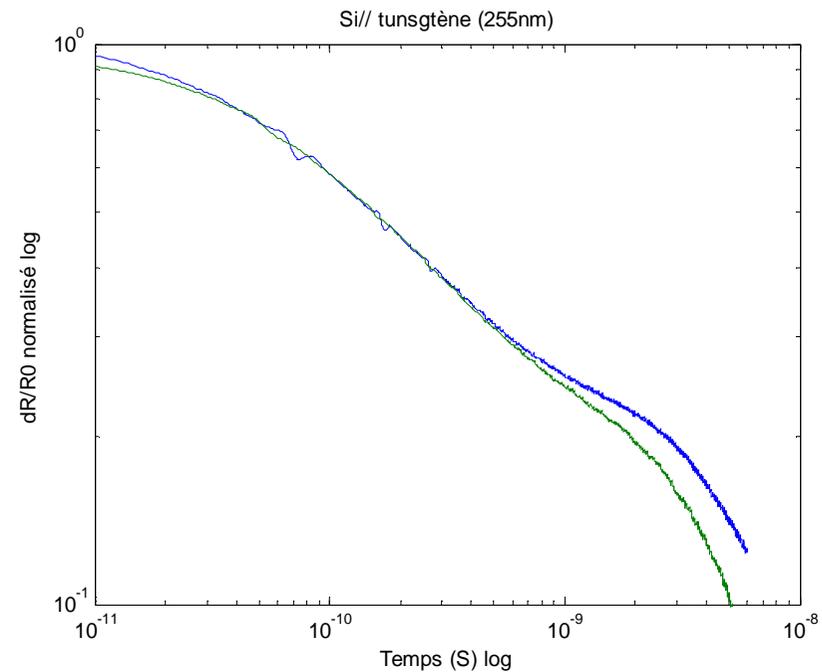
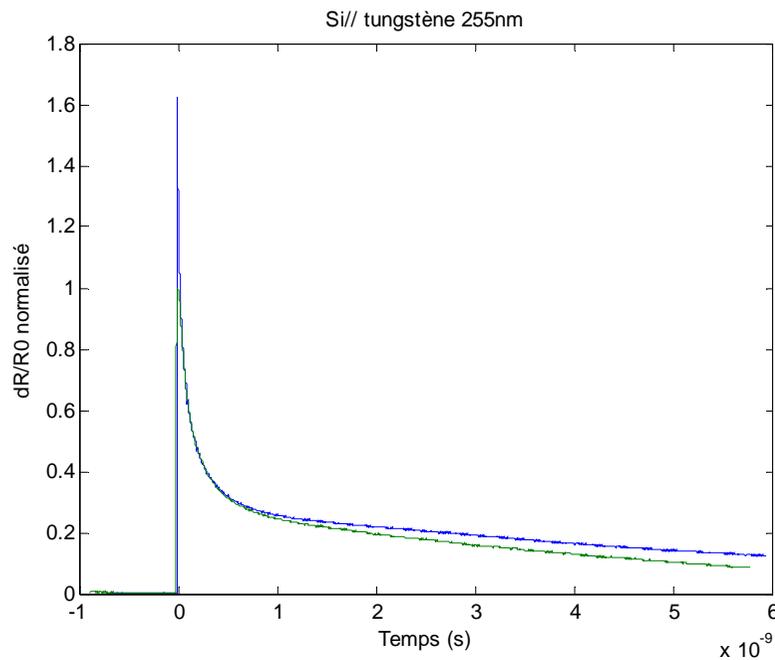
Temps long (4-6ns)



Temps long (4-6ns)

Montage expérimental

- Recouvrement pompe sonde



— Bon recouvrement

— Mauvais recouvrement

Montage expérimental

- Effet cumulatif

- Constat

- Mesure sur 12.5 ns : problème de relaxation sur les matériaux résistif.
 - Influence au temps longs (>1ns) *Capinsky et Marris*

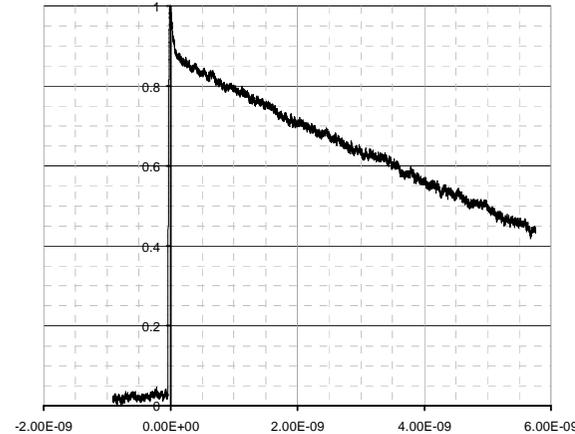
- Simulation

- Peigne de Dirac et Inversion

- Littérature et modèle

$$\Delta R(t) = \Gamma \cdot \left[I_p(t) \cdot \sum_n^{+\infty} \delta(t - p.T) \cos(2.\pi.f_m.t) \right] \cdot \Delta r(t) \cdot I_s \cdot \sum_n^{+\infty} \delta(t - \tau - n.T)$$

$$\tilde{S}_{f_m}(\tau) = \tilde{S} \left\{ \Delta r(\tau) \cdot e^{-2.j.\pi.f_m.\tau} + \sum_{q=1}^{+\infty} \Delta r(q.T) \cdot e^{-2.j.\pi.f_m.\tau} \right\}$$



Modélisation

- Transport dans les matériaux
 - Métaux
 - Semiconducteur
 - Isolant
- Modèle à deux températures
- Prises en compte des Interfaces
- Transfert thermique unidimensionnel
- Modulation du signal : stationnaire
- Pas de terme convectif

Mesure de diffusivité :

Si//SiO₂(100nm)/GST(840nm)

- Résolution équation de la chaleur avec terme source

- Comportement asymptotique au temps court

$$\langle T_0 \rangle_{t \rightarrow 0} \rightarrow \frac{\eta(r_h, r_p) \varepsilon}{C_p}$$

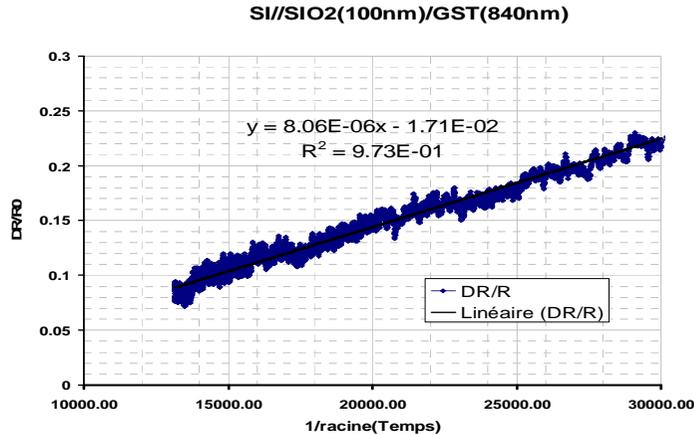
- Comportement asymptotique au temps long

$$\langle T_0 \rangle_{t \rightarrow \infty} \rightarrow \frac{\eta(r_h, r_p) \beta_h \varepsilon}{\sqrt{k C_p} \sqrt{\pi t}}$$

- Calcul de la diffusivité

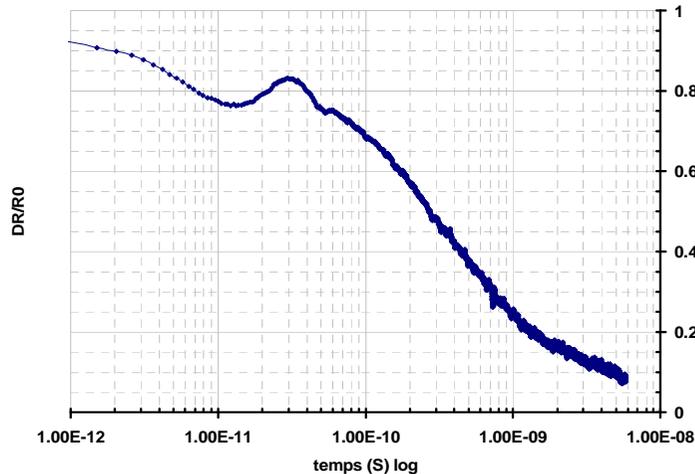
$$\overline{TDTR}_{t_\infty} = \frac{\langle T_0 \rangle_{t \rightarrow \infty}}{\langle T_0 \rangle_{t \rightarrow 0}} \rightarrow \frac{1}{\beta_h \sqrt{a}} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{\sqrt{t}} = \xi \frac{1}{\sqrt{t}} \longrightarrow a = \frac{1}{\beta_h^2 \pi \xi^2}$$

Mesure de diffusivité : Si//SiO₂(100nm)/GST(840nm)



$$\longrightarrow \xi = 8.06 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{1}{\beta_o} = \frac{1}{\beta_h} = 12 \text{ nm}$$



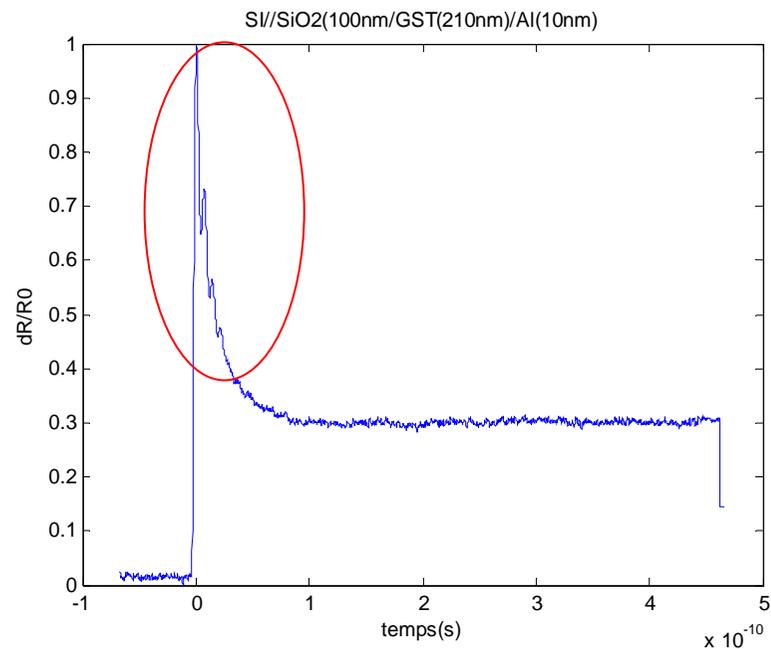
$$a = \frac{1}{\beta_h^2 \pi \xi^2} = 7.06 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ sec}^{-1}$$

$$a = 4.8 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ sec}^{-1} \text{ 3-omega}$$

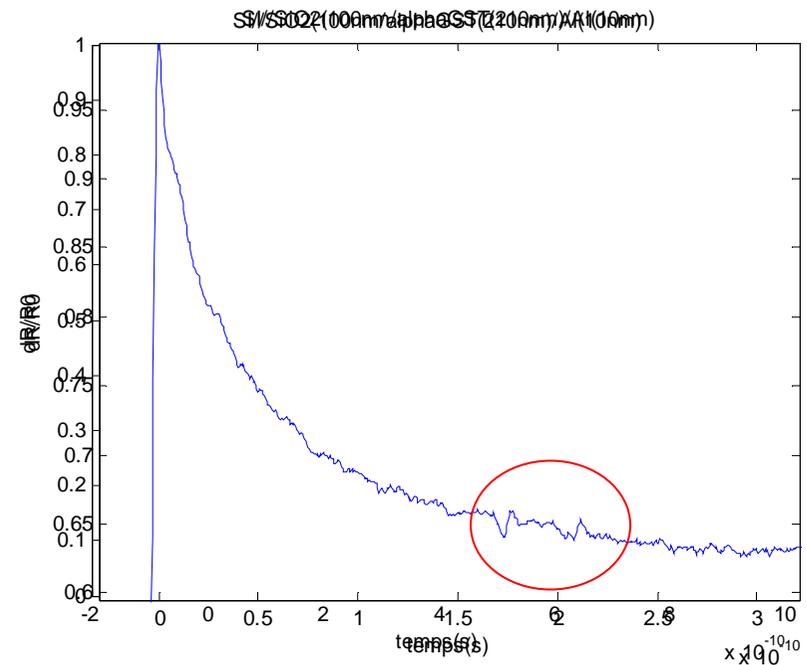
$$a = 1.6 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ sec}^{-1} \text{ littérature}$$

Résultats acoustique

- Si//SiO₂(100nm)/GST(210nm)/Al(10nm)



400°C

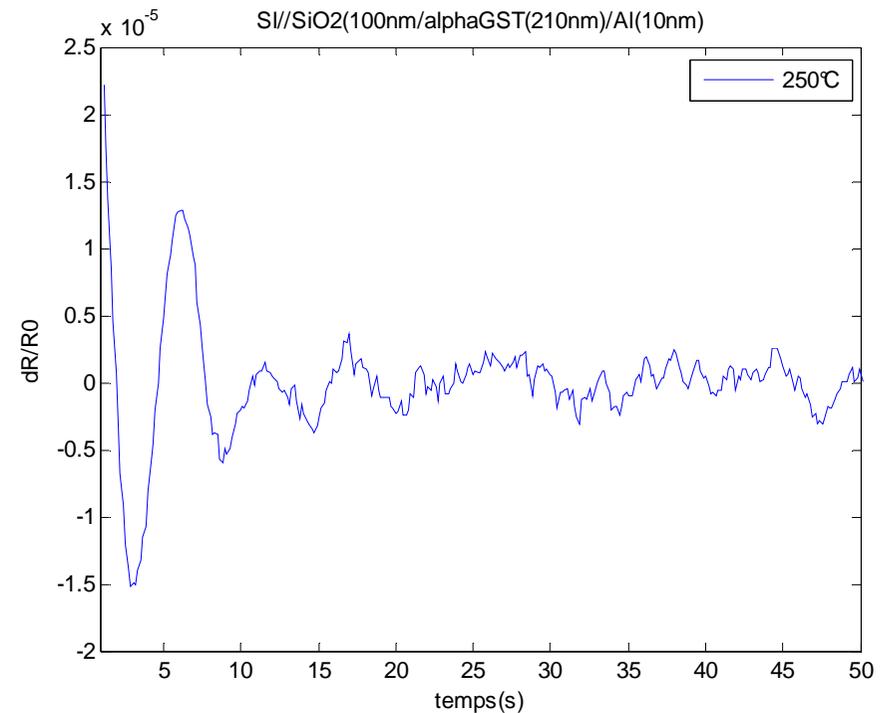
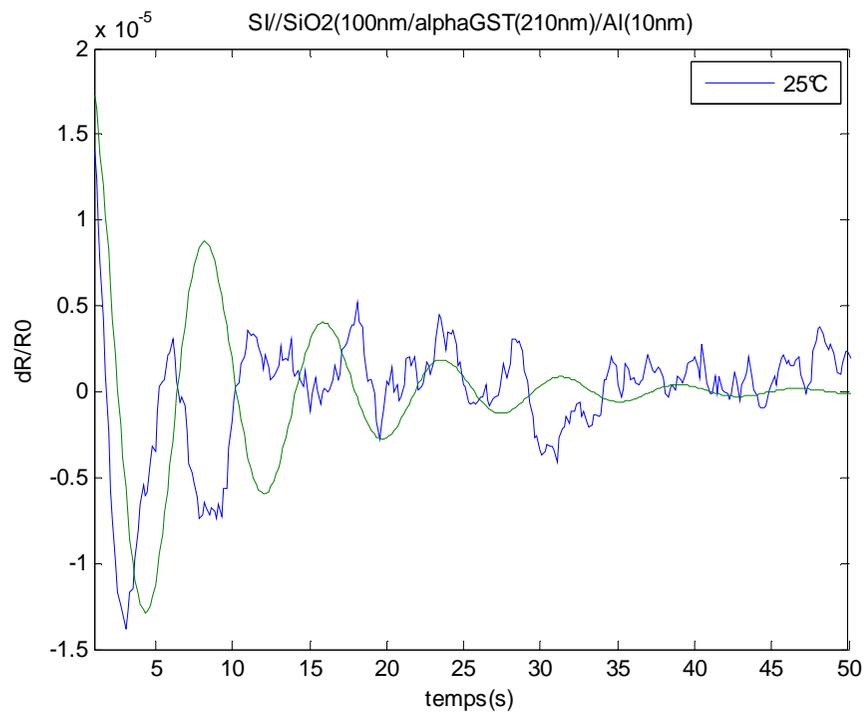


25°C

Journée SFT 17/12/2009

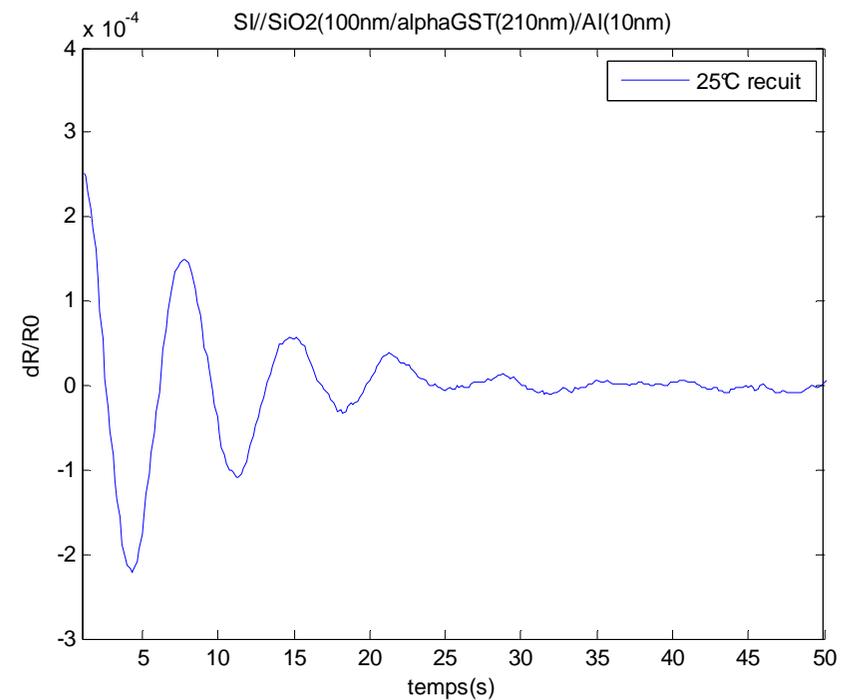
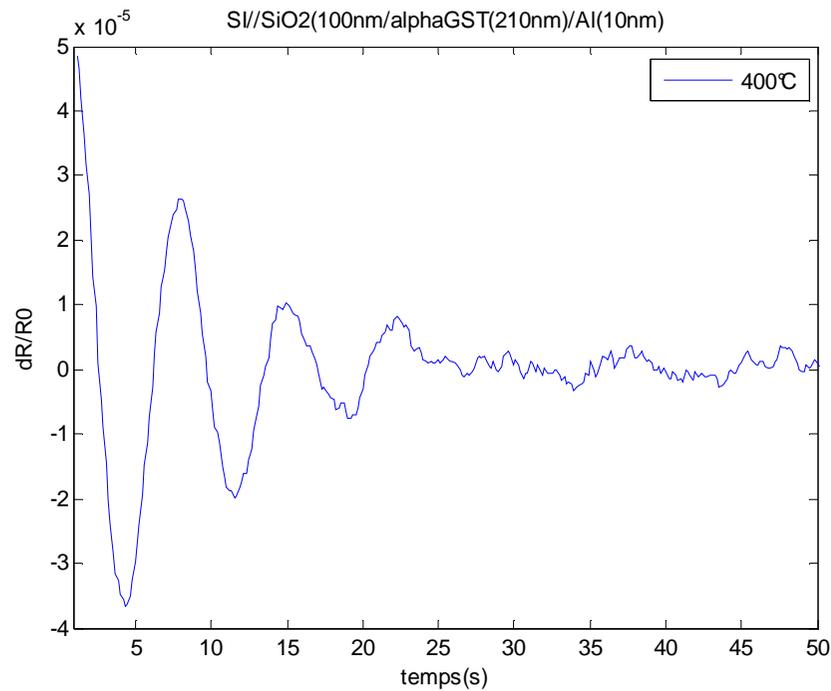
Résultats acoustique

- Etude mécanique interface GST/Al

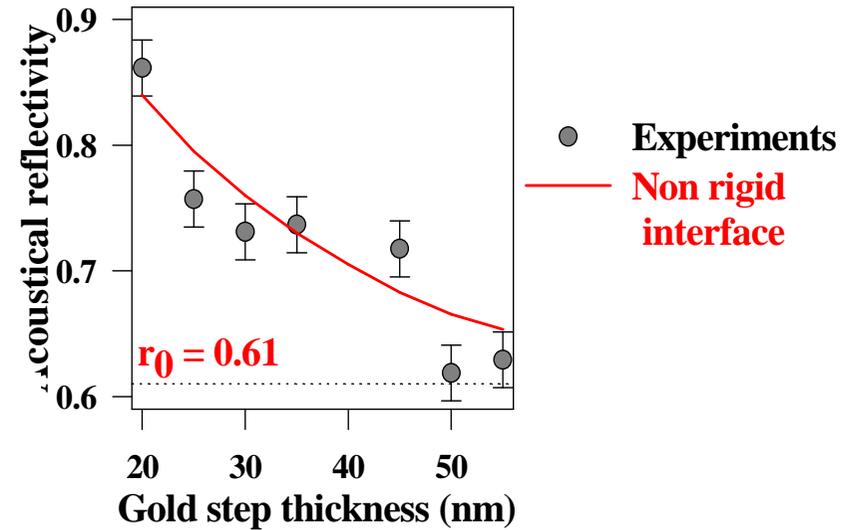
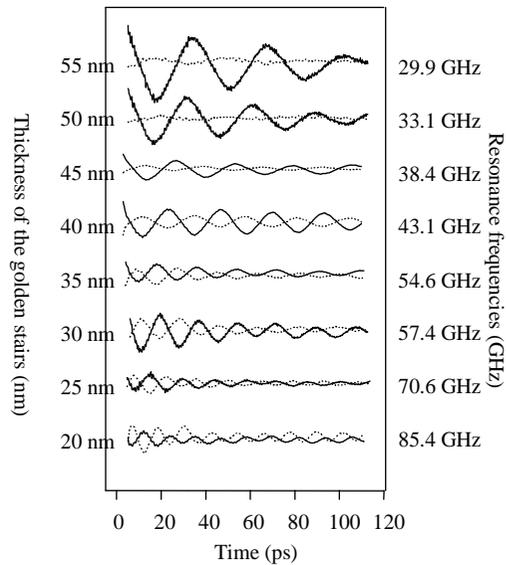


Résultats acoustique

- Etude mécanique interface GST/Al

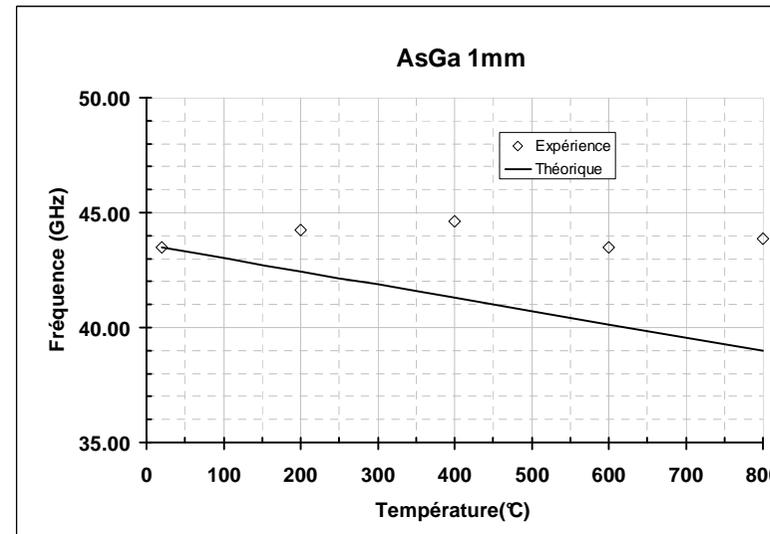
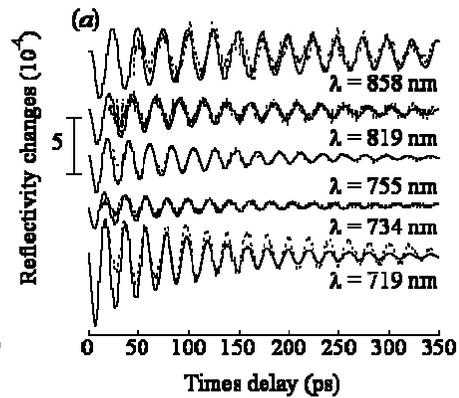
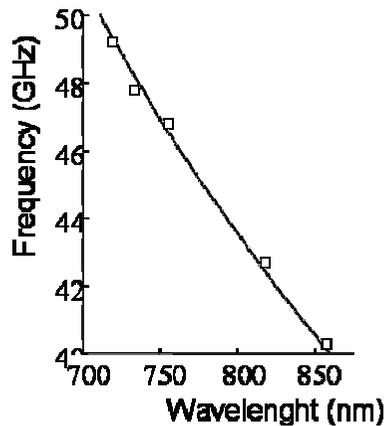


Résultats acoustique



Résultats acoustique

- AsGa : Oscillation Brillouin

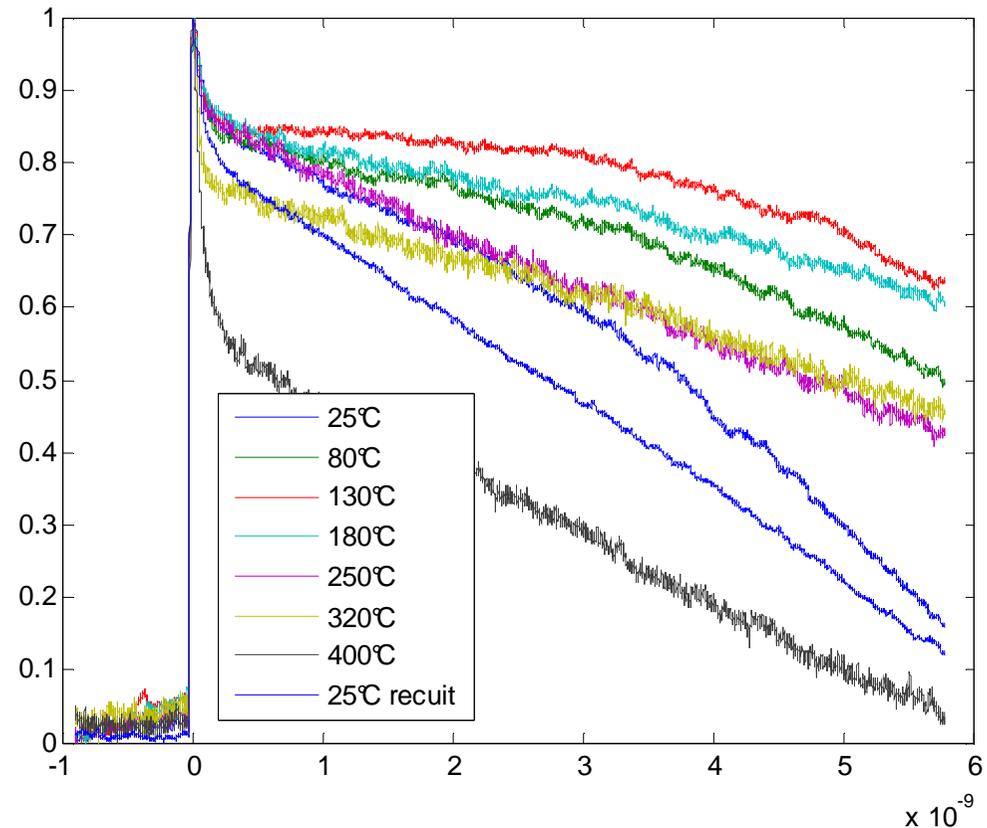


$$v = (C/\rho)^{1/2}$$

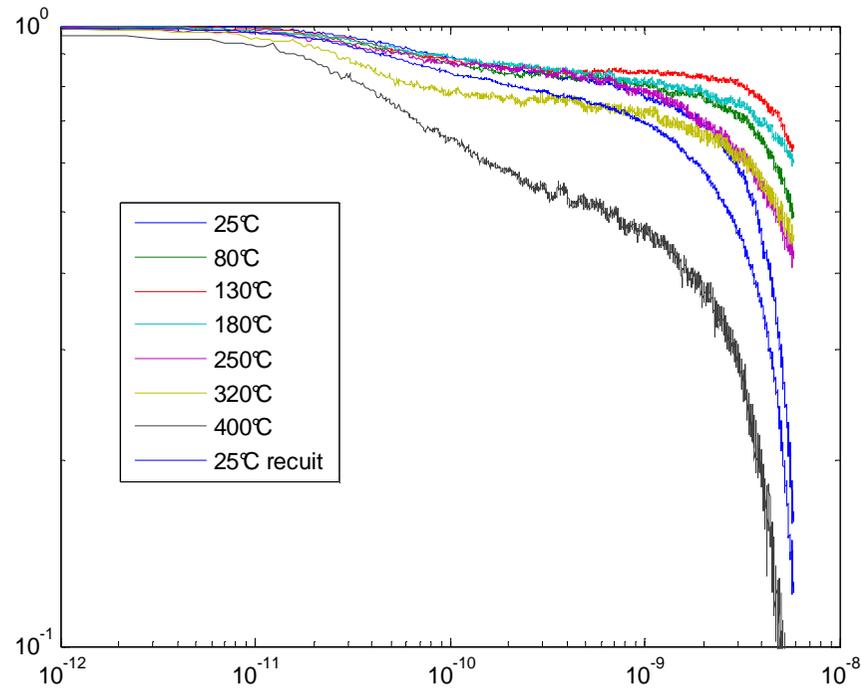
$$f_b = 2 \cdot v \frac{n(\lambda)}{\lambda}$$

Résultats

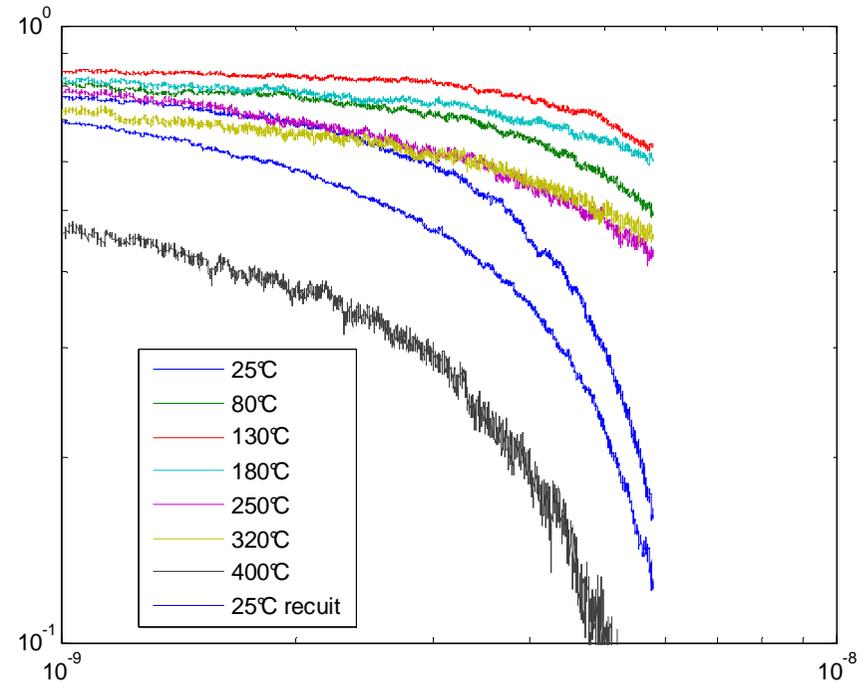
- Propriétés thermiques GST (25-400°C)
 - Si//SiO₂(100nm)/ α GST(210nm)/Al (20nm)
 - GST 210nm : semi infini
 - Profondeur de pénétration pompe (12nm)



Résultats

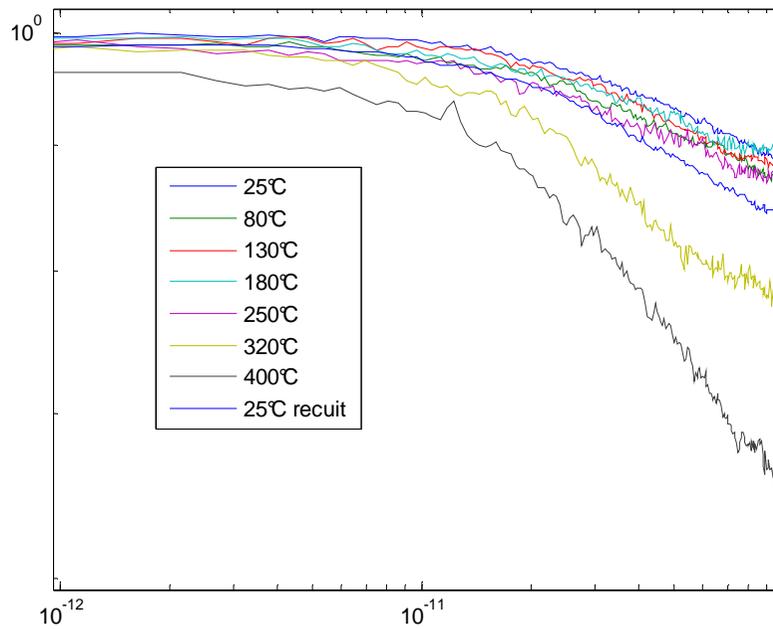


Temps : $1 \cdot 10^{-12}$ - $1 \cdot 10^{-8}$ s

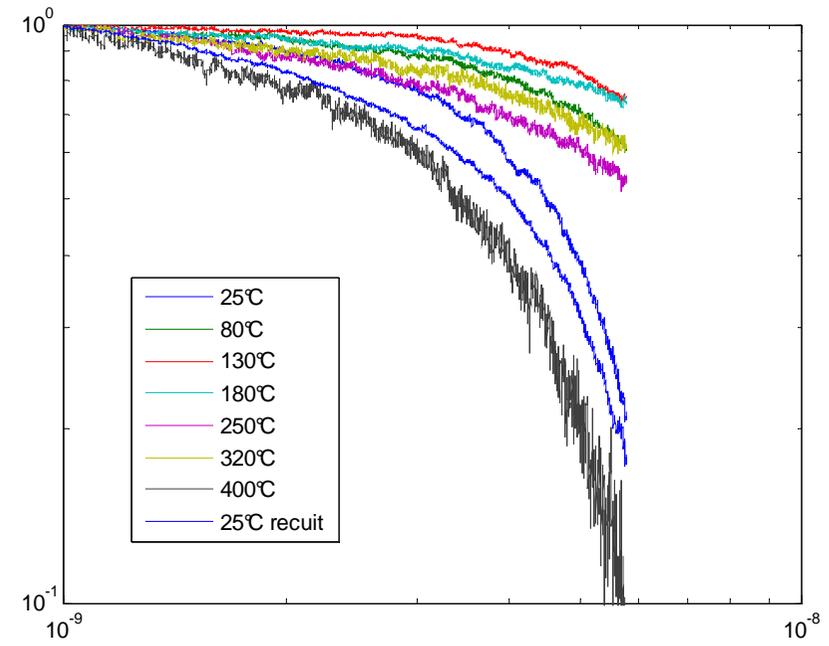


Temps long : $1 \cdot 10^{-9}$ - $1 \cdot 10^{-8}$ s

Résultats



Temps court : $1 \cdot 10^{-12}$ - $1 \cdot 10^{-10}$ s



Temps long : $1 \cdot 10^{-9}$ - $1 \cdot 10^{-8}$ s

Conclusion et perspectives

- Une solution aux problèmes d'accumulation d'impulsions aux temps longs (modèle + expérimentation)
- Compréhension de tous les phénomènes temps longs et courts
- Résistances d'interfaces
- Plages de températures plus élevées études des liquides