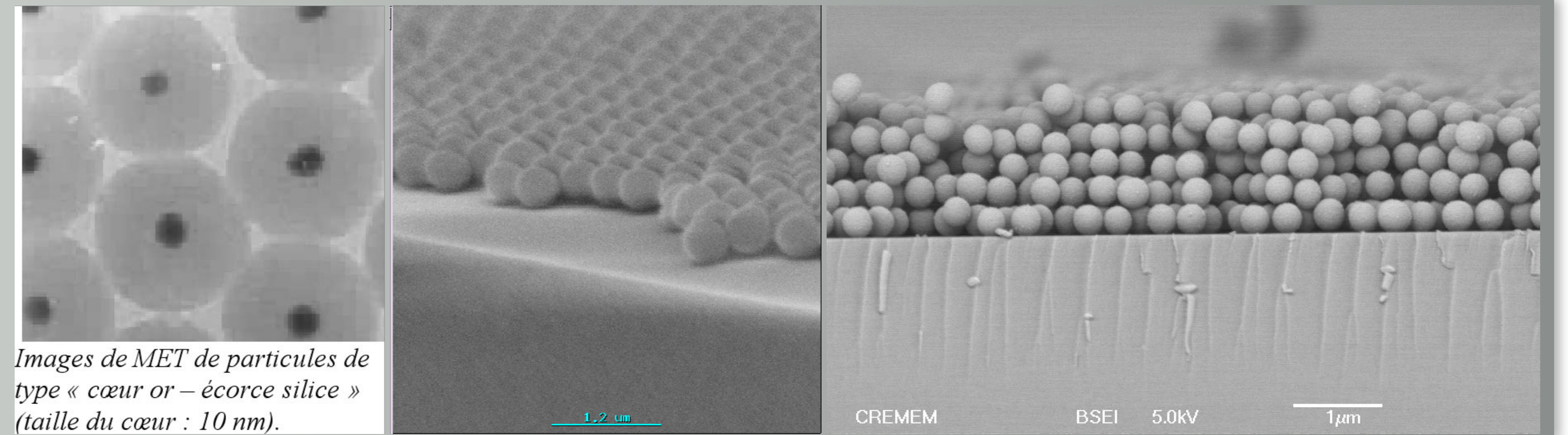


# Etude de l'amplification de la conductivité Thermique par des réseaux de Nanoparticules (EThNA)

**OBJECTIFS** Le projet porte sur la conception, l'élaboration et la caractérisation de réseaux ordonnés ou de distributions aléatoires de nanoparticules (NPs) amplifiant la conduction thermique de systèmes isolants (colles, fluides, couches minces). Les propriétés thermiques découlent spécifiquement de la taille nanométrique des nano-objets qui les constituent, elles sont en rupture totale avec les propriétés que l'on attendrait d'une simple réduction de taille. Les mécanismes physiques impliqués dans l'augmentation du transfert de chaleur sont ici essentiellement le rayonnement de champ proche entre NPs. Des fractions volumiques de quelques pour-cents correspondent à des distances moyennes entre NPs de quelques nanomètres, distances très inférieures à la longueur d'onde des photons thermiques. Des travaux récents ont montré que le transfert thermique est exacerbé dans ces conditions si les nanoparticules présentent des résonances plasmon ou phonon-polariton.

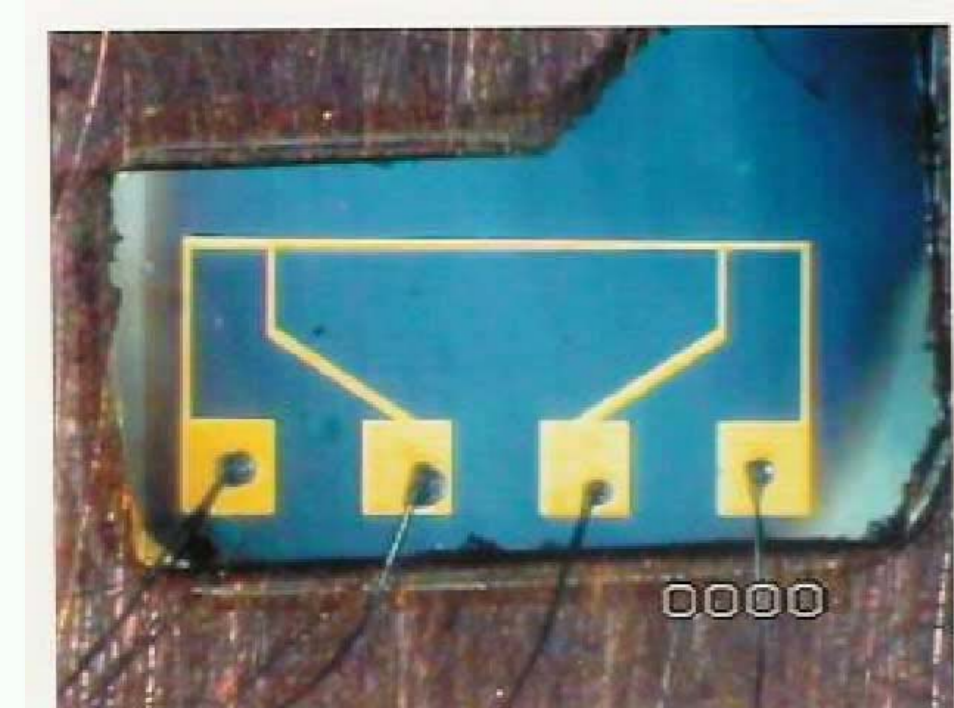
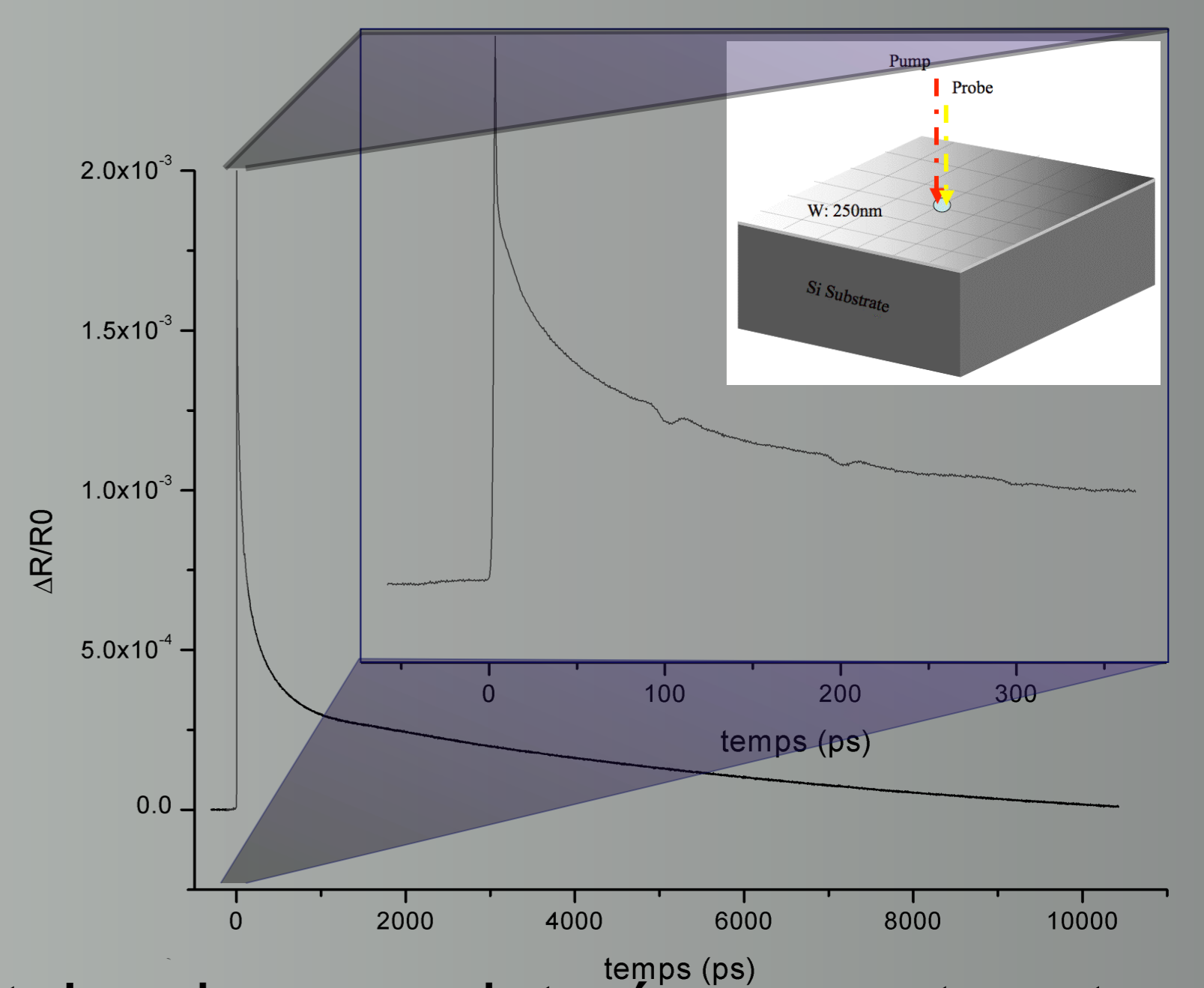
**SYNTHESE DE NANO-OBJETS** La fabrication de structures coeur-coquille permet d'isoler et de localiser aisément les nanoparticules. Ces structures peuvent être ordonnées en réseaux compacts et la dissolution chimique des coquilles laisse un réseau périodique de nanoparticules.



Images de MET de particules de type « cœur or – écorce silice » (taille du cœur : 10 nm).

## APPROCHE EXPERIMENTALE

**Mesure de la réponse thermique par thermoreflectance femtoseconde :** L'analyse des transferts thermiques entre la nanoparticule et son environnement se fait par impulsions laser extrêmement brèves (100 fs). L'accès aux propriétés thermiques requiert la prise en compte de domaines temporels allant de 100 femtosecondes ( $10^{-13}$ s) à 10 nanosecondes ( $10^{-8}$ s). Les dispositifs actuels ne sont pas performants sur ces durées du fait de l'utilisation de lignes à retard. Nous utilisons un dispositif innovant permettant la mesure de la réponse thermique de nano-objets dans cette gamme temporelle (brevet CNRS 00337-01). Il s'agit d'une instrumentation incluant deux sources femtosecondes asynchrones rendant l'échantillonnage temporel purement optique. Ces efforts nous ont permis de révéler des effets acoustiques 'temps longs' (10ns) et d'étudier le transport de phonons dans des nanomatériaux tels que des super-réseaux.

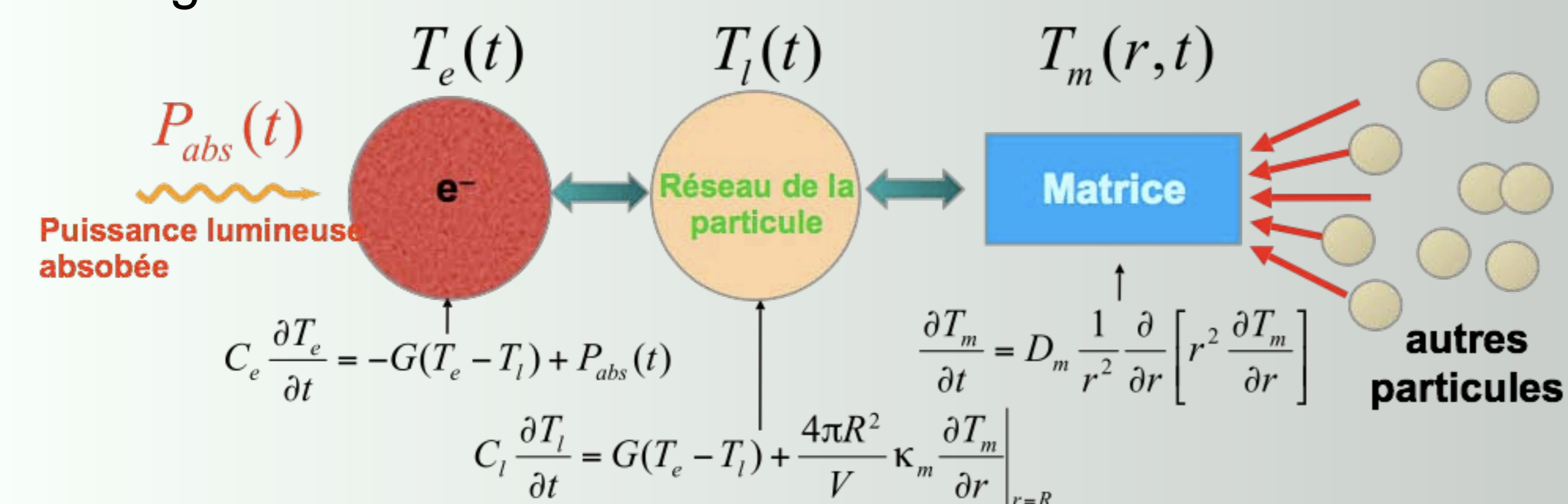


Transducteur thermique en or pour la mesure 3ω de la conductivité d'un film mince déposé sur un substrat.

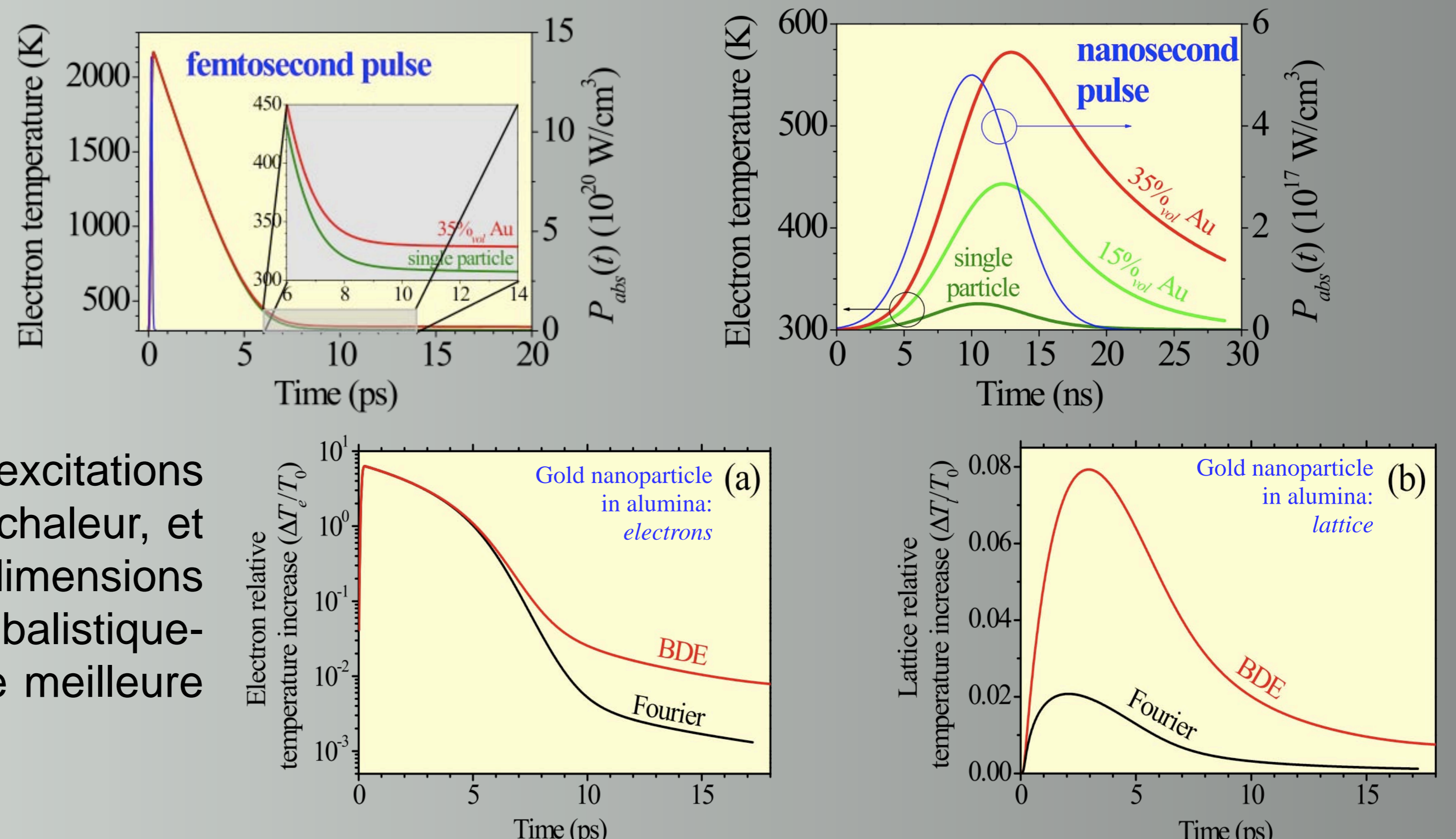
**Mesures macroscopiques par la méthode 3ω.** Le dispositif expérimental, mis au point récemment, est un dispositif cryogénique et permet des études en température. Le principe de base de la méthode 3ω est le suivant : Une résistance chauffante est déposée sur un échantillon, par lithographie lift-off, sous forme d'un micro-fil. Elle est excitée par un courant électrique de fréquence ω. Ceci entraîne une modulation ΔT de la température de l'échantillon à la fréquence 2ω. La réponse en tension du micro-fil, mesurée par détection synchrone de l'harmonique 3, permet de suivre l'évolution de ΔT à la surface de l'échantillon, en fonction de la fréquence. La loi de variation ΔT(ω) donne accès à la conductivité thermique de l'échantillon. Les films sont constitués d'une matrice de silice avec des inclusions d'un film de particules d'or nanométriques. Plusieurs concentrations en particules sont en cours d'étude.

## MODELISATION

**Modélisation à 3 températures,** ici le modèle prend en compte les échanges électron-phonon de la nano-particule ainsi que les échanges avec la matrice.



**Quand la Loi de Fourier est-elle mise en défaut?** Pour des excitations ultra-rapides la loi de Fourier n'explique plus le transport de la chaleur, et ce, dès lors que le libre parcours moyen est supérieur aux dimensions caractéristiques du système. Dans ces conditions un modèle balistique-diffusif dans l'approximation du temps de relaxation permet une meilleure représentation du transport de chaleur.



**CONCLUSION** La fabrication, la modélisation et la caractérisation de matériaux tests ont pour but de mettre en évidence l'effet d'amplification du flux thermique dû à la présence d'un réseau de nanoparticules. Le réseau de nanoparticules est susceptible d'augmenter considérablement le flux global. C'est un progrès significatif pour les matériaux de la microélectronique à forte densité d'intégration, cette augmentation préserve la propriété d'isolant électrique puisque les NPs ne sont pas en contact.

**CONSORTIUM CPMOH**, Université Bordeaux1, CNRS-UMR 5798, 351 cours de la libération, 33405 Talence; **LMP** Université Bordeaux1, CNRS-UMR 5469, 351 cours de la libération, 33405 Talence; **CRPP** CNRS-UPR 8641, Avenue Albert Schweitzer, 33600 Pessac; **EM2C**, Ecole Centrale PARIS, UPR 288, Grande voie des vignes, 92295 Châtenay Malabry; **LOP ESPCI** CNRS-UPR A0005, 10, rue Vauquelin, 750005 Paris; **INSP** CNRS-UMR 7588, 140 rue Lourmel 75015 Paris.

**CONTACT :** [stefan.dilhaire@u-bordeaux1.fr](mailto:stefan.dilhaire@u-bordeaux1.fr)