

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

CELIA

[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

# SPECTROSCOPIE XANES DU CUIVRE DENSE ET TIÈDE ET HORS DE L'ÉQUILIBRE THERMIQUE

*Forum ILP 2018*

N. Jourdain

*CEA, DAM, DIF, Arpajon, France*

*CELIA, Bordeaux, France*

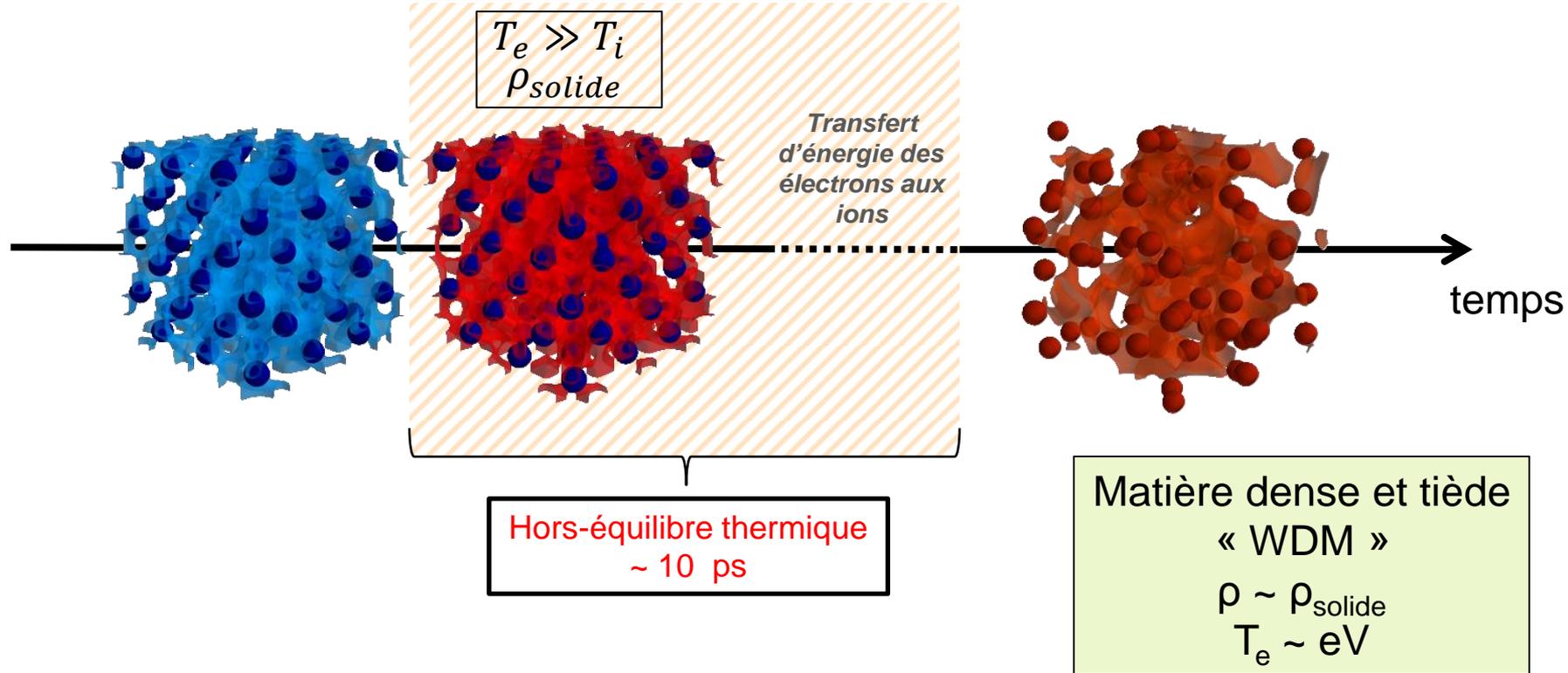
F. Dorchies

*CELIA, Bordeaux, France*

L. Lecherbourg

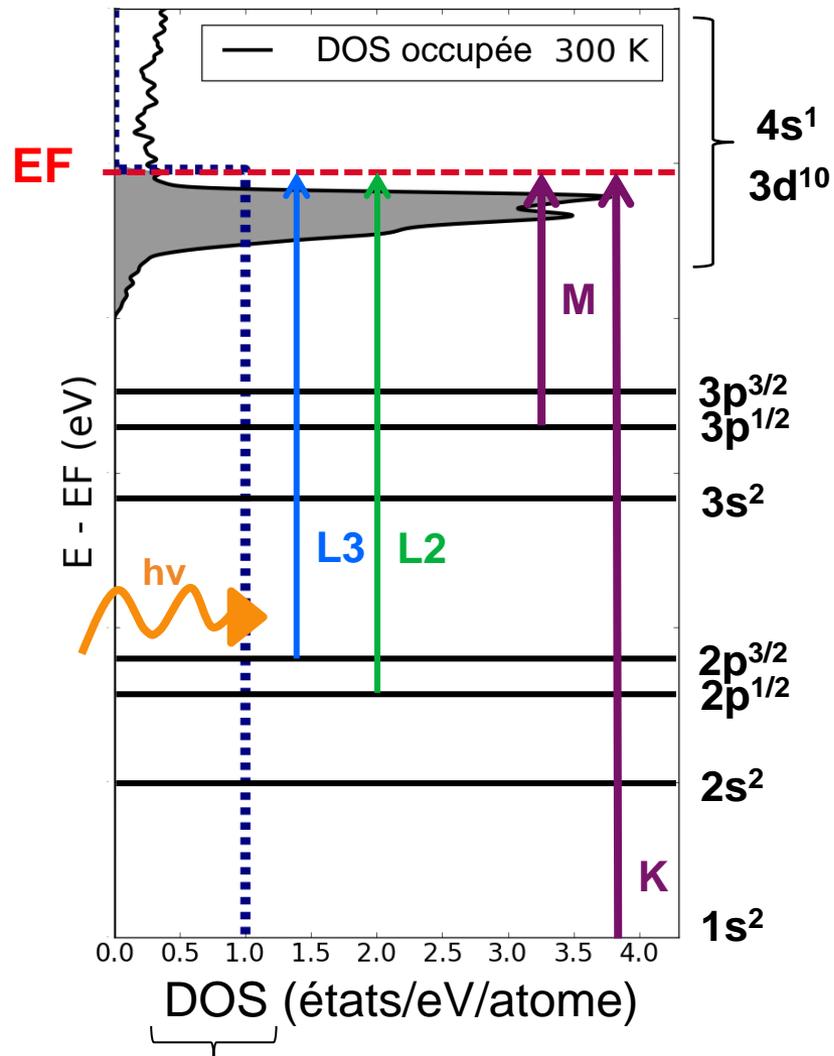
*CEA, DAM, DIF, Arpajon, France*

# TRANSITION ULTRA-RAPIDE DU SOLIDE À LA MATIÈRE DENSE ET TIÈDE

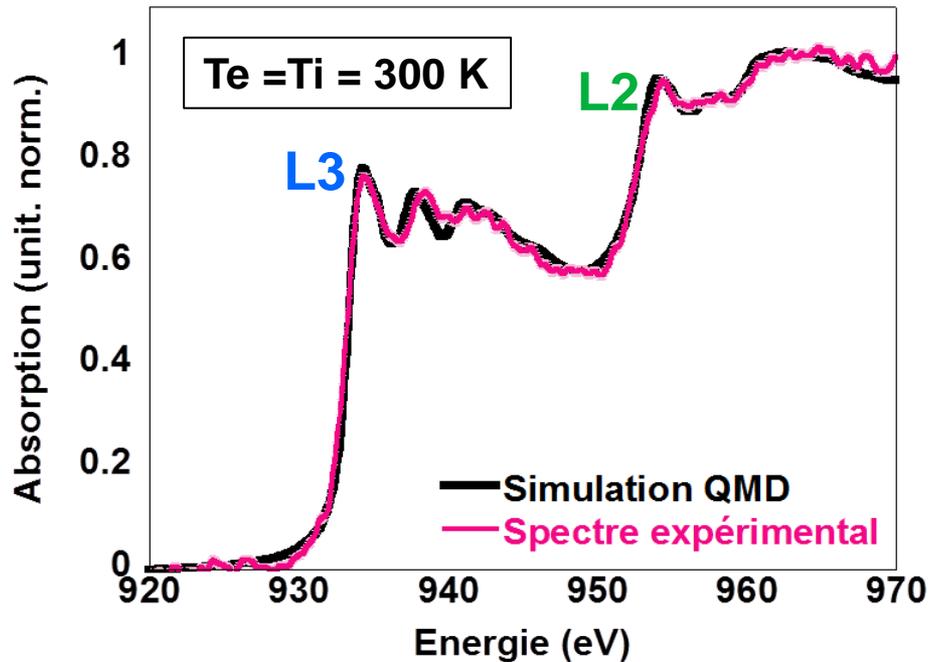


- Comment la structure électronique est-elle modifiée en situation de fort déséquilibre thermique ?
- Quel est l'impact des états hors de l'équilibre thermique sur la dynamique de transition de phase ?
- Quelle est la dynamique et la durée de l'équilibration thermique ?

# SPECTROSCOPIE XANES DU CUIVRE



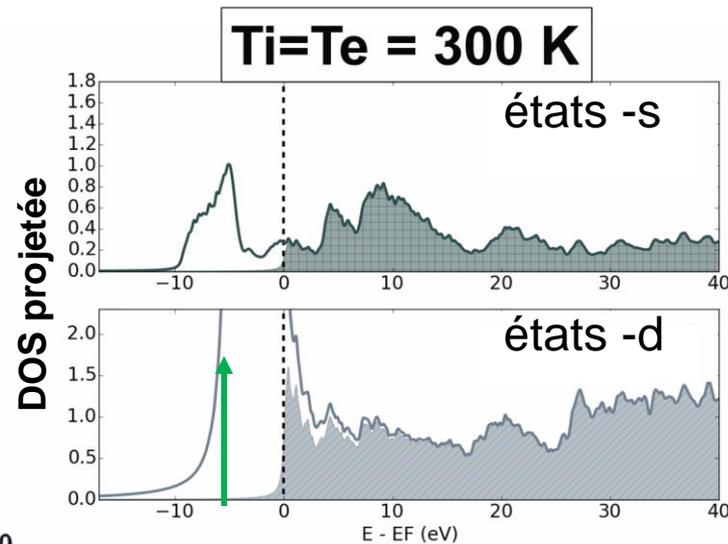
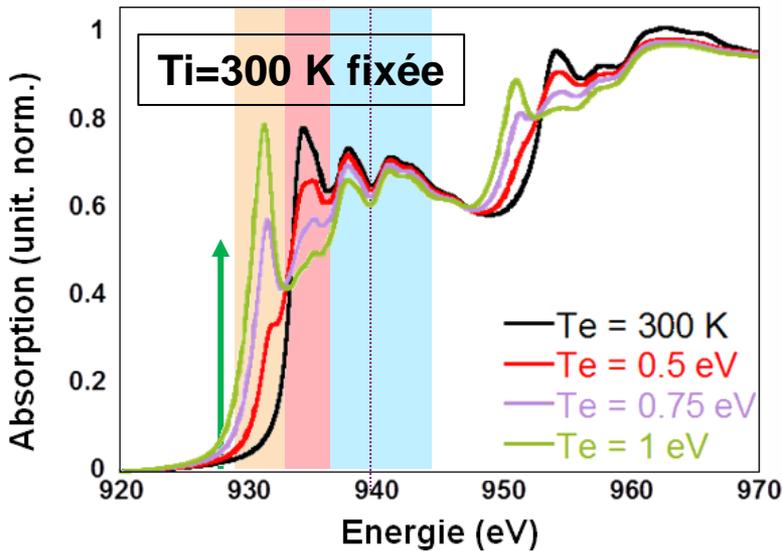
Density Of States



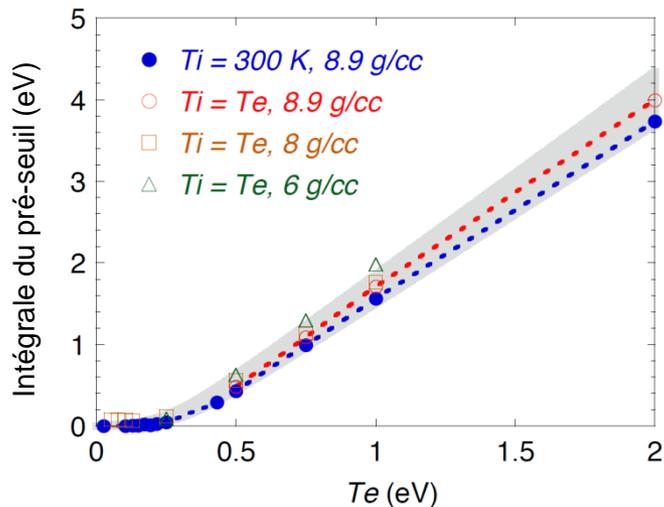
Les spectres XANES reflètent :

- la densité d'états électroniques inoccupés
- l'ordre atomique local

# QMD : LE PRÉ-SEUIL EST RELIÉ À LA TEMPÉRATURE ÉLECTRONIQUE $T_e$



- DFT
- LDA éch. et corr.
- 108 atomes
- 3\*3\*3 points k
- Schéma PAW



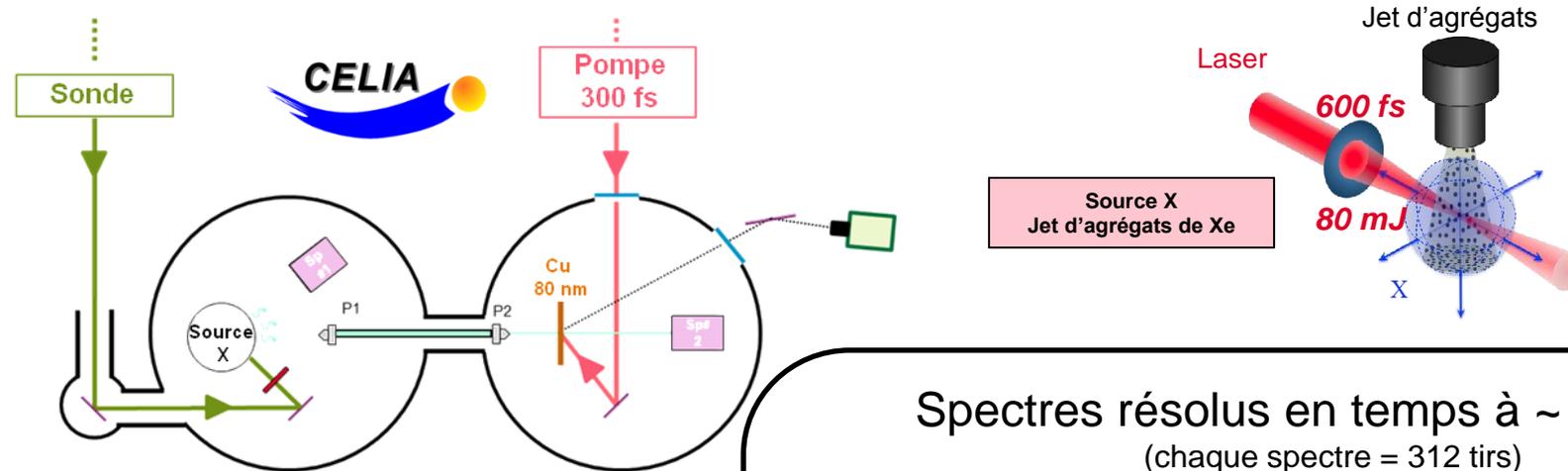
• La température des électrons  $T_e$  peut être mesurée via l'intégrale du pré-seuil.

• Nous avons déduit des calculs de QMD une fonction :

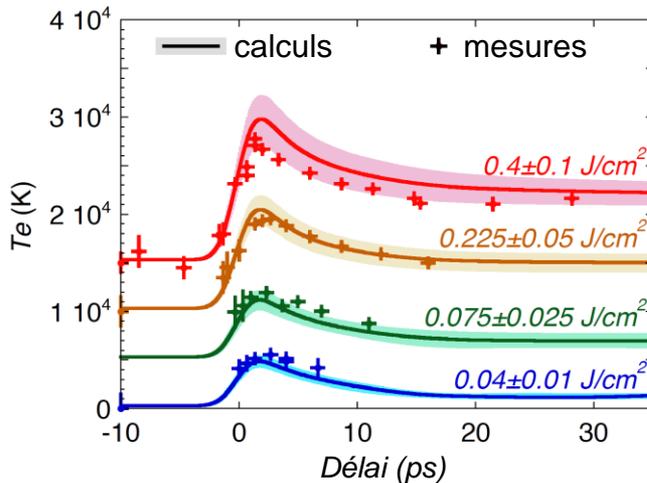
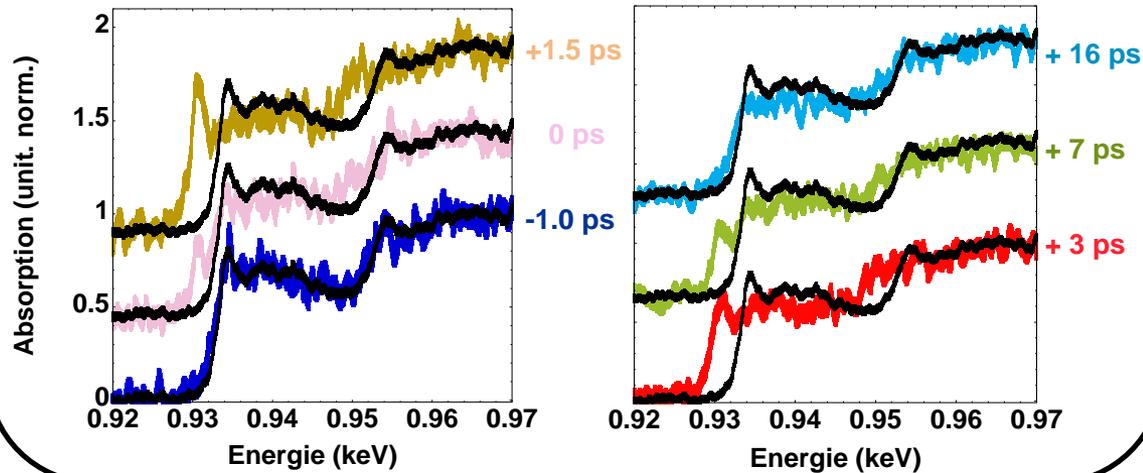
$$\text{Intégrale du pré-seuil} = f(T_e)$$

permettant d'attribuer une  $T_e$  aux spectres expérimentaux.

# EXPÉRIENCE DE XANES RÉVOLUE EN TEMPS AU FLANC L DU CUIVRE

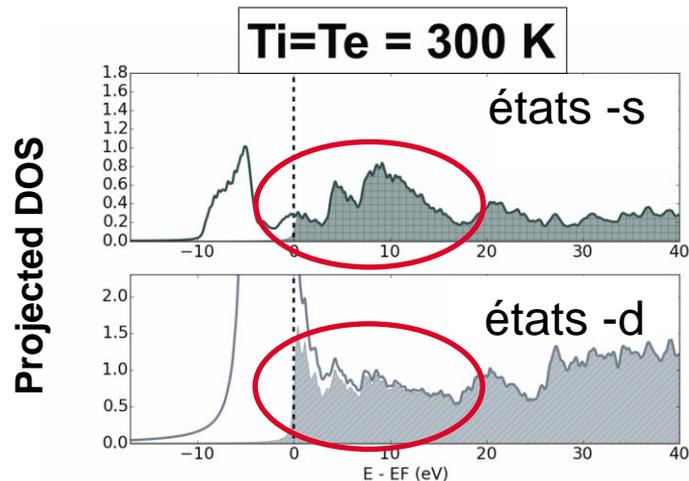
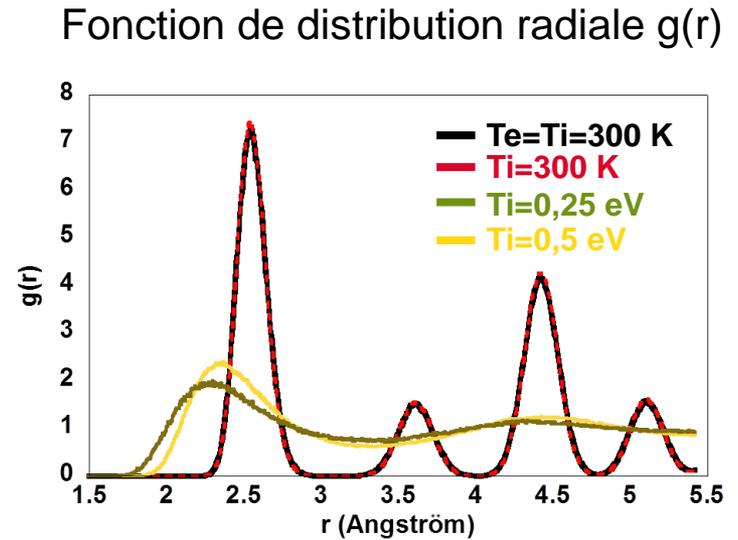
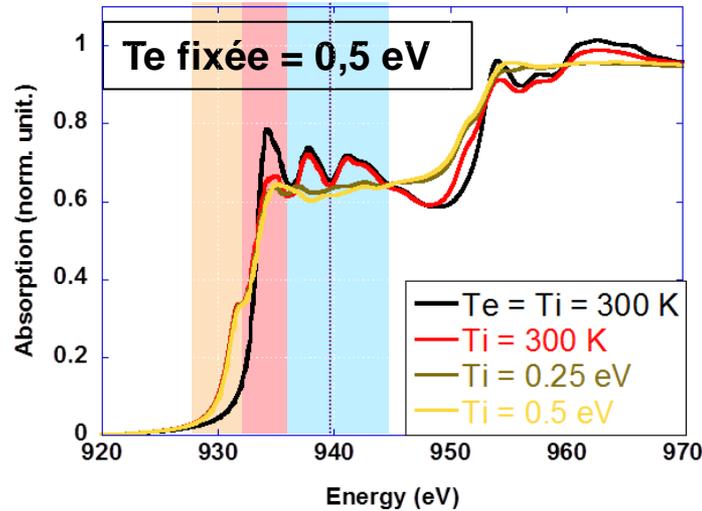


Spectres résolus en temps à  $\sim 2 \text{ J/cm}^2$   
(chaque spectre = 312 tirs)



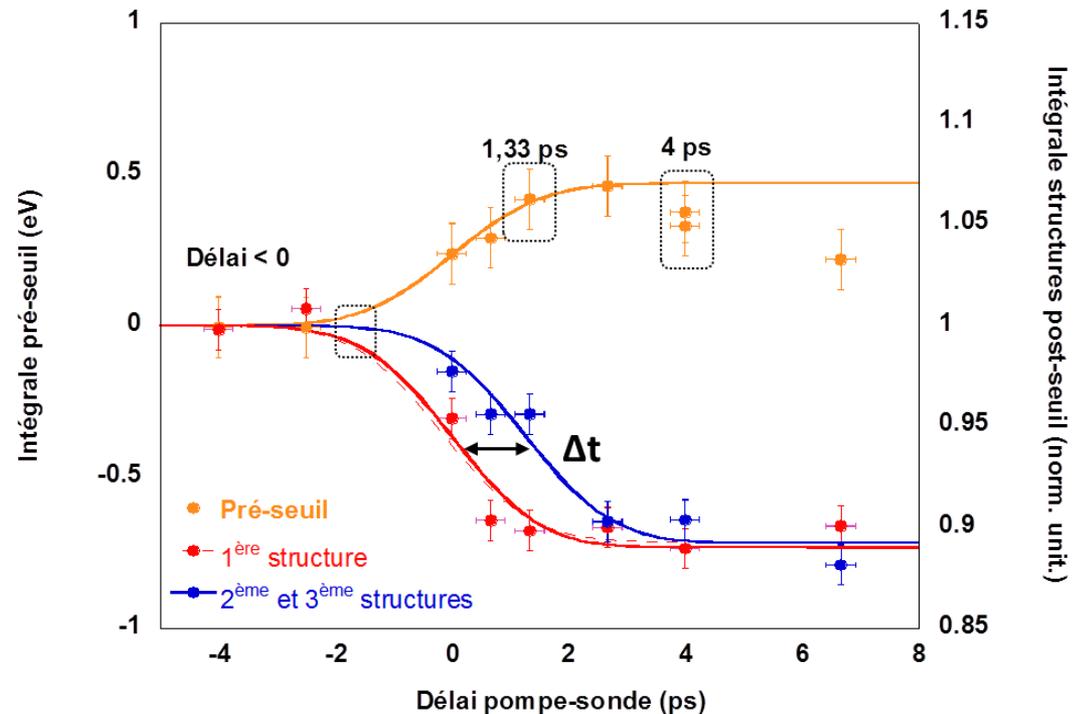
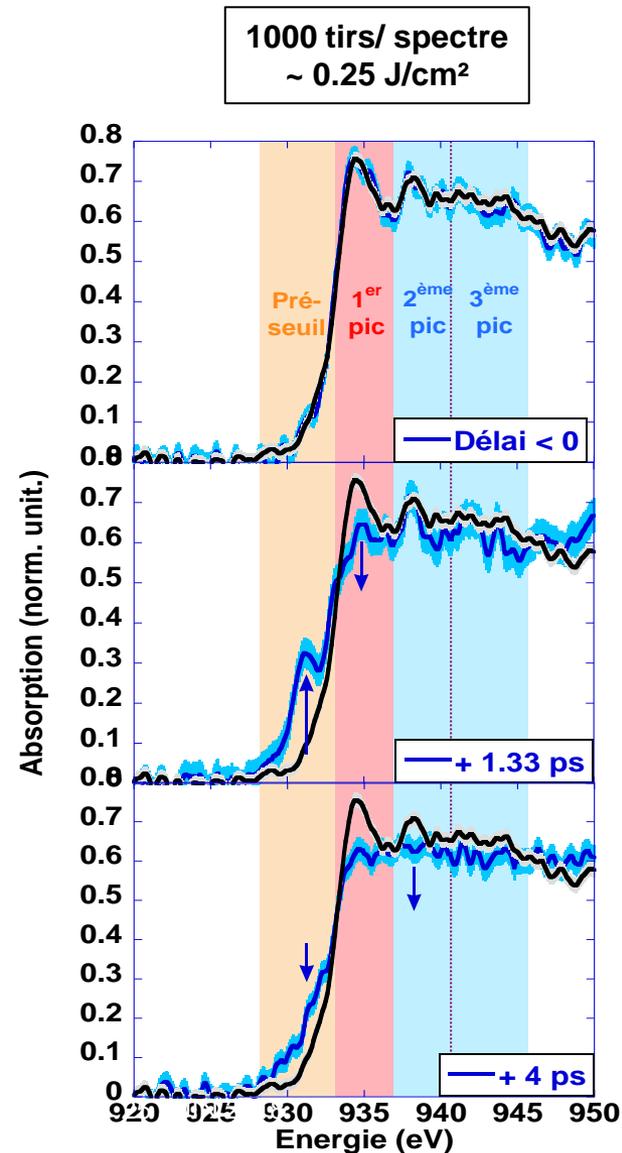
- Résolution temporelle :  $1.2 \pm 0.2 \text{ ps rms}$ 
  - Accès à la **dynamique de relaxation électron-ion** ( $\sim 10 \text{ ps}$ )

# LES STRUCTURES POST-SEUIL SONT LIÉES À L'ORDRE ATOMIQUE



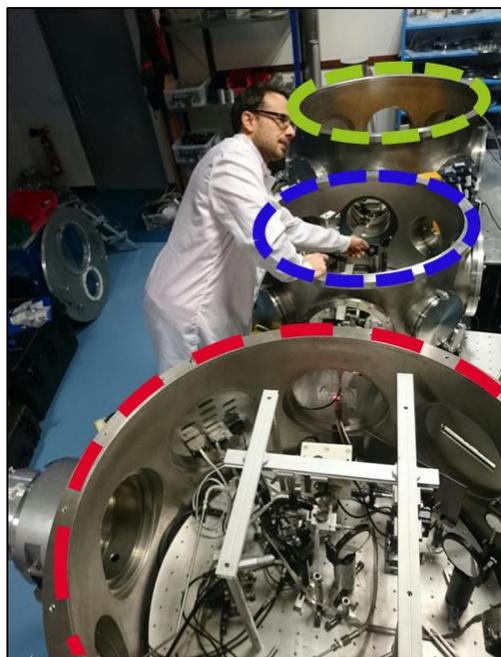
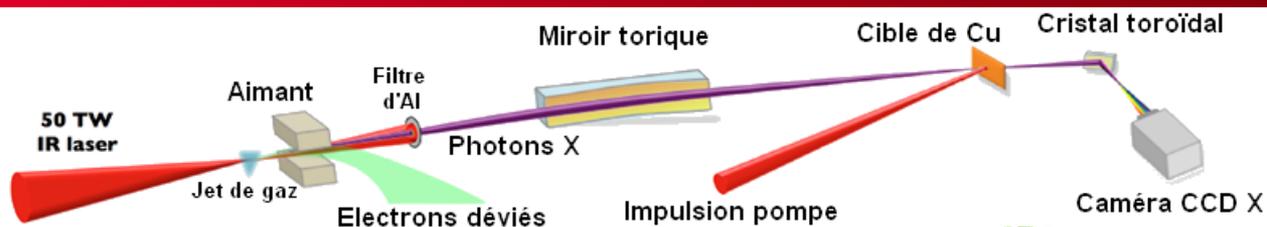
**La disparition des structures électroniques est une répercussion de la perte de l'ordre atomique.**

# DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE DE LA PERTE DE L'ORDRE ATOMIQUE EN 1,25 PS



- La perte de structures en lien avec l'ordre atomique se produit **1.25 ± 0.4 ps plus tard** que les changements au niveau de la 1<sup>ère</sup> structure et du pré-seuil (reliés à Te)

# XANES FEMTOSECONDE AVEC LE RAYONNEMENT BÉTATRON



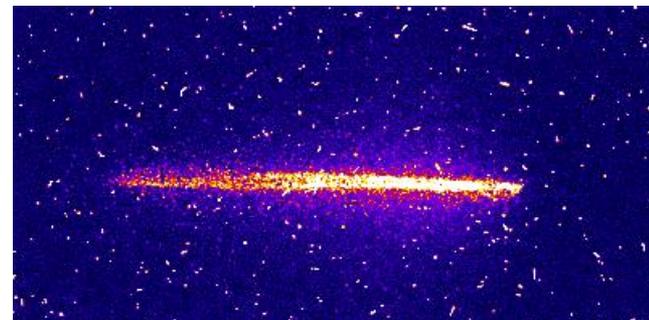
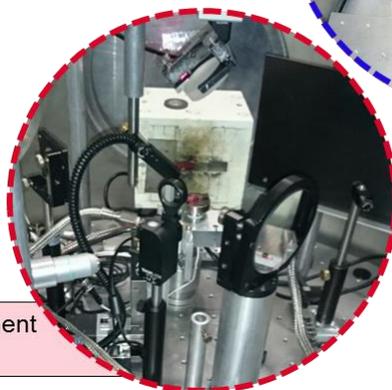
Spectromètre conçu pour le flanc L du Cu  
Cible : 80 nm Cu

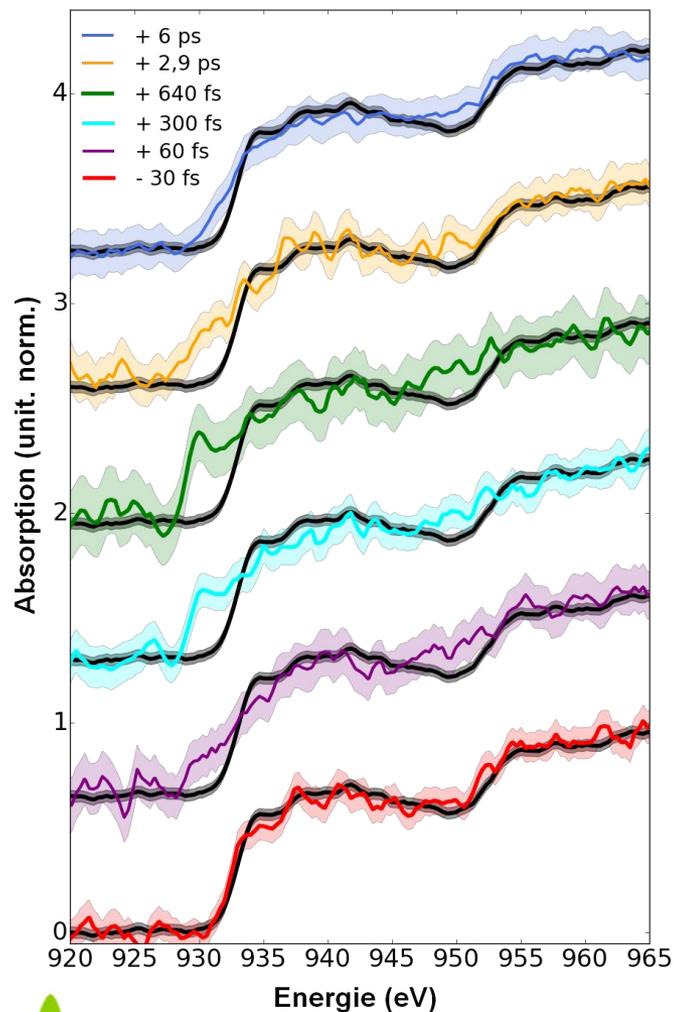


Collection et focalisation des photons X



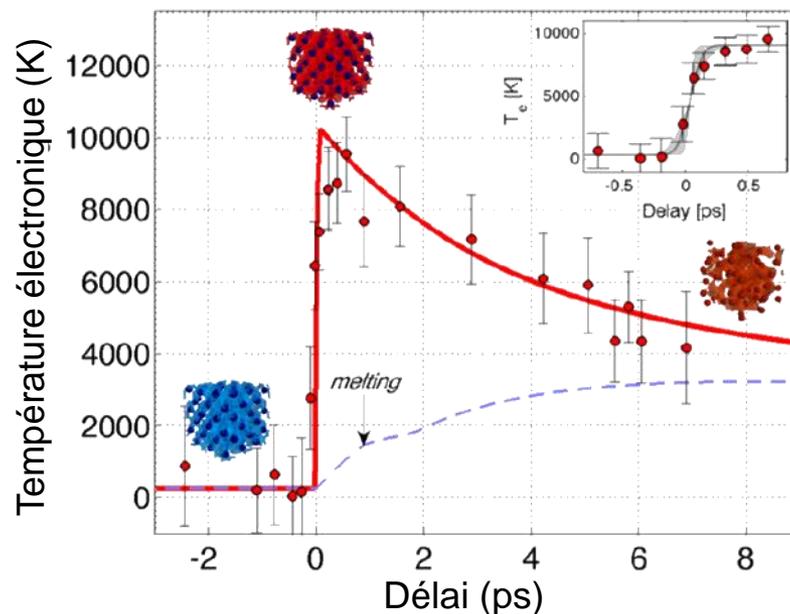
Rayonnement bétatron





Atteinte d'une résolution temporelle femtoseconde sur des mesures de spectroscopie d'absorption dans le régime de la WDM.

➤ Accès à l'ensemble de la dynamique du chauffage sub-ps.



Résolution temporelle < 100 ps rms

- Le chauffage de la matière par un laser sub-ps génère des situations où  $T_e \neq T_i$ 
  - Le XANES est un très bon outil pour étudier ces états
- Les simulations de QMD permettent de comprendre l'influence sur les spectres XANES de :
  - La température électronique  $T_e$
  - La perte de l'ordre atomique local
- Reproduction d'une expérience XANES résolue en temps réalisée sur synchrotron [1] sur des dispositifs « de table » (~ quelques mètres de long) : accès à des résolutions temporelles < 100 fs rms.

Dispositif expérimentaux « de table » - résolution expérimentale	
Jet d'agrégats de Xe	$1.2 \pm 0.2$ ps rms
Rayonnement X bétatron	< 100 fs rms

- Les séries de spectres XANES résolus en temps offrent un **diagnostic direct de  $T_e(t)$** 
  - Etude de la dynamique de relaxation entre les électrons et les ions

F. Dorchies  
*CELIA, Bordeaux, France*



L. Lecherbourg, V. Recoules, P. Renaudin  
*CEA, DAM, DIF, Arpajon, France*



K. Ta Phuoc, B. Mahieu  
*LOA, Palaiseau, France*

