

Gradients thermiques générés par laser pour l'étude des composants face au plasma

L. Gallais¹, M. Minissale², M. Lemetais^{1,3,4}, M. Lenci³, A. Durif⁴, M.F. Barthe⁵, G. Kermouche³, M. Richou⁴

¹Institut Fresnel, Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille

²PIIM, Aix Marseille Univ, CNRS

³Laboratoire Georges Friedel, Mines de Saint-Étienne, t CNRS

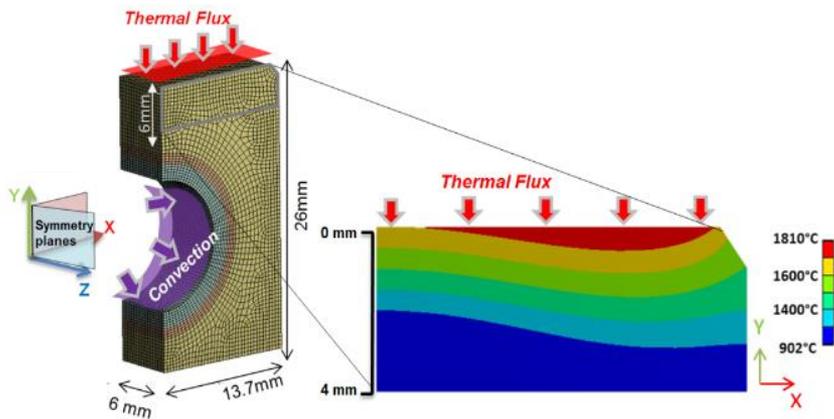
⁴IRFM, CEA

⁵CEMHTI, CNRS

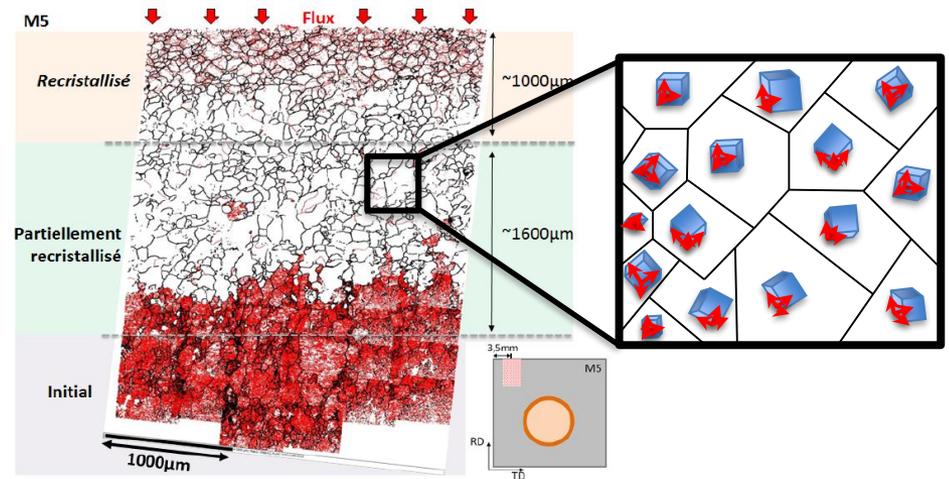
laurent.gallais@fresnel.fr

Contexte et objectifs des travaux menés dans le cadre de la FR FCM

Les gradients thermiques dans les composants face au plasma engendrent une modification des propriétés matériaux



A. Durif et al., 2019, Fusion engineering and Design



Thèse A. Durif

Le besoin de conduire des études au niveau du laboratoire a amené à explorer des solutions laser (1^{er} projet FRFCM en 2013)

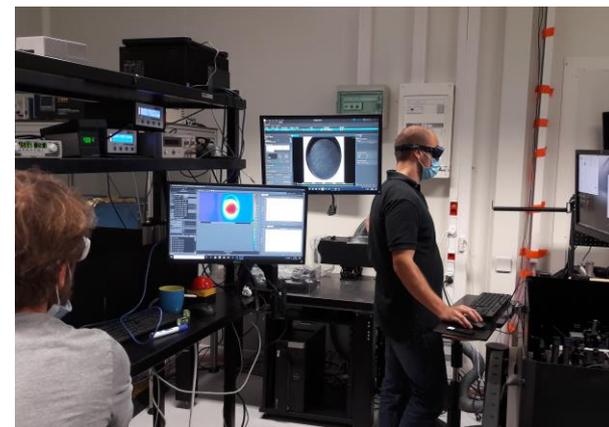
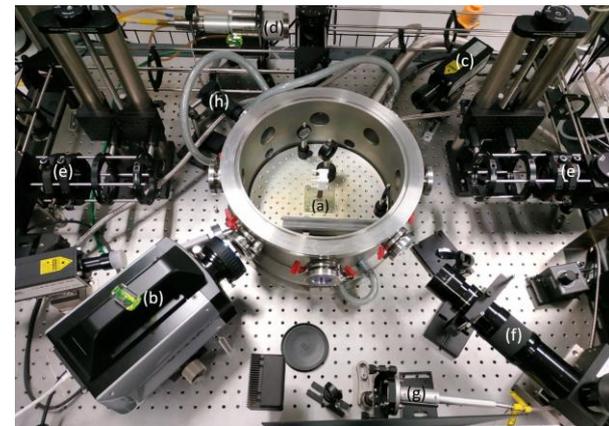
Plateforme ChauCoLase

Chauffage Contrôlé par Laser



Installation basée à l'IF et mutualisée avec le CEA, disposant de :

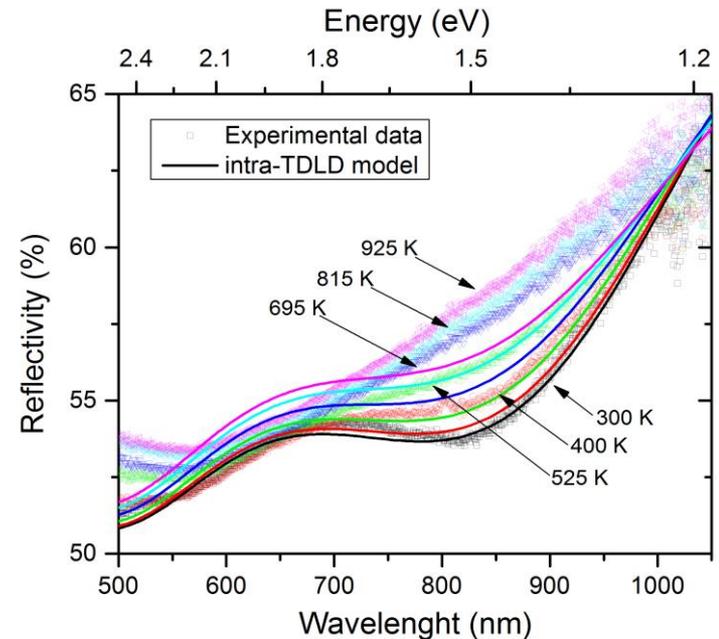
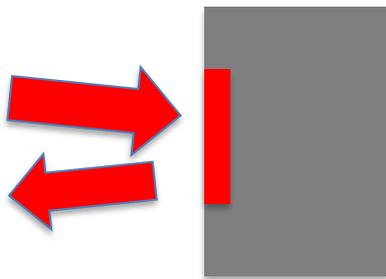
- Lasers de puissance kW
- Chambres d'expérience
- Instrumentation (caméras thermiques, spectromètres, etc...)
- Moyens de calibration (corps noir 3000°C)
- Moyens de caractérisation de propriétés optiques
- Préparation d'échantillons
- Outils de simulation associés



Interaction laser / métaux

Caractéristiques principales:

- Réflectivité très élevée dans le domaine Vis/IR
- Couplage surfacique (<100 nm)
- Dépendance des propriétés optiques à l'état de surface et la température

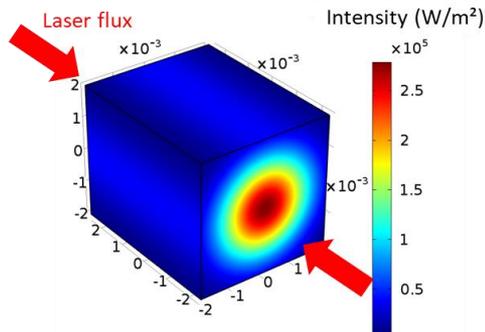


Réflectivité d'échantillons de Tungstène polis en fonction de la température

*Minissale et al., *J. Phys. D.: App. Phys* 50, 455601 (2017); doi: 10.1088/1361-6463/aa81f3

Etude de la cinétique de recristallisation du W

Approche : recuits laser isothermes puis analyse de la fraction recristallisée*



Dépôt de puissance sur un échantillon de $4 \times 5 \times 6 \text{ mm}^3$

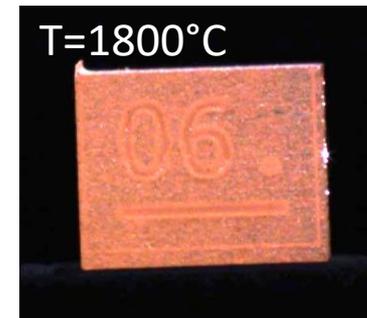
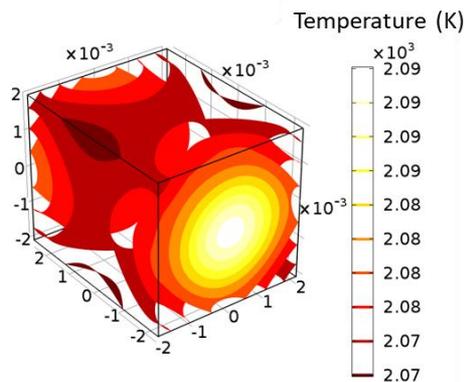
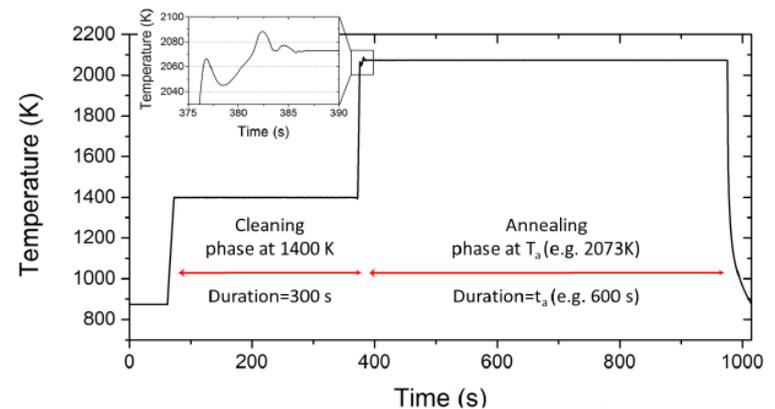


Image d'un échantillon en chauffe



Gradient thermique générés en régime stationnaire

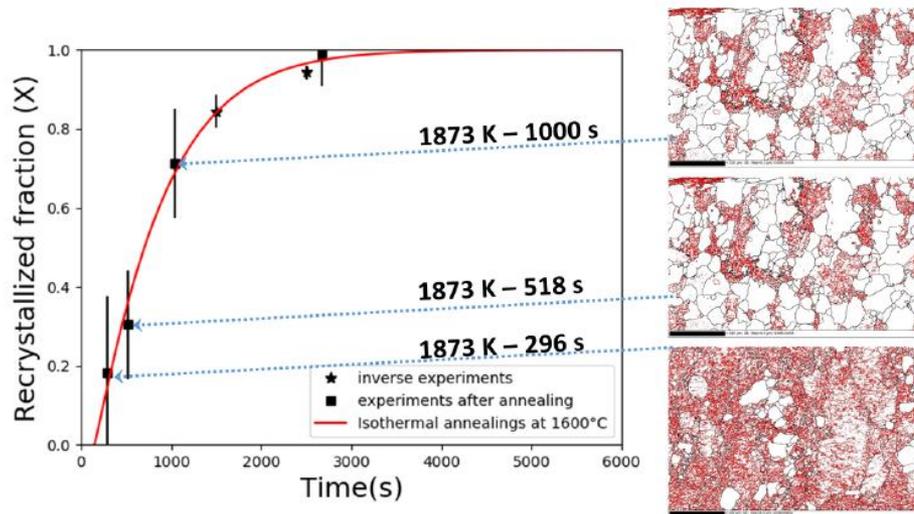


Température mesurée en surface

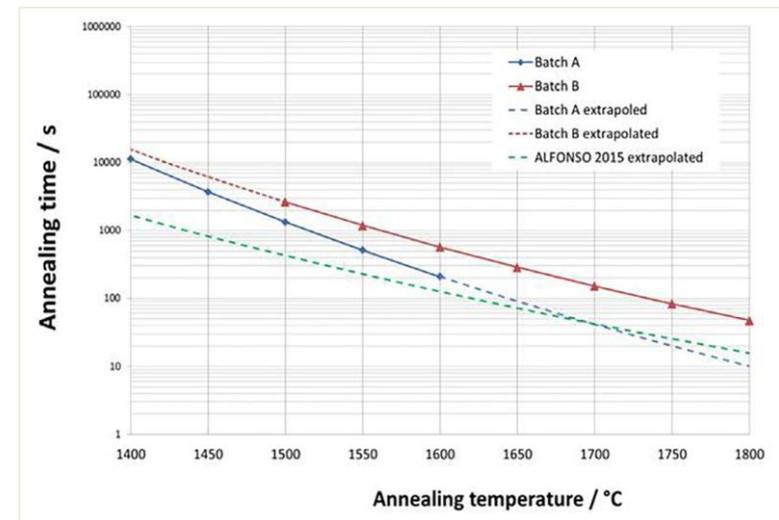
*Minissale et al., Rev. Sci. Instrum. **91**, 035102 (2020); doi: 10.1063/1.5133741

Etude de la cinétique de recristallisation du W

Résultats obtenus sur différents grades de Tungstène*



Fractions recristallisées obtenues par analyse EBSD
(Electron Back Scattered Diffraction)

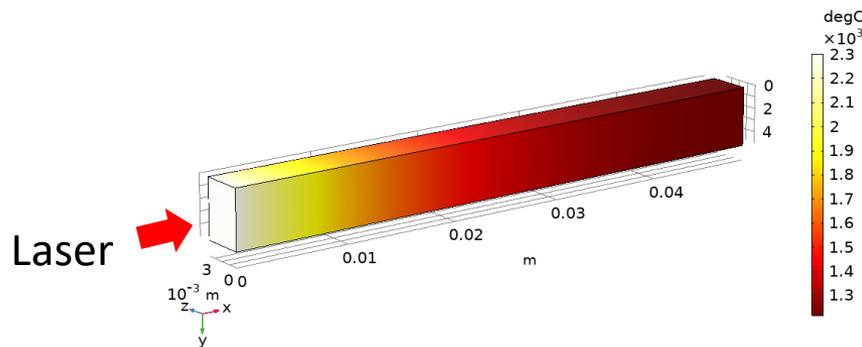


Comparaison du temps de recuit nécessaire pour
atteindre une fraction recristallisée de 50%

*Richou et al., J. Nuclear Materials 542, 152418 (2020); doi: 10.1016/j.jnucmat.2020.152418

Etude de la cinétique de recristallisation du W

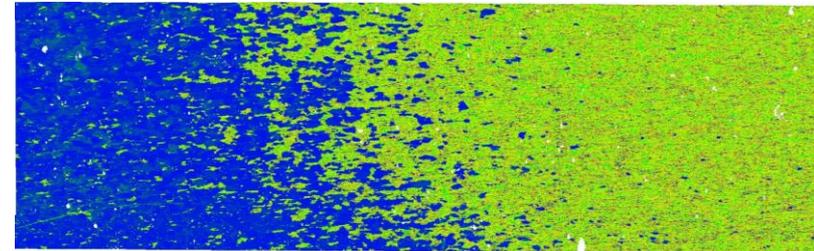
Travaux en cours*: recuits sous gradient thermique



Laser

Simulation des gradients thermiques stationnaires générés dans un barreau de W

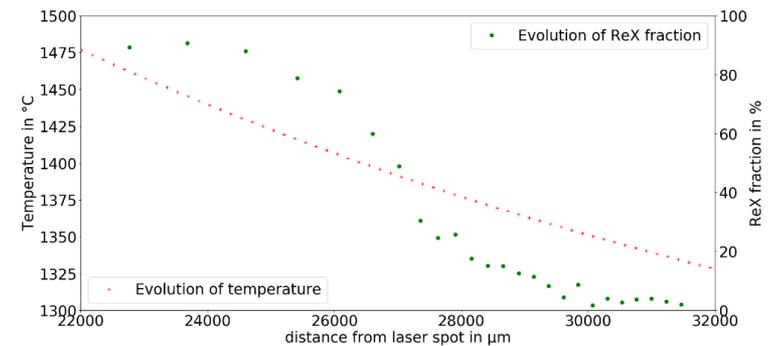
3 mm



Front de recristallisation dans un barreau recuit (EBSD)



Barreau de W

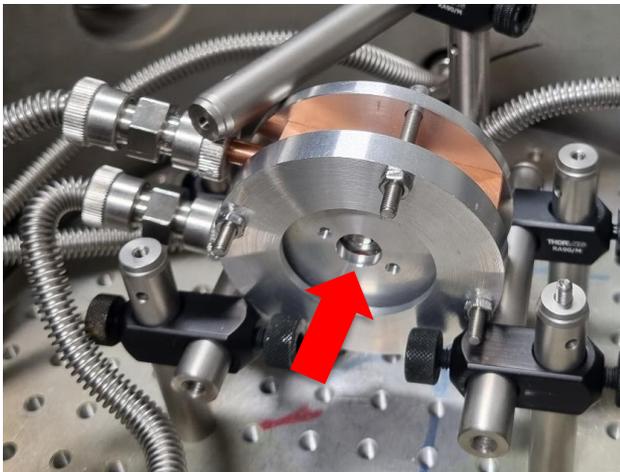


Fraction recristallisée/température dans le barreau

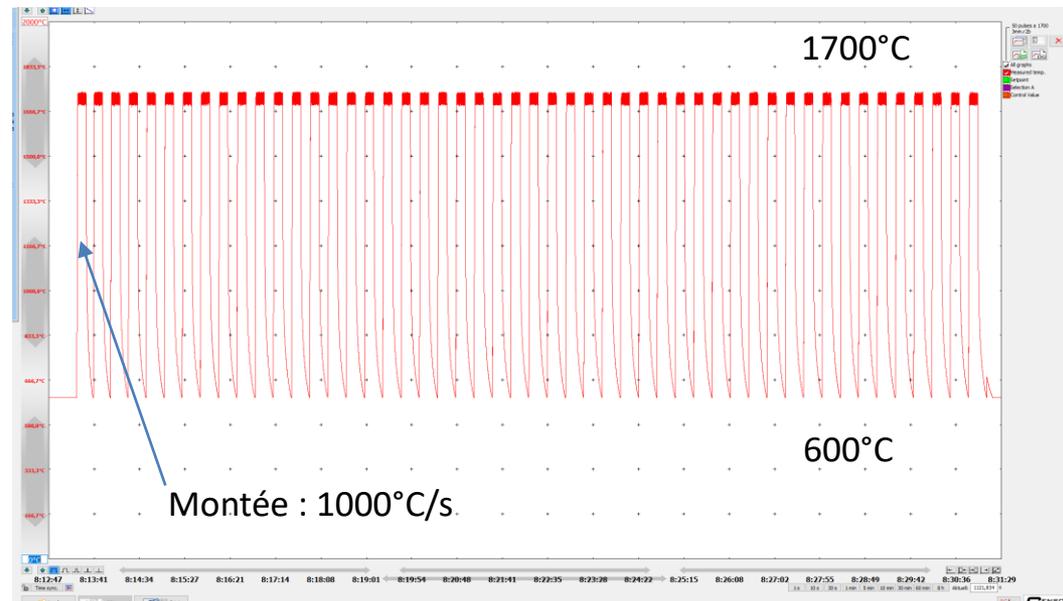
*Thèse M. Lemetais

Recuits transitoires

Etude de l'effet des cyclages thermiques sur l'évolution de la microstructure et des défauts du W sous irradiation



Echantillon de Tungstène sur support refroidi activement



Exemple d'un cyclage de 50 impulsions de 10 s

Conclusions & Perspectives

Intérêt des techniques lasers :

- Facilité de mise en œuvre
- Gestion spatio-temporelle du dépôt de puissance
- Echantillon accessible à d'autres diagnostics

Limitations :

- Mauvais couplage laser / métal
- Puissance accessible limitée

Pour un laser d'1kW:

- $1 \text{ MW/m}^2 \Rightarrow 10 \text{ cm}^2$
- $1 \text{ GW/m}^2 \Rightarrow 1 \text{ mm}^2$

Perspectives :

- Tests de tenue au flux laser

