

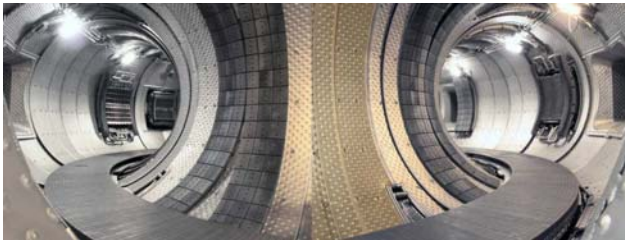
Analyses LIBS pour ITER

L. MERCADIER^{1,2}, **J. HERMANN**¹, **C. GRISOLIA**², **A. SEMEROK**³

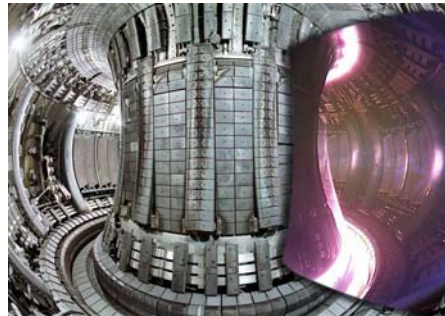
¹LP3 – UMR 6182 CNRS – Université de Marseille

²CEA Cadarache IRFM/SIPP

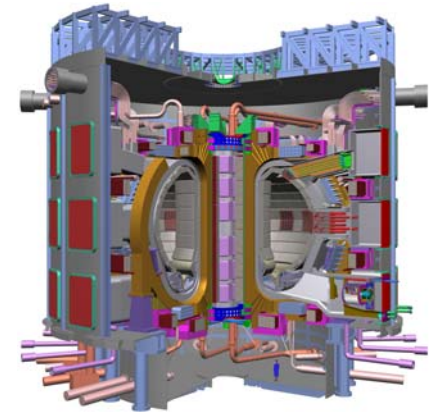
³CEA Saclay DPC/SCP/LILM



Tore Supra



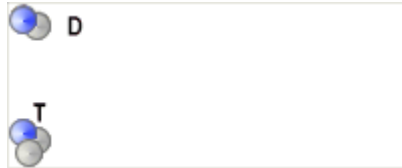
JET



ITER

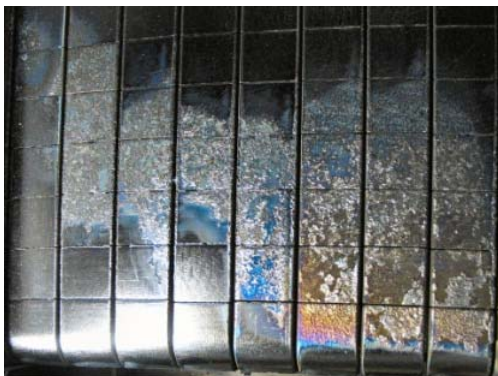
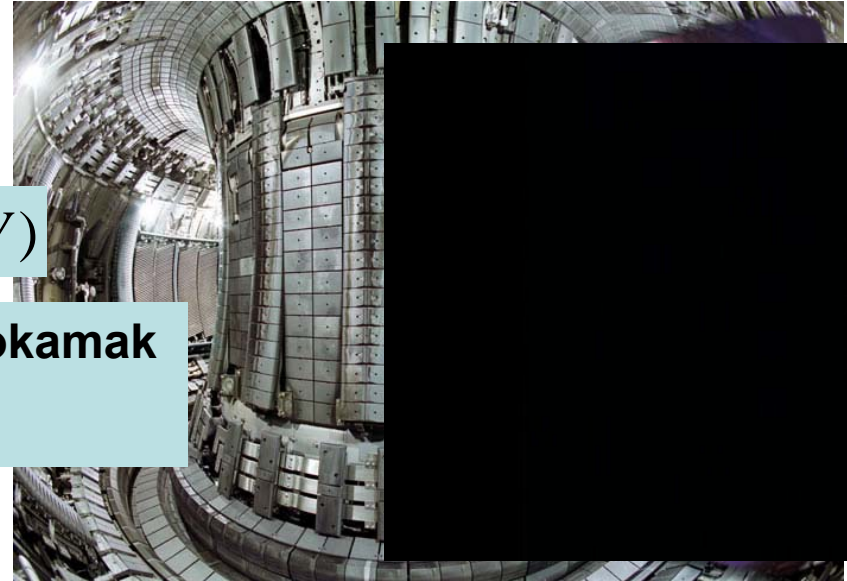
- 1. Contexte de l'étude**
- 2. Les couches co-déposées sur les CFP**
- 3. Procédure pour l'analyse quantitative des CFP**
- 4. Comparaison de deux lasers**
- 5. Conclusion**

Fusion Nucléaire par Confinement Magnétique



- Création d'un plasma D/T dans un Tokamak
- $B = 4.2\text{ T}$ (Tore Supra) et 5.3 T (ITER)

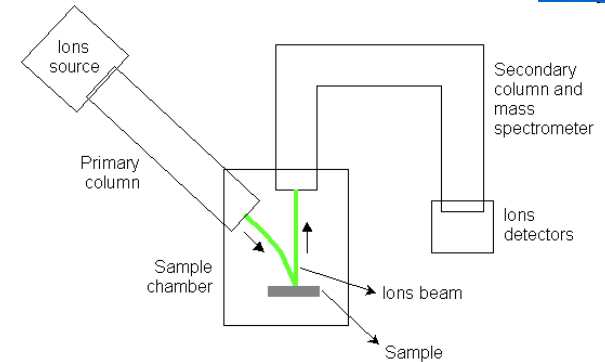
- Interactions plasma – paroi
- Erosion/dépôt de couches sur les Composants Face au Plasma (CFP)
- Piégeage du tritium : **problème de sûreté**



Nécessité de contrôler la quantité de tritium piégé dans les CFP

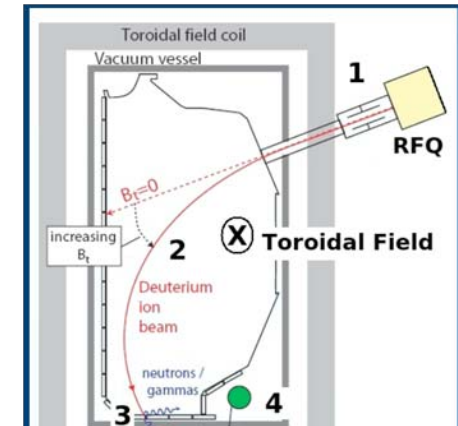
SIMS

Spectrométrie de masse d'ions secondaires



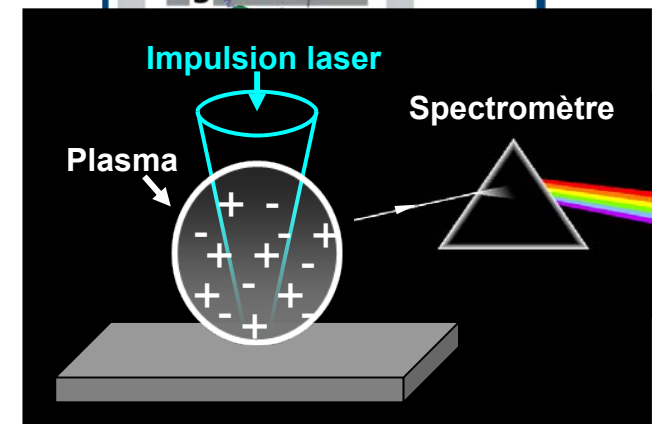
Ion Beam Analysis

Etude des neutrons issus de la réaction nucléaire du T piégé avec un flux de D 10 MeV



LIBS

Spectroscopie de plasma induit par laser

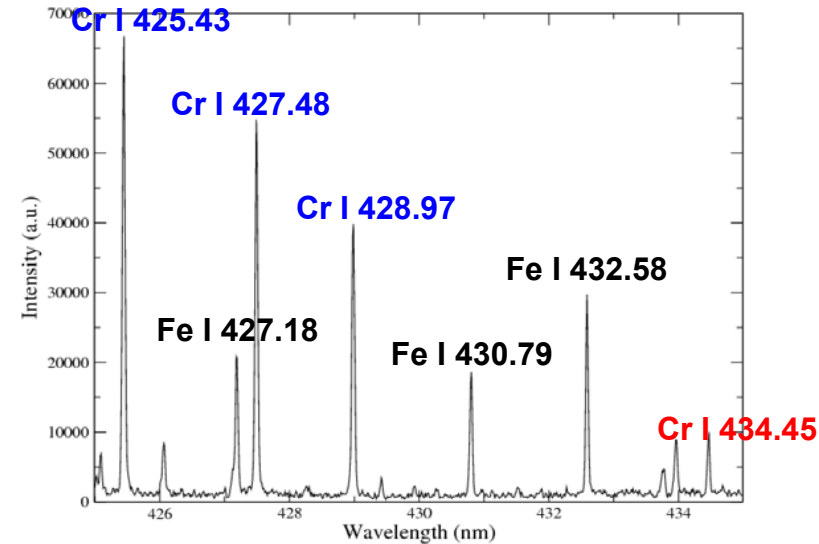


Identification des éléments :
H, Li, B, C, N, O, Na, Mg, Al, Si, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Mo, Ag

Zone d'observation : 245 – 780 nm

Choix des raies d'intérêt

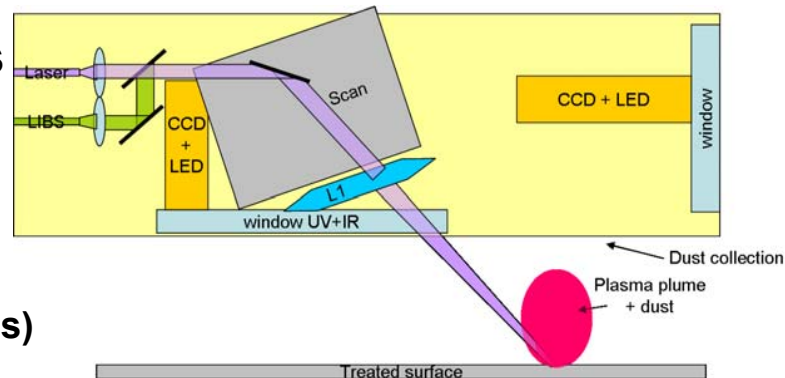
Elément	Zone spectrale	Elément	Zone spectrale
C	247 - 249 nm	Al	394 – 397 nm
B	249 – 251 nm	Mn	403 – 406 nm
Si	250 – 289 nm	Ca	421 – 423 nm
Mg	279 – 281 nm	Cr	425 – 435 nm
Mo	313 – 320 nm	Na	588 – 590 nm
Cu	324 – 328 nm	H	650 – 660 nm
Ag	327 – 339 nm	Li	665 – 675 nm
Ni	341 – 353 nm	N	740 – 750 nm
Fe	371 – 377 nm	O	776 – 779 nm



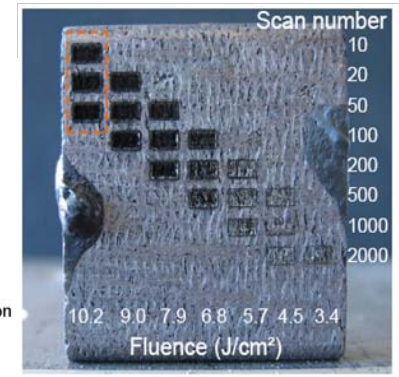
Zone spectrale utilisée pour mesurer T , n_{Fe} et n_{Cr}

Nettoyage par ablation laser

- Ablation des couches sans endommagement du substrat
- Nécessité de contrôle
 ⇒ LIBS (impuretés métalliques)



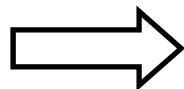
C. Hernandez et al., CEA Cadarache



H. Roche et al., CEA Cadarache (2009)

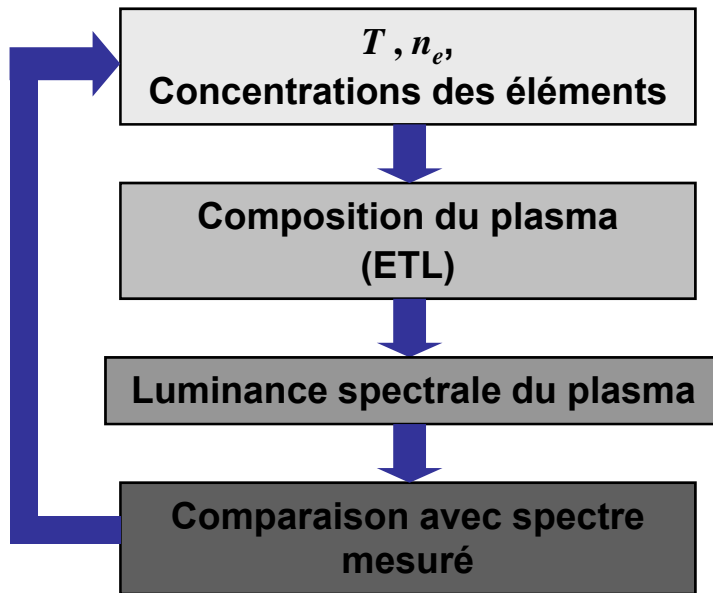
Analyse quantitative par LIBS

- Couches non uniforme créés par un plasma de fusion
- Propriétés physiques peu connues et difficiles à modéliser
- Propriétés optiques et thermiques différentes selon les zones
- Étalonnage impossible



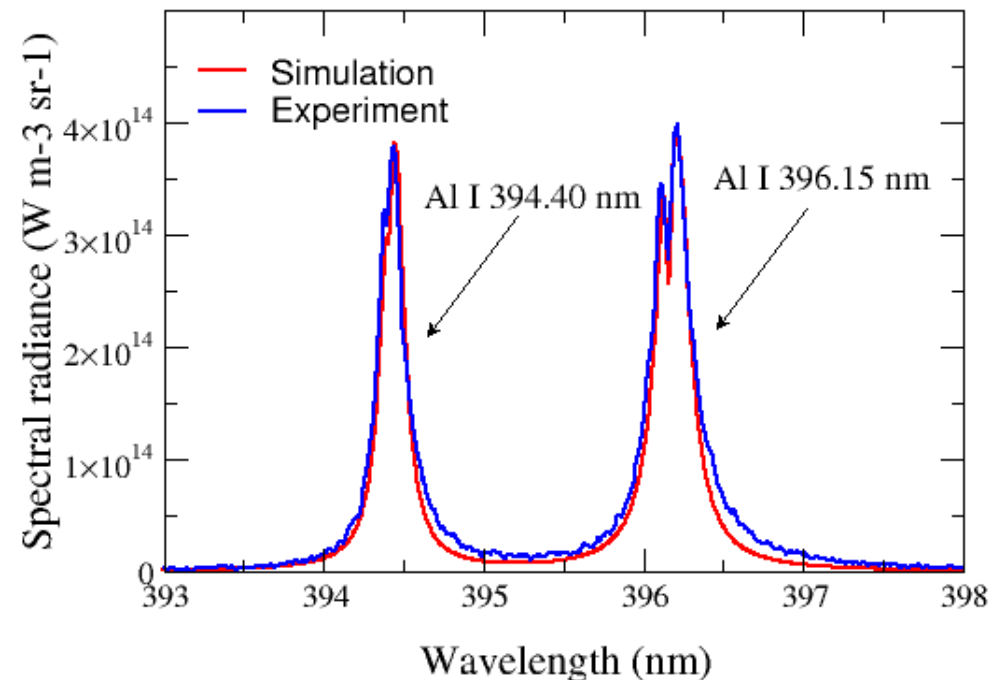
Nécessité d'une mesure "auto-calibrée"

Modèle reliant concentrations élémentaires & intensités spectrales



Brevet n° 08/06203 du CNRS

- Ablation stœchiométrique
- Pas de ségrégation
- Plasma en ETL
- ~~Plasma optiquement mince~~
- ~~Plasma uniforme~~

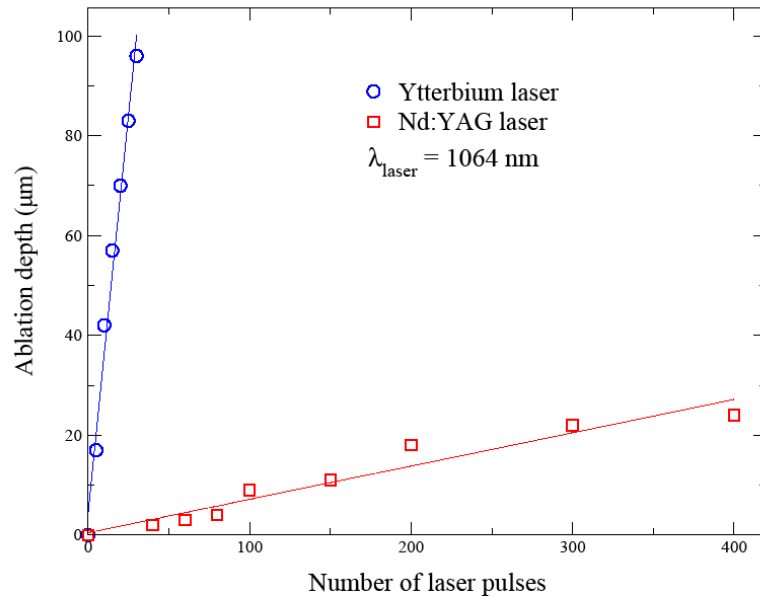


Comparaison de deux lasers :

Laser Ytterbium utilisé pour nettoyage des CFP et laser Nd:YAG

Le laser Ytterbium peut-il servir pour l'analyse LIBS de H, D, T et/ou pour le contrôle de l'ablation des CFP ?

Spécifications des lasers		
Caractéristique	Nd:YAG	Ytterbium
Fabricant	Quantel	IPG
Modèle	Brio	YLP-1/120/120/20
Longueur d'onde	1064 nm	1064 nm
Durée d'impulsion	4 ns	200 ns
Energie par impulsion	1 à 100 mJ	1 mJ
Taux de répétition	1 à 20 Hz	20 à 80 kHz
Diamètre du faisceau	8 mm	8 mm



Profondeur d'ablation en fonction du nombre d'impulsion sur cible de Cuivre

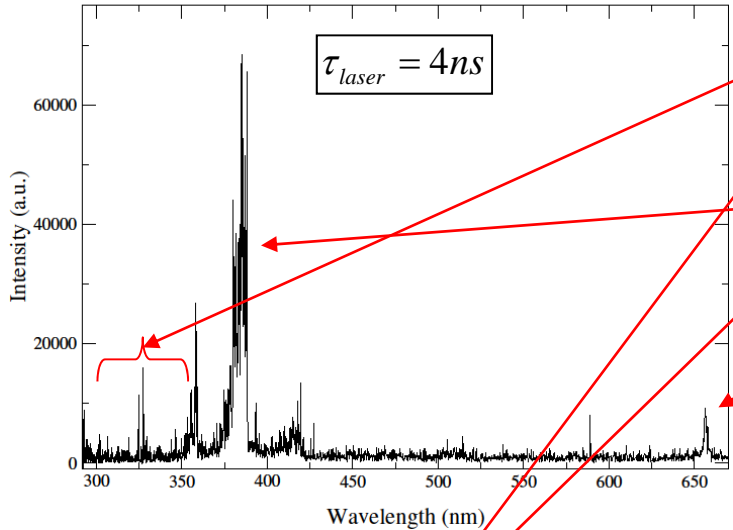
Diamètre des cratères : 190 µm

$$\tau_{Yb} > \tau_{Nd:YAG}$$

$$l_{th} \propto \sqrt{\chi \tau_{las}}$$

$$l_{th Yb} > l_{th Nd:YAG}$$

Nd:YAG



Cr, Fe, Ni, Cu...

CN

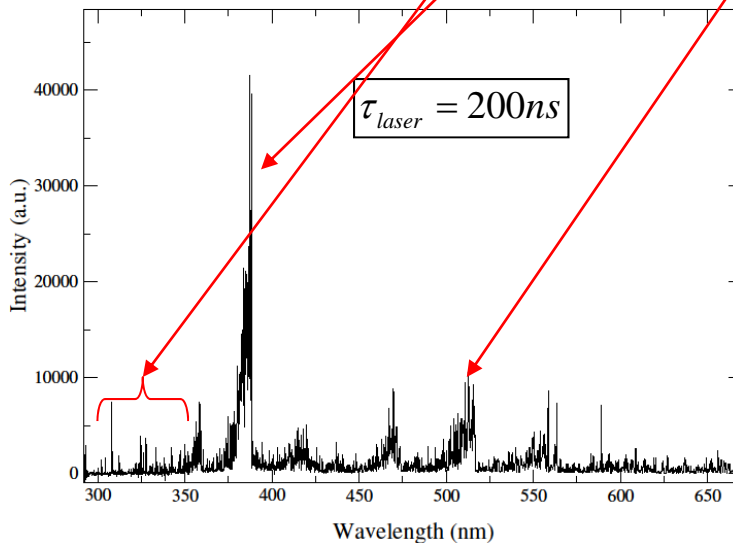
H_α

C₂ Swan



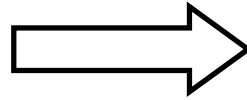
$T_{plasma} \text{ Yb} < T_{plasma} \text{ Nd:YAG}$

Ytterbium



- Raies métalliques : **contrôle de l'ablation**
- Présence de CN
- Laser Nd:YAG :
 - observation de la raie H_α
- Laser Yb :
 - pas de raie H_α
 - présence du système C₂ Swan

$$\tau_{Yb} > \tau_{Nd:YAG}$$



$$I_{Yb} < I_{Nd:YAG}$$

- Le chauffage du plasma par effet Bremsstrahlung Inverse augmente avec l'intensité laser
 - Le plasma créé par laser Yb est moins bien chauffé
- ⇒ Présence de C₂, absence de H_α, moins de raies métalliques
- L'endommagement par laser Yb est plus conséquent

Conclusion :

Le laser Ytterbium peut servir pour le contrôle à l'ablation des CFP mais pas pour la détermination de H, D, T piégé dans les couches

La technique LIBS au service de la fusion nucléaire :

- Contrôle du nettoyage des CFP en temps réel
- Mesure de la quantité de H, D, T piégé
- Résolution en épaisseur (analyses multicouches)

Etude paramétrique : optimisation de la mesure

- Conditions d'irradiation
- Gaz environnant, pression

Analyse LIBS quantitative – procédure auto-calibrée

- Identification des éléments, choix des raies d'intérêt
- Analyse spatio-temporelle du panache d'ablation



Merci de votre attention