The background of the slide is an aerial photograph of a nuclear power plant. Two large, white, conical cooling towers are the central focus, with thick plumes of white steam rising from them. The plant's complex of buildings and structures is visible in the foreground and middle ground, set against a backdrop of green fields and a clear sky.

# Analyse LIBS en milieu nucléaire

Laurent Salmon

CEA - Saclay



## Manipulation de matériaux radioactifs

Matériaux manipulés dans des enceintes confinées



Boîtes à gants pour protéger des émissions  $\alpha$  →

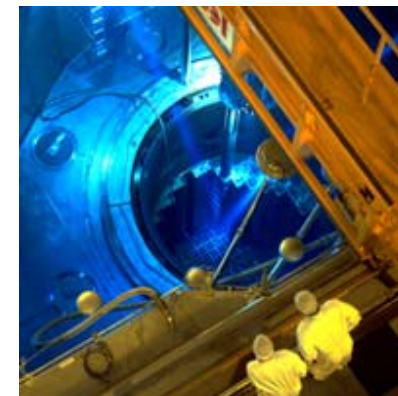
← Cellule blindée pour la protection des rayonnements ( $\beta, \gamma$ )



**Les analyses complémentaires impliquent des délais souvent longs** (transport vers un laboratoire ad-hoc)

## Analyses en réacteur

**Prélèvement** de matière sur un composant **pas toujours possible** (intégrité, accessibilité) + **besoin d'un retour rapide de l'information** / contraintes d'exploitation

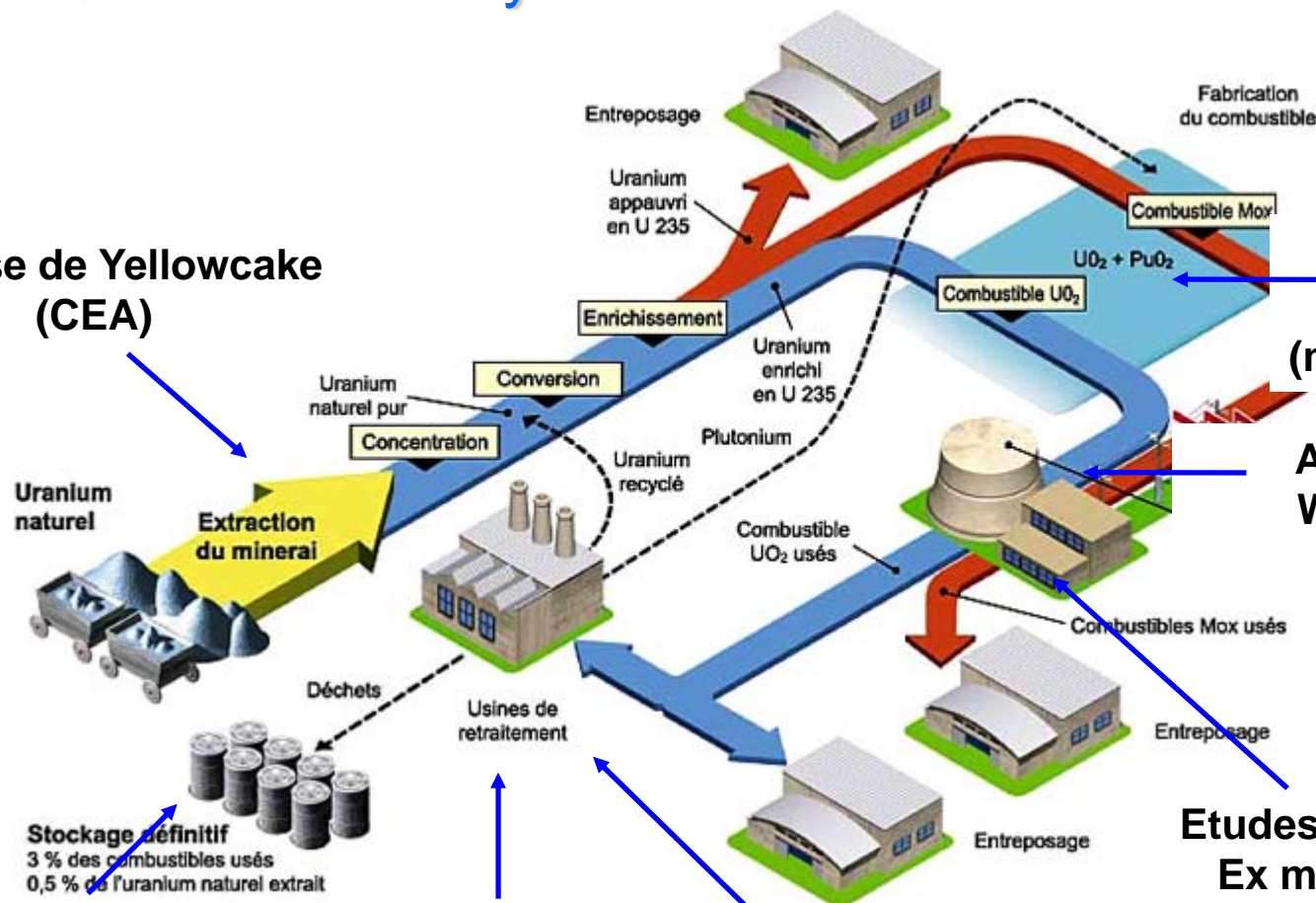


**Intérêt très fort pour la LIBS, technique d'analyse in-situ, en temps réel**



# Etudes LIBS et cycle du combustible des réacteurs REP

Analyse de Yellowcake (CEA)



Caractérisations pastilles MOX (microsonde LIBS CEA)

Analyses en réacteur Whitehouse (Applied photonics)

Etudes matériaux en laboratoire Ex matériaux irradiés (CEA)

Analyse solutions de traitement du combustible (CEA)

Aide au pilotage vitrification (IVEA-CEA)

Etude migration des éléments (microsonde LIBS CEA)



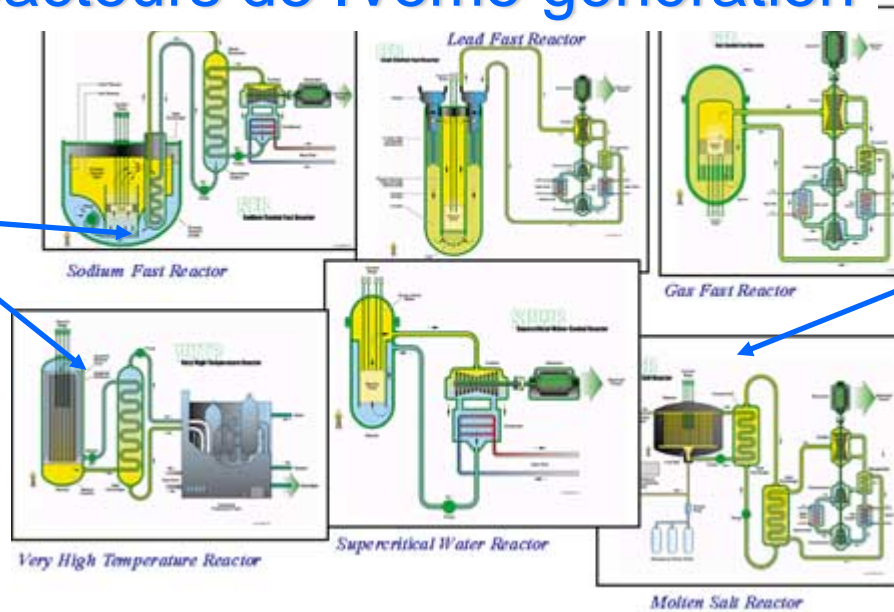
# Démantèlement d'installation nucléaire

- Analyse de contamination
- Analyse de cuves (voir présentation IVEA)



# Etudes des réacteurs de IVeme génération

- Besoins en instrumentation innovante



- Etude de procédé

# Etudes sur « réacteurs » de fusion - instrumentation JET

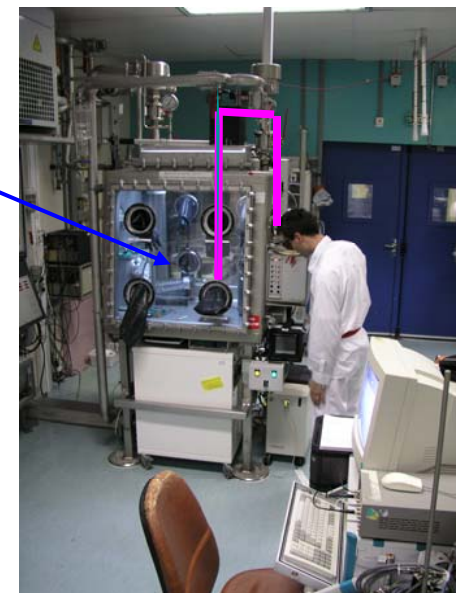
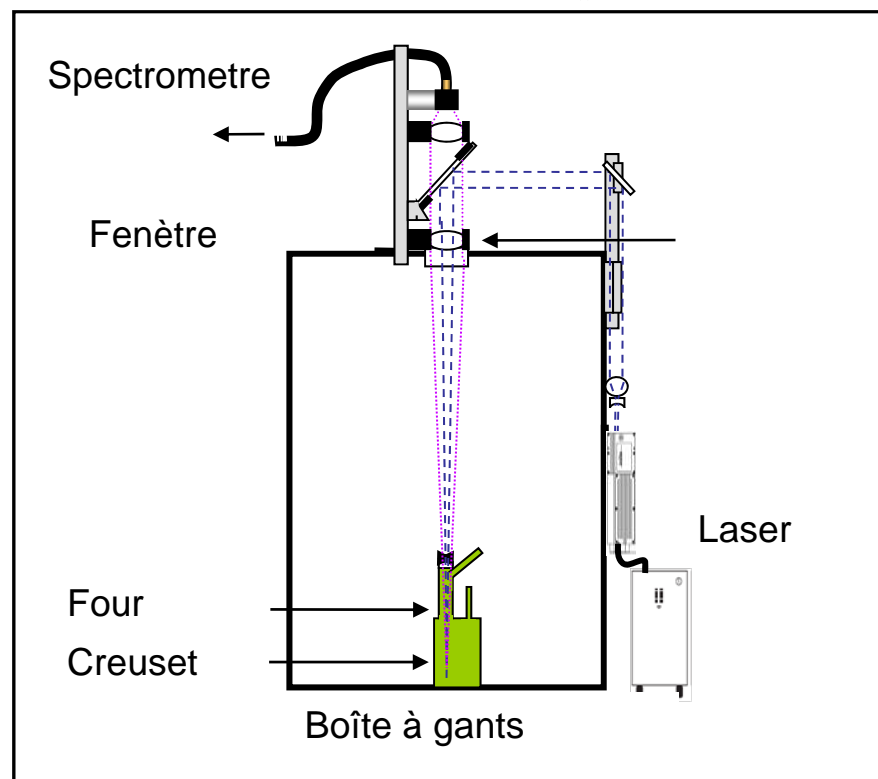


## Principaux concepts d'instrument

- Mesures directes (focalisation et collectes à distance)
- Systèmes fibrés (tête optique, mesure au contact)
- Microsonde LIBS



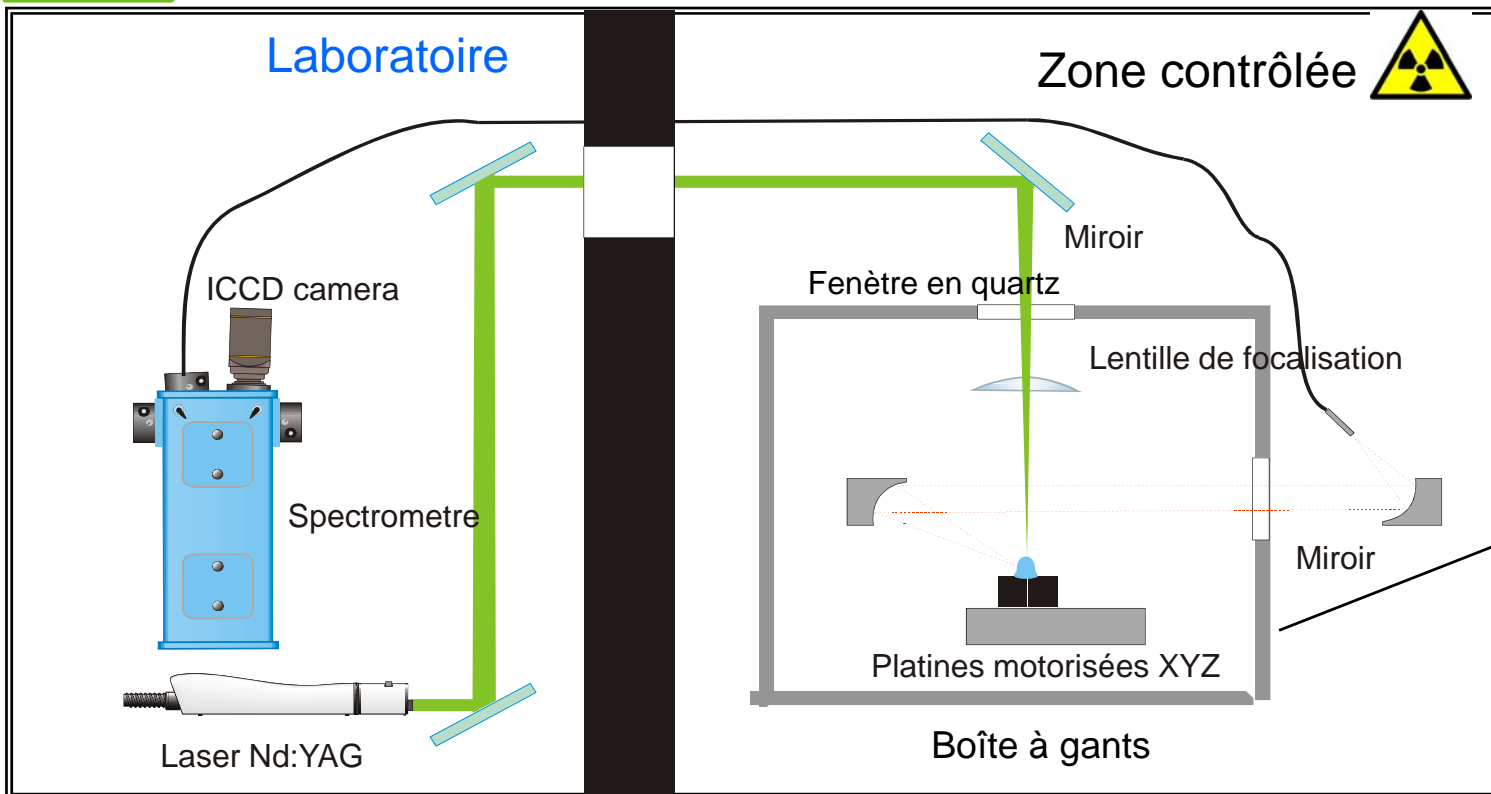
## Etude des procédés pyrochimiques : installation d'un dispositif LIBS dans Atalante (CEA Marcoule)



Analyse in-situ du sel fondu → gain de temps considérable / méthode classique nécessitant le prélèvement, le transport d'échantillon radioactif → laboratoire ad-hoc → dissolution puis analyse ICP-AES.



# Analyse d'échantillons irradiés (CEA Saclay)



**Avantages de la LIBS** : Dose reçue par l'opérateur limitée - Analyse directe sur solides

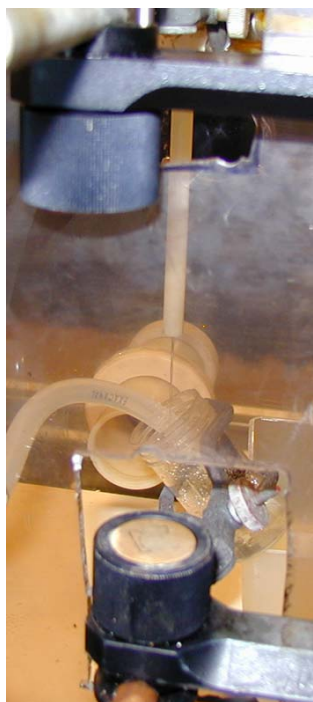




## Analyse de solutions de retraitement

L'analyse est réalisée en focalisant le laser sur un jet de liquide gainé par un gaz (brevet CEA-Areva)

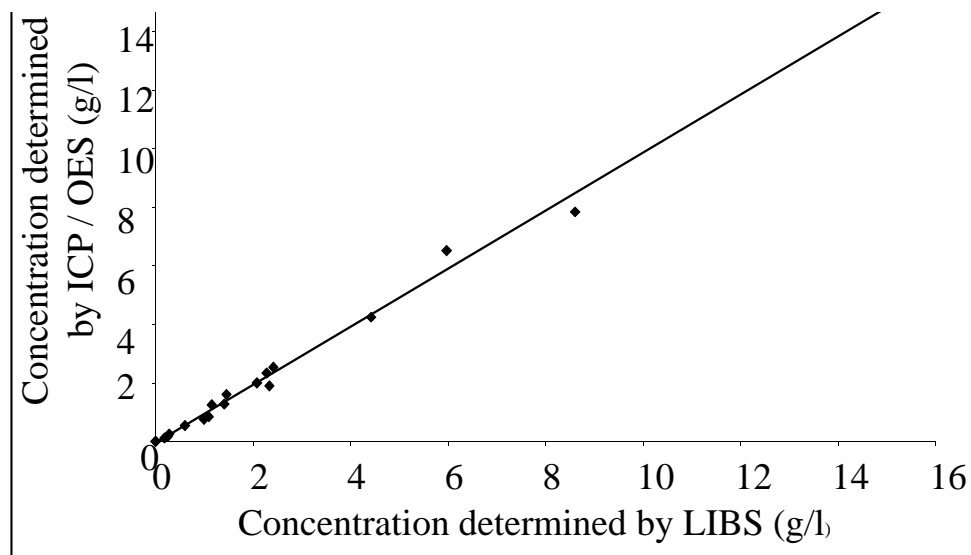
### Limites de détection



Elements	LOD (mg/L)
Ag	4
Al	0.7
Ba	0.3
Cd	0.9
Ce	18
Cr	0.7
Fe	4
Na	0.6
Nd	10
Ni	1
Pd	1
Pr	3
Sn	4
Sr	0.4
Mo	2
Zr	3
P	40
Sb	11

LDD ~ quelques ppm

### Comparaison des résultats d'analyse d'une solution multiélémentaire par LIBS et ICP-AES



Très bonne corrélation avec l'ICP-AES



# Expérimentations sur Tokamaks (JET)

Emplacement  
expérience LIBS

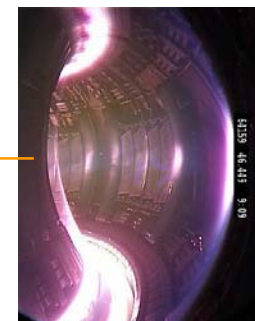
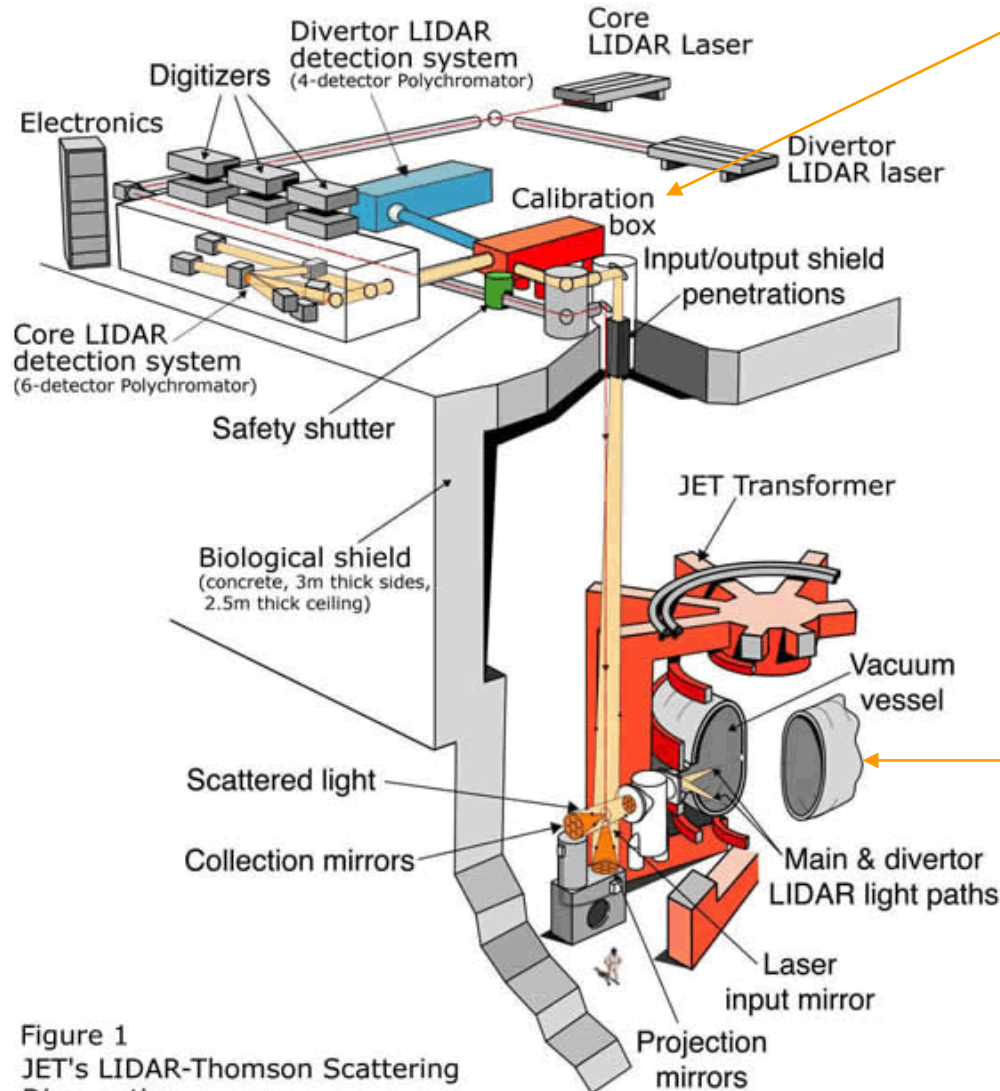
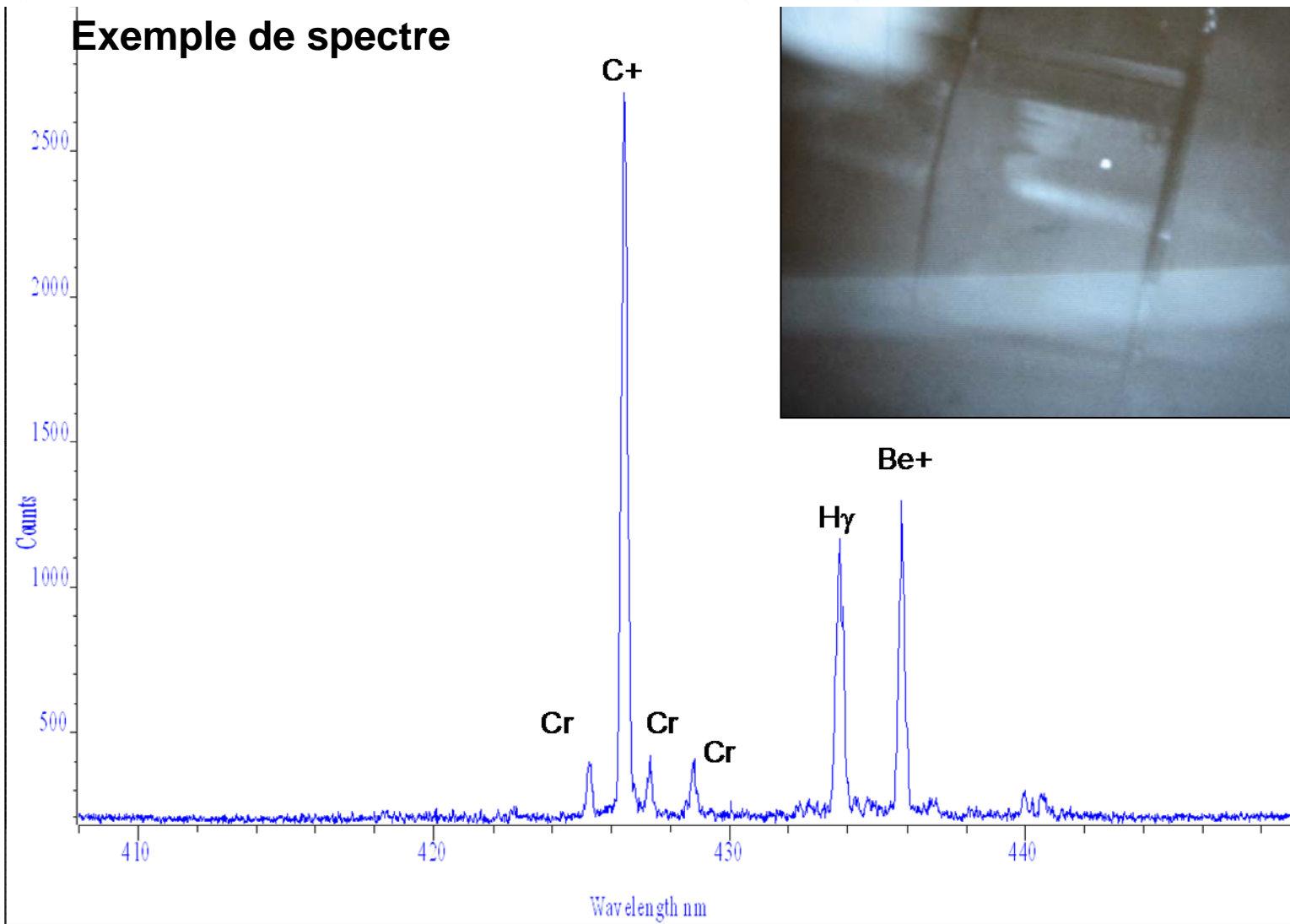


Figure 1  
JET's LIDAR-Thomson Scattering  
Diagnostic



# Expérimentations sur Tokamaks (JET)

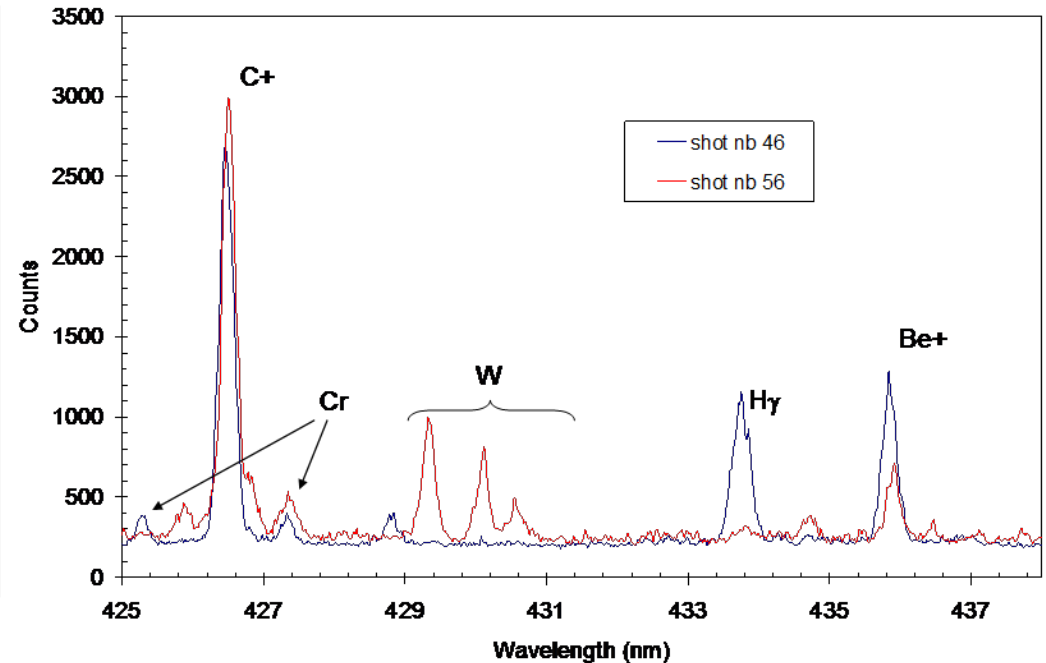
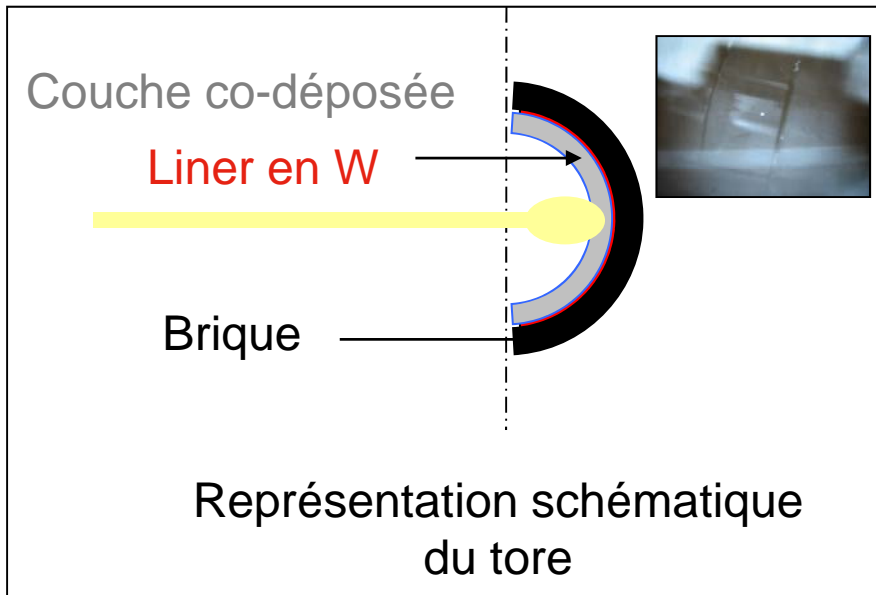
Exemple de spectre





# Expérimentations sur Tokamaks (JET)

Evolution des spectres LIBS avec le nombre de tirs (creusement dans la tuile)

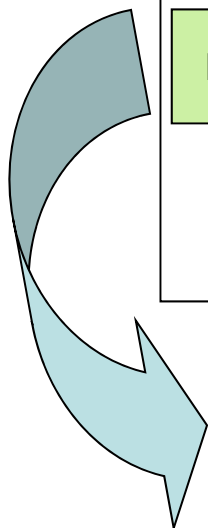
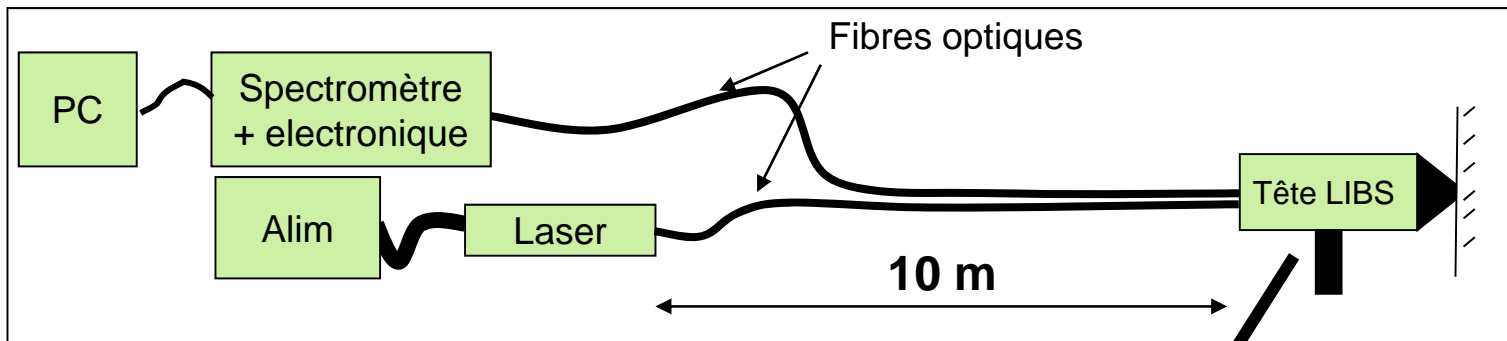


Mise en évidence de la diminution de la raie d'H (couche co-déposée), apparition des raies du W (liner)



# Analyses réalisées lors du démantèlement des installations nucléaires

Développement d'un dispositif fibré (collaboration CEA-IVEA)



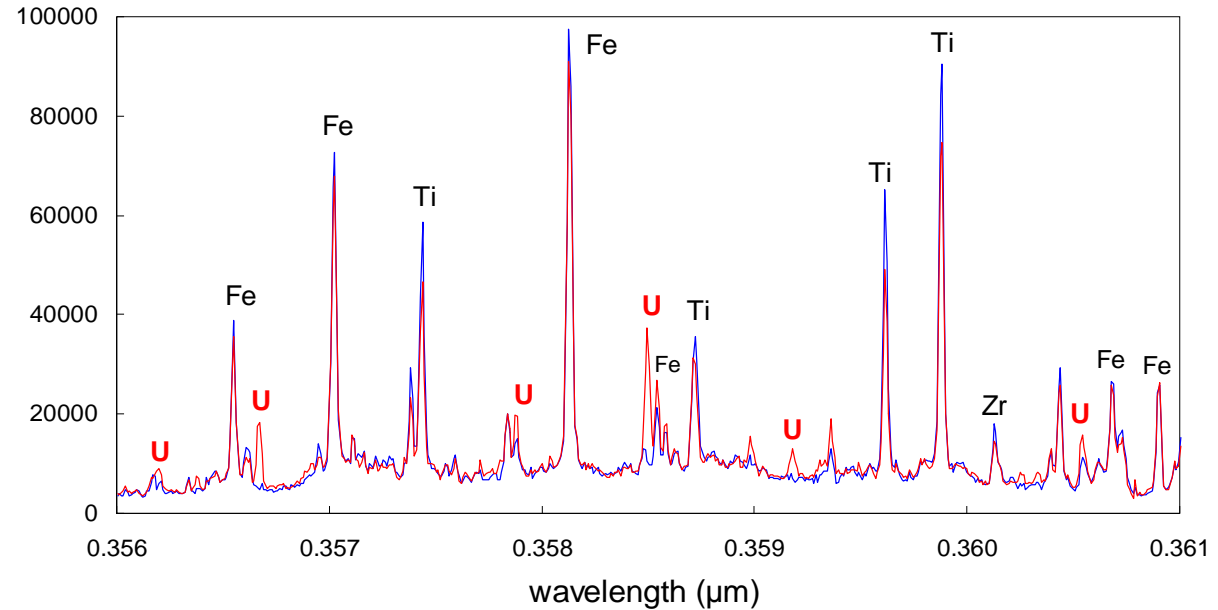
Tête très robuste, peu onéreuse, peut être éventuellement sacrifiée



# Analyses réalisées lors du démantèlement des installations nucléaires



Analyse par LIBS de contamination d'uranium – installation ATUE CEA-CAD



400 tirs laser intégrés à 15 Hz (~ 30 s)

Éléments détectés : Ti ( charge de la peinture), U, Na, K, Mg, Ca, Sr, Ba, Zr, Cr, Fe, Al, Si, Cu, Pb, Li, Mn



# Analyses réalisées lors du démantèlement des installations nucléaires

## Comparaison résultats LIBS / sonde COMO



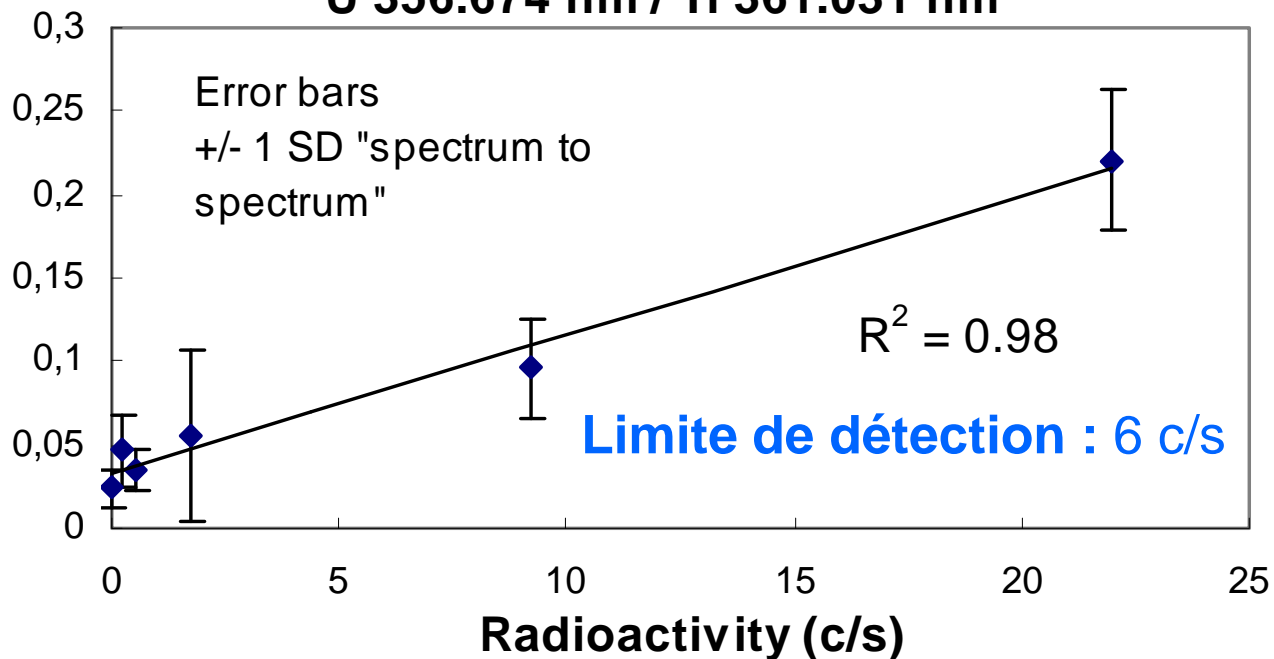
Mesures LIBS



Mesure avec un appareil de comptage classique (sonde COMO)

400 tirs laser (surface analysée 0.13 cm<sup>2</sup>) sur une surface de ~10\*10 cm<sup>2</sup>

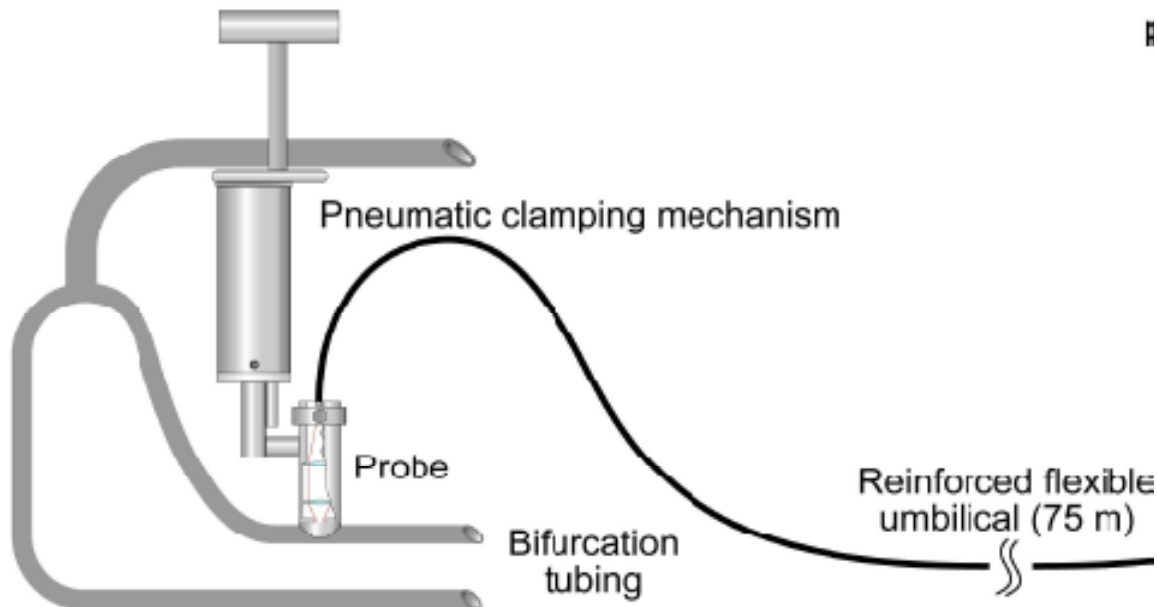
**U 356.674 nm / Ti 361.031 nm**



**Capacité de détection similaire à celle de la sonde COMO, malgré une surface sondée 1000 fois plus petite.**



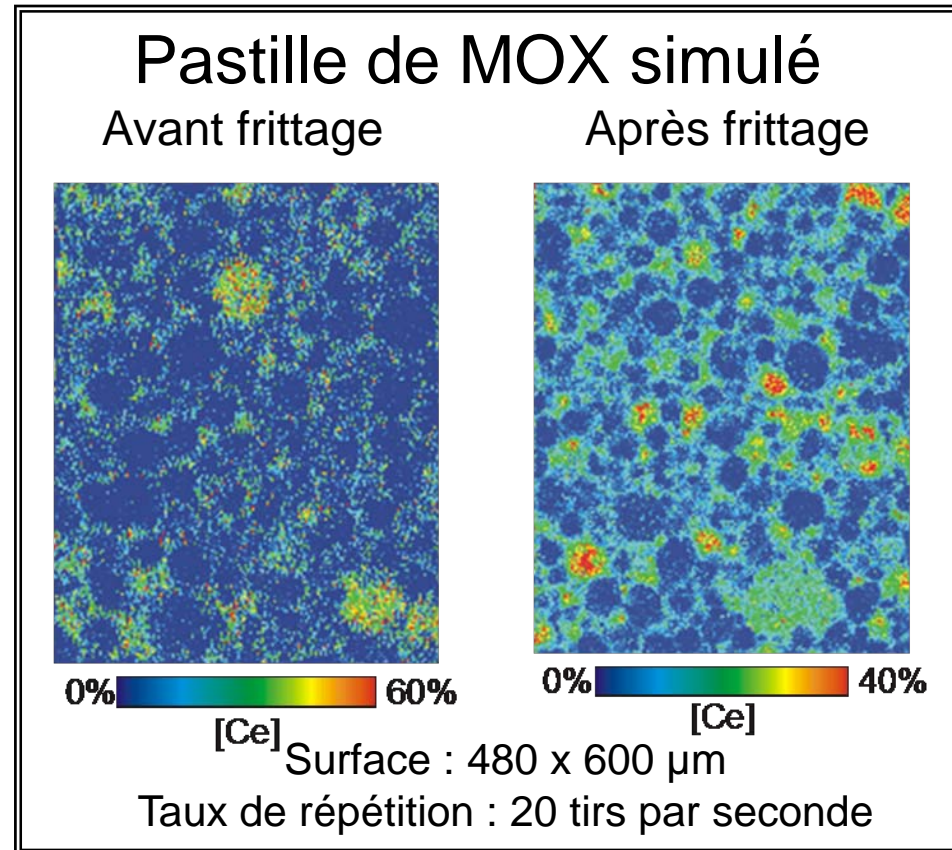
# Identification de coudes de surchauffeur susceptibles de défaillance (identification de l'alliages utilisé) – applied photonics





# Cartographies multi-élémentaires de matériaux nucléaires

Un instrument de microanalyse, qui possède d'excellentes performances , facilement nucléarisable.



[3] V.Detalle, Phd thesis, 1999

Étude en cours pour implantation en cellule blindée



**Merci de votre attention**