

# Projet ASTRAW –

## Arc stabilisé dans l'argon pour la mesure des probabilités de transition de W I et W II

**Arnaud BULTEL, Pascal BOUBERT** UMR CNRS 6614 **CORIA**

**Djamel BENREDJEM** UMR CNRS 9188 **LAC**

**W.-Ü Lydia TCHANG-BRILLET** UMR CNRS 8112 **LERMA**

**Jean-François WYART** UMR CNRS 9188 **LAC**

**Philippe TEULET** UMR CNRS 5213 **LAPLACE**

**Ioan SCHNEIDER** UMR CNRS 6294 **LOMC**

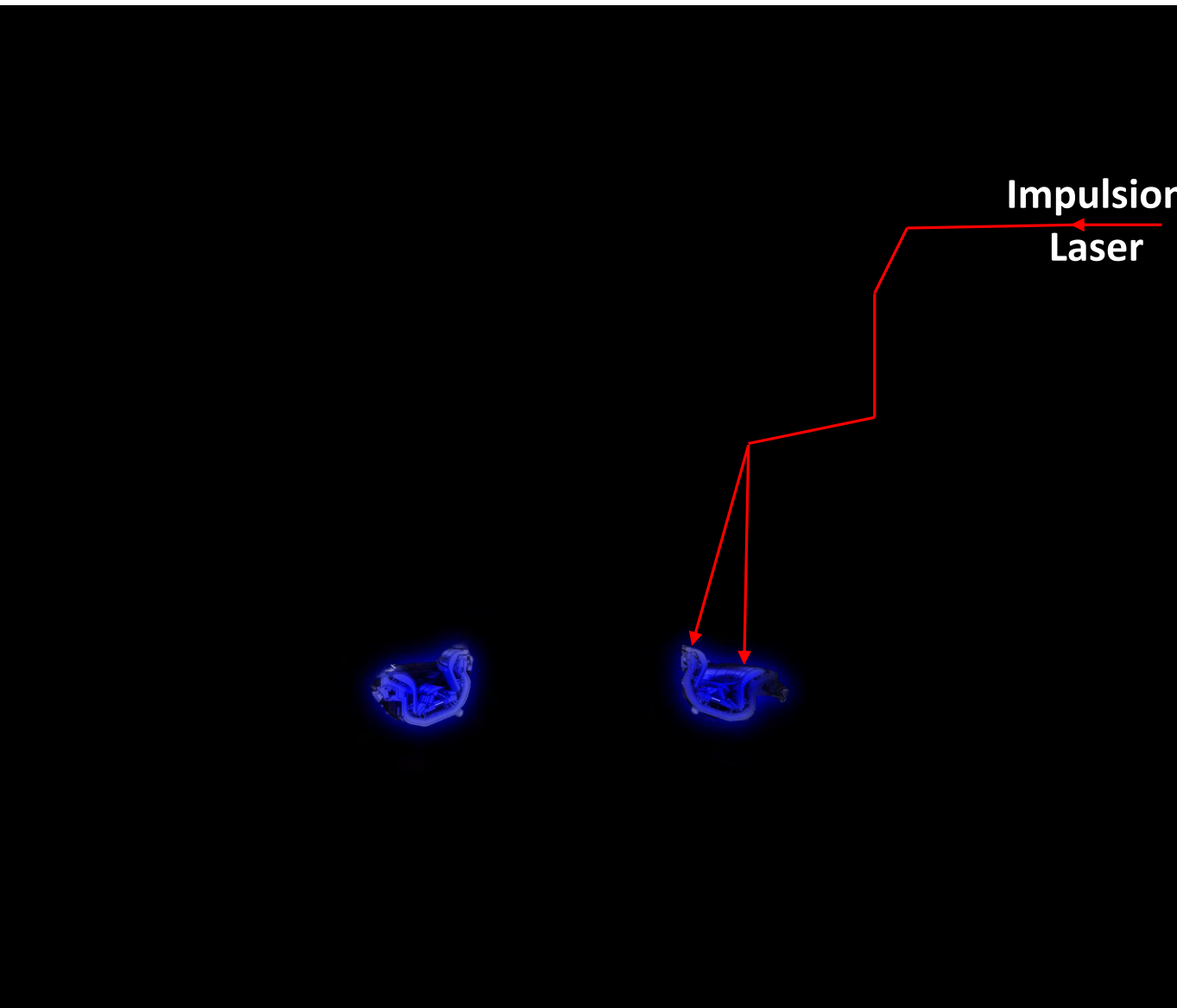


## Sommaire

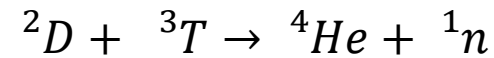
1. Contexte – Problématique
2. Expérience ASTRAW
3. Etat d'avancement
4. Perspectives

## Sommaire

1. Contexte – Problématique
2. Expérience ASTRAW
3. Etat d'avancement
4. Perspectives



**Réaction de fusion**



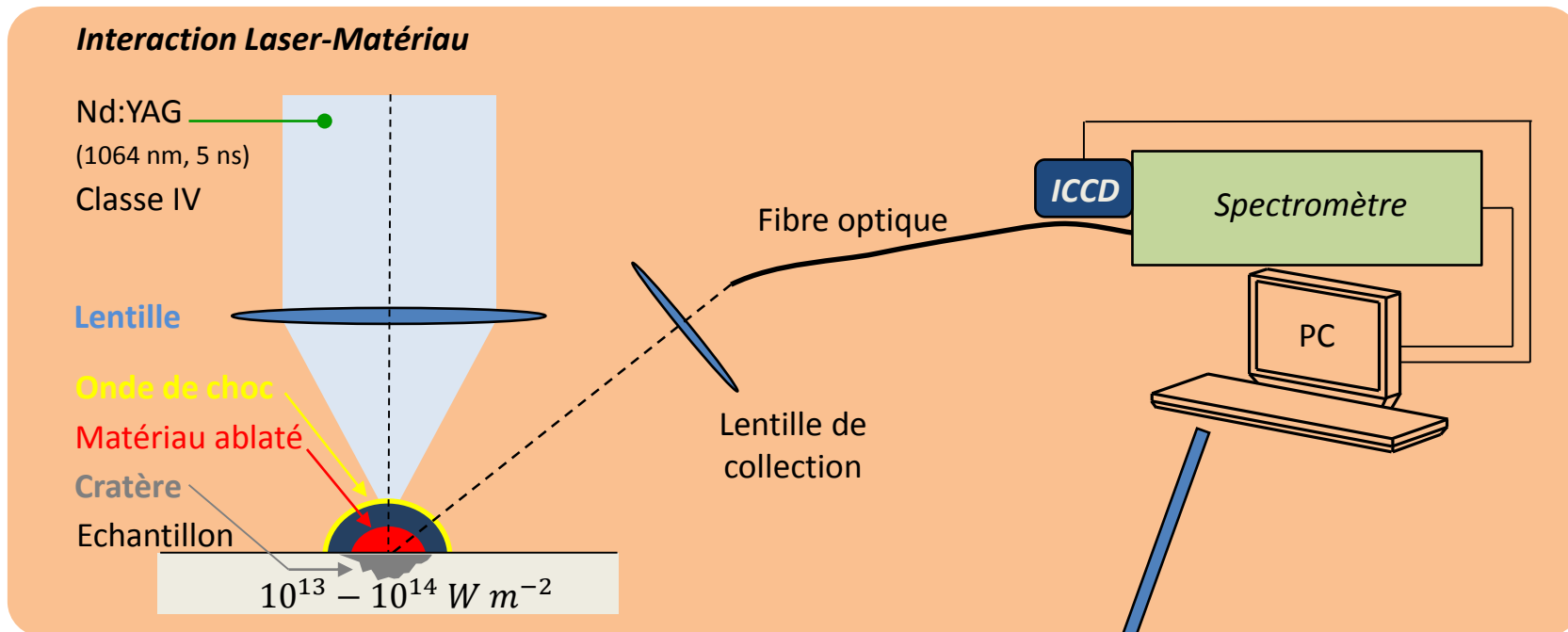
${}^3T$  radioactif

${}^3T$  surveillé

**Implantation** de  ${}^3T$  ainsi que  ${}^2D$  et  ${}^{14}N, {}^{16}O$  ... (impuretés) dans le divertor en **W**

Mesure *in situ* par plasma induit par laser  
**LIBS**

## Analyse de composition par Laser-Induced Breakdown Spectroscopy – LIBS



Fusion

Evaporation – explosion de phase

Ionisation (MPI & IB)

Plasma (100 bar, 10000 K)

Onde de choc

### Analyse spectroscopique

- $0 < t < 100 \text{ ns}$  intense fond continu
- $t < 500 \text{ ns}$  fort déséquilibre
- $t > 500 \text{ ns}$  déséquilibre modéré (ray. atom. et moléc.)

⇒ Exploitation diagrammes de **Saha-Boltzmann**

# CORIA LIBS platform

**Czerny-Turner Spectrometer**  
Focal length  $f = 0.32$  m  
Aperture  $f / 4.6$   
Spectral resolution  $\approx 0.08$  nm at 700 nm

**Pi-MAX 4 ICCD Camera**  
110 nm – 400 nm or 400 nm – 800 nm  
Minimum gate 1 ns

**Pi-MAX 2 ICCD Camera**  
400 nm – 800 nm  
Minimum gate 1 ns

**Ebert-Fastie Spectrometer**  
Focal length  $f = 2$  m  
Aperture  $f / 15$   
Spectral resolution  $\approx 0.05$  nm at 700 nm

**Pumping system**  
Primary + turbomolecular pumps  
Pumping speed  $5$  m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>

For 10 mJ at 532 nm :

- $f = 50$  cm Fluence  $F \approx 10$  J cm<sup>-2</sup> (center)  
Irradiance  $\phi \approx 10^{12}$  W cm<sup>-2</sup> (center)  
Waist diameter  $\approx 250$   $\mu$ m
- $f = 5$  cm Fluence  $F \approx 1000$  J cm<sup>-2</sup> (center)  
Irradiance  $\phi \approx 10^{14}$  W cm<sup>-2</sup> (center)  
Waist diameter  $\approx 25$   $\mu$ m

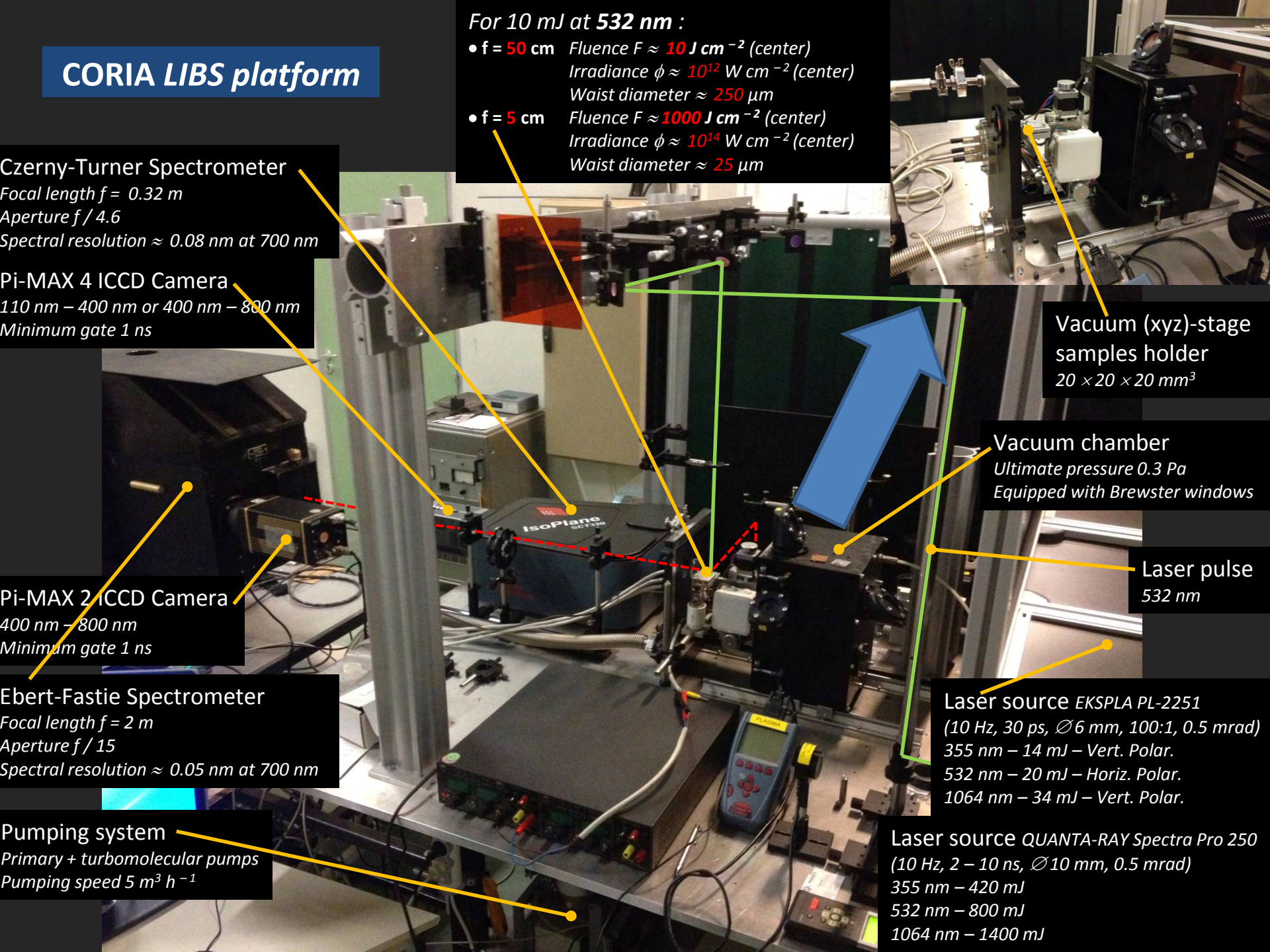
**Vacuum (xyz)-stage samples holder**  
 $20 \times 20 \times 20$  mm<sup>3</sup>

**Vacuum chamber**  
Ultimate pressure 0.3 Pa  
Equipped with Brewster windows

**Laser pulse**  
532 nm

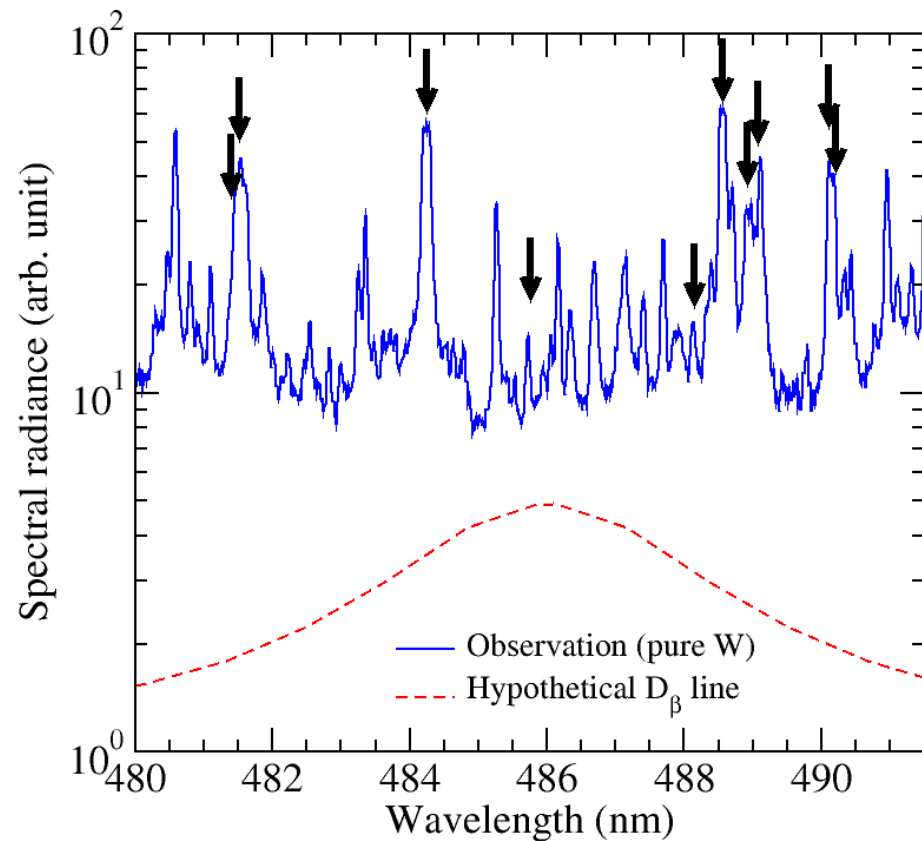
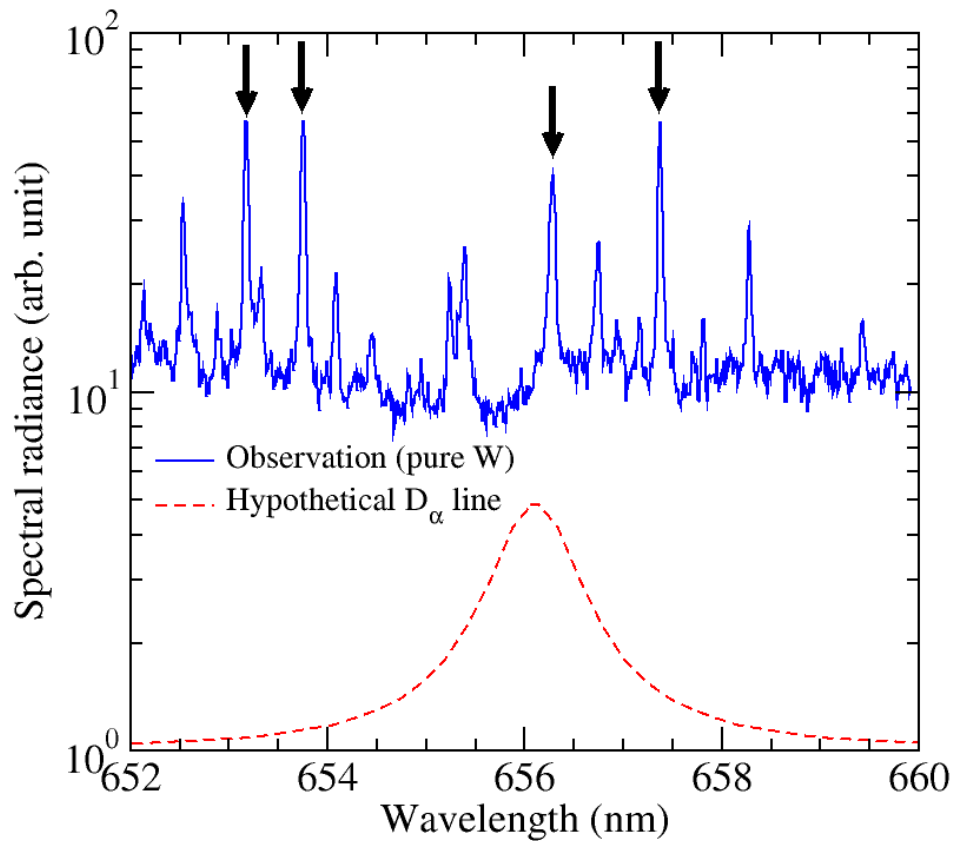
**Laser source EKSPLA PL-2251**  
(10 Hz, 30 ps,  $\varnothing 6$  mm, 100:1, 0.5 mrad)  
355 nm – 14 mJ – Vert. Polar.  
532 nm – 20 mJ – Horiz. Polar.  
1064 nm – 34 mJ – Vert. Polar.

**Laser source QUANTA-RAY Spectra Pro 250**  
(10 Hz, 2 – 10 ns,  $\varnothing 10$  mm, 0.5 mrad)  
355 nm – 420 mJ  
532 nm – 800 mJ  
1064 nm – 1400 mJ





**Difficulté mesure de D dans W** (50 cm, air,  $10^5$  Pa, 532 nm, 30 ps, 10 mJ)



**Stark line broadening ( $10^{23} \text{ m}^{-3}$ ,  $10^4 \text{ K}$ , heavy collider)**

M.A. Gigosos and V. Cardenoso

J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. **29** (1996) 4795

**W I** transitions reported in the NIST database with  $A_{ki}$  : 7 %

**W II** transitions reported in the NIST database with  $A_{ki}$  : 7 %

**W III** transitions reported in the NIST database with  $A_{ki}$  : 1 %

## Sommaire

1. Contexte – Problématique
2. **Expérience ASTRAW**
3. Etat d'avancement
4. Perspectives

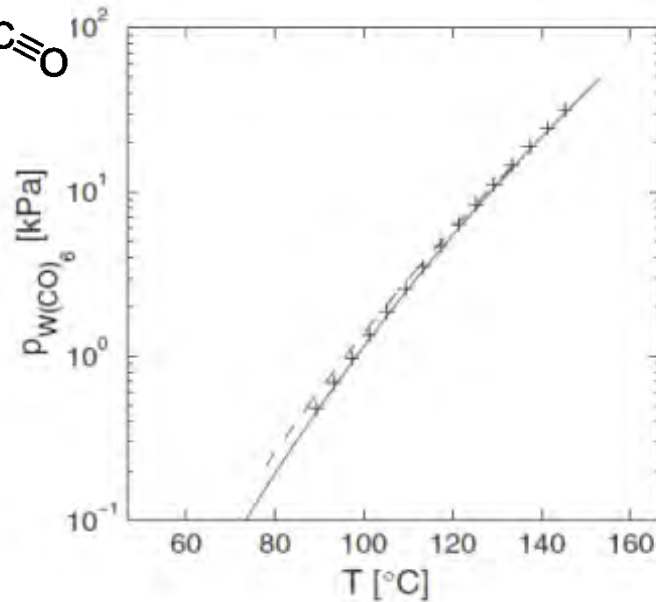
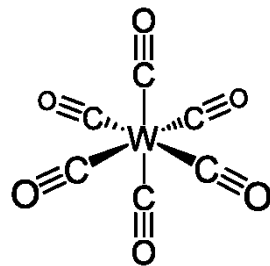


## Arc STabilisé pour la mesure du RAYonnement de W - ASTRAW

W(CO)<sub>6</sub>



Allure des cristaux de W(CO)<sub>6</sub>



Pression de vapeur saturante en fonction de la température  
 M. Kocan *et al.* Rev. Sci. Instrum. **84** (2013) 073501

## Emission plasma à l'équilibre (opt. mince)

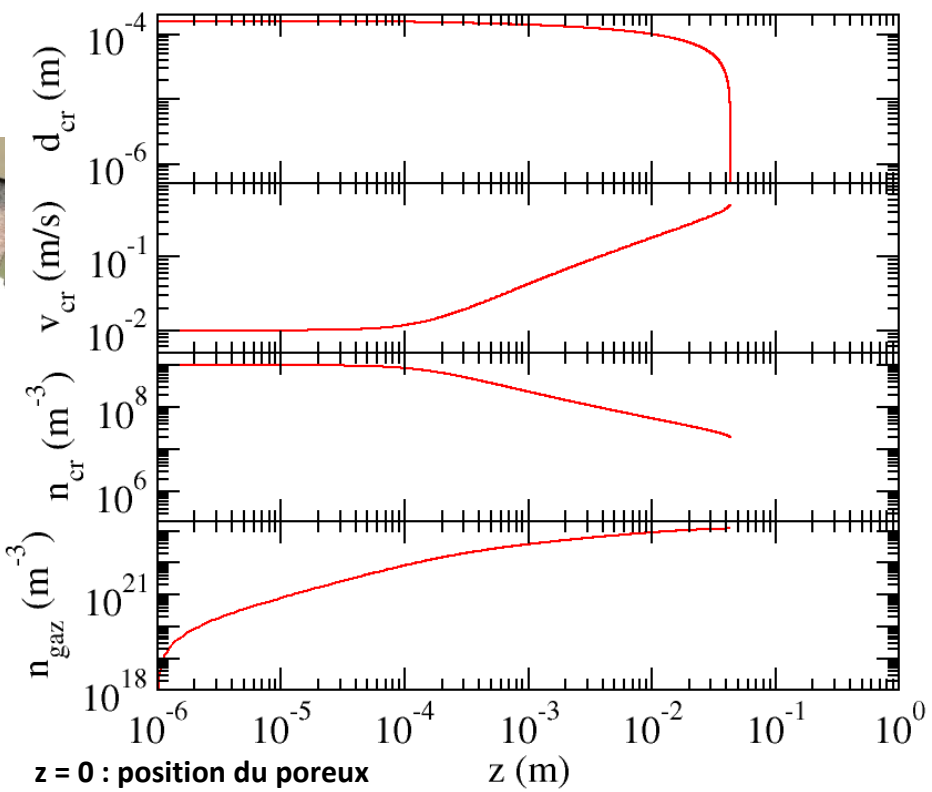
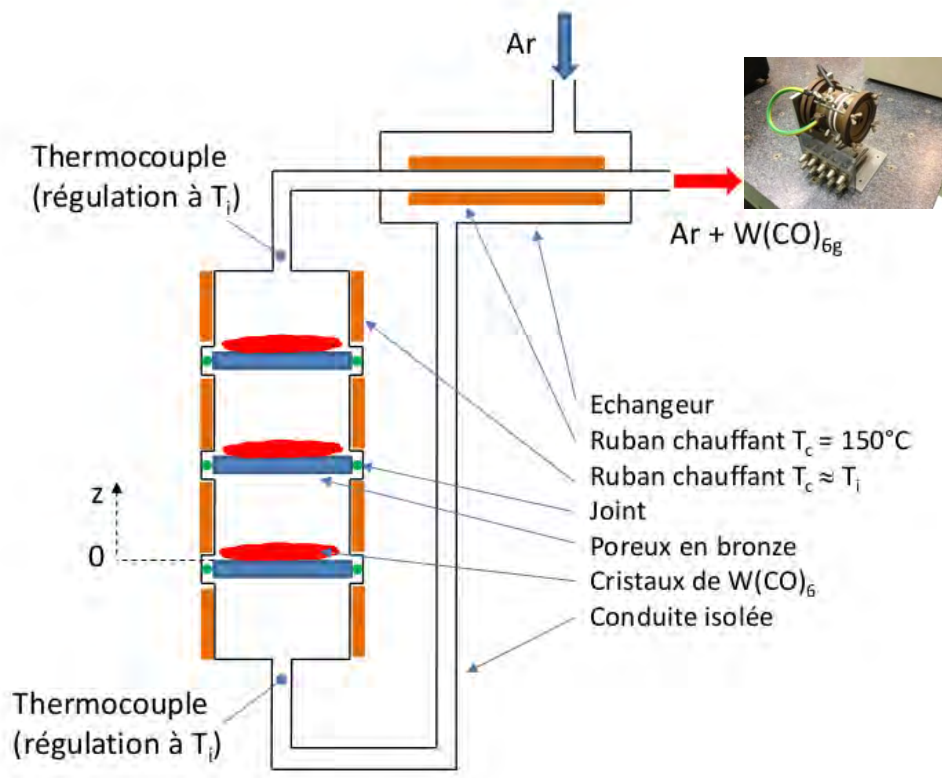
$$\varepsilon_{ki}(p, T, x) = \frac{hc}{4\pi \lambda_{ki}} A_{ki} [W_k(p, T, x)]$$



$$A_{ki} = \frac{4\pi \lambda_{ki}}{hc} \frac{\varepsilon_{ki}(p, T, x)}{[W_k(p, T, x)]}$$

# Arc STabilisé pour la mesure du RAYonnement de W - ASTRAW

## Injection...

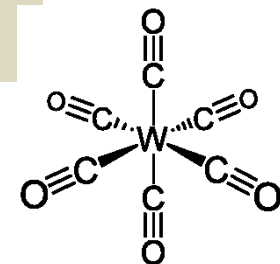


<b>Débit Argon</b>	$q_{v,Ar} = 10 \text{ slm min}^{-1}$
<b>Pression</b>	$p = p_{atm}$
<b>Diamètre chambre</b>	$d = 2 \text{ cm}$
<b>Température</b>	$T_i = 140^\circ\text{C}$
<b>Consommation</b>	$q_{m,W(CO)_6} = 10 \text{ g min}^{-1}$

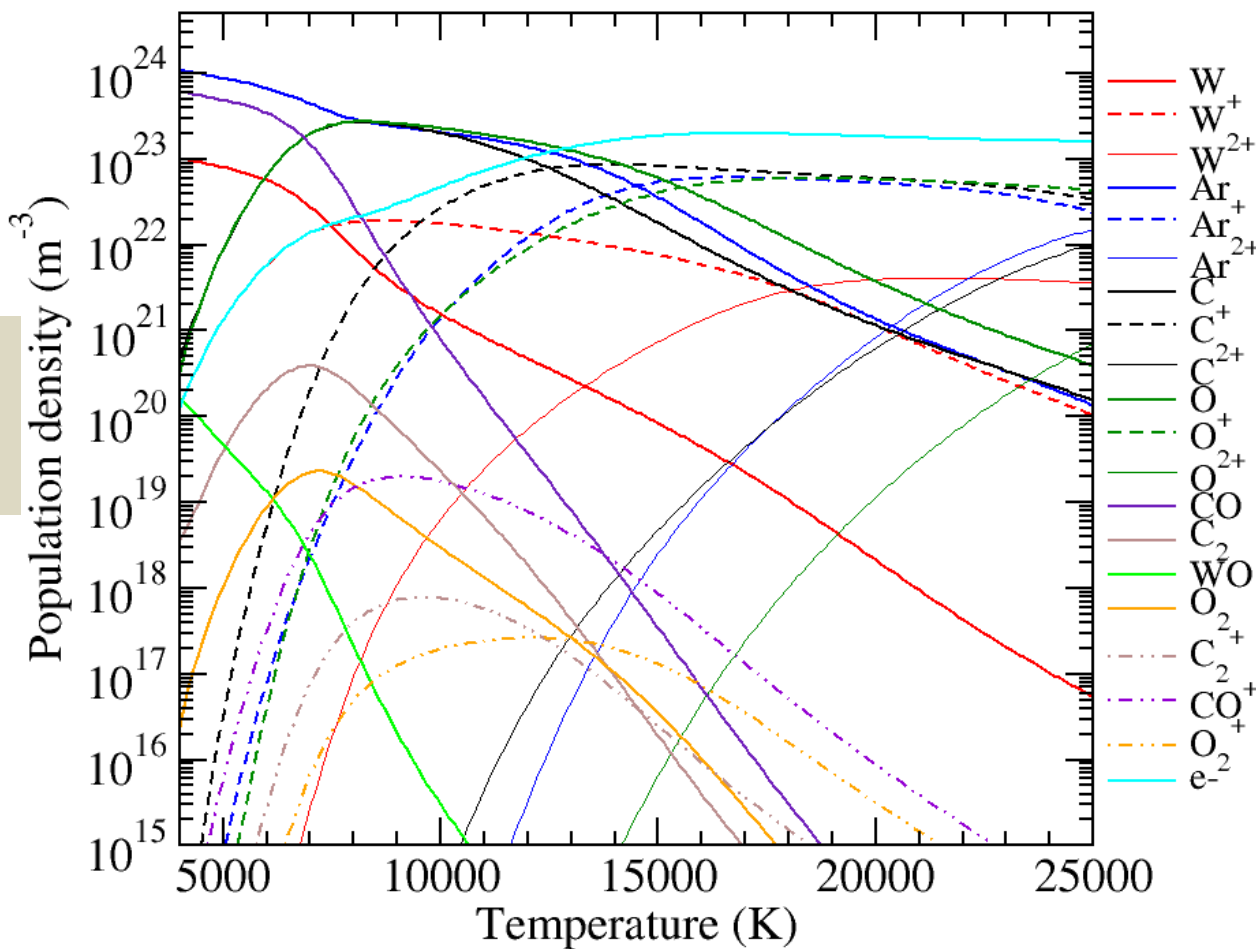
# Arc STabilisé pour la mesure du RAYonnement de W - ASTRAW

## 3 étapes

1. Calculs de composition à l'équilibre...



Ar + W(CO)<sub>6</sub>

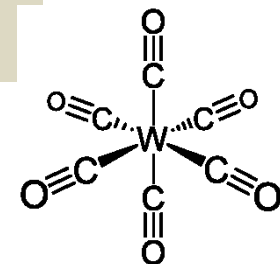


$p = p_{atm}$   
 $T_i = 140^\circ C$   
 $p_{W(CO)_6} = 40 \text{ kPa}$   
 $p_{Ar} = 61 \text{ kPa}$

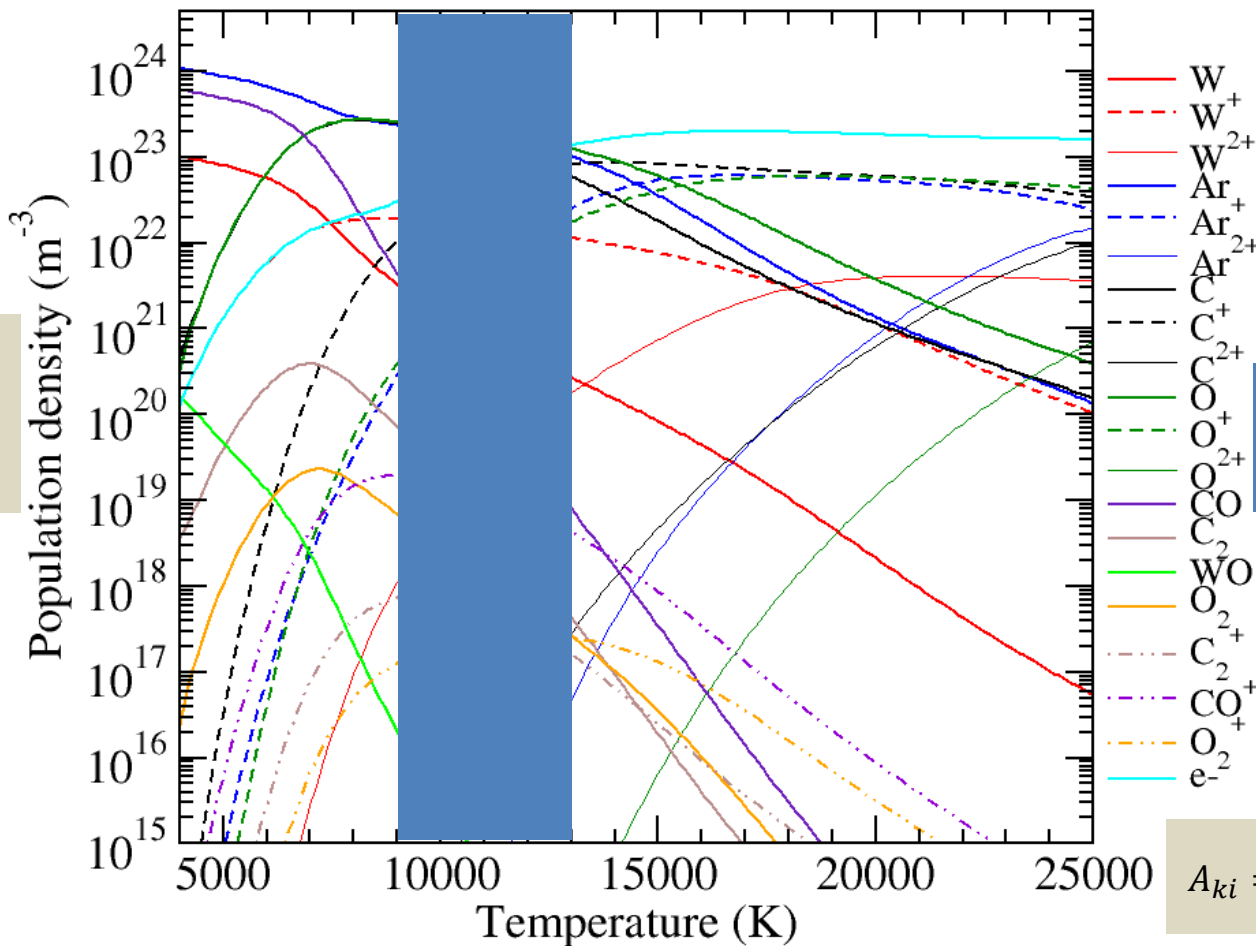
# Arc STabilisé pour la mesure du RAYonnement de W - ASTRAW

## 3 étapes

1. Calculs de composition à l'équilibre...



Ar + W(CO)<sub>6</sub>



$p = p_{atm}$   
 $T_i = 140^\circ C$   
 $p_{W(CO)_6} = 40 \text{ kPa}$   
 $p_{Ar} = 61 \text{ kPa}$

Domaine  $T_{arc}$   
 W et W<sup>+</sup> observables  
 [W<sub>k</sub>] et [W<sub>k</sub><sup>+</sup>] connues

$$A_{ki} = \frac{4\pi \lambda_{ki}}{hc} \frac{\epsilon_{ki}(p, T, x)}{[W_k(p, T, x)]}$$

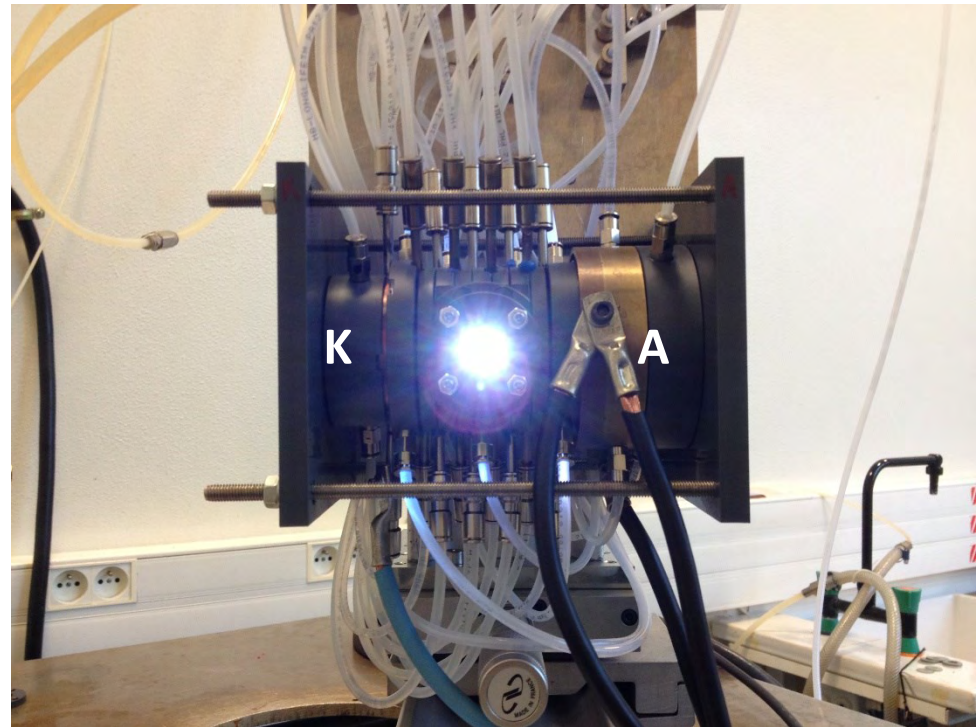
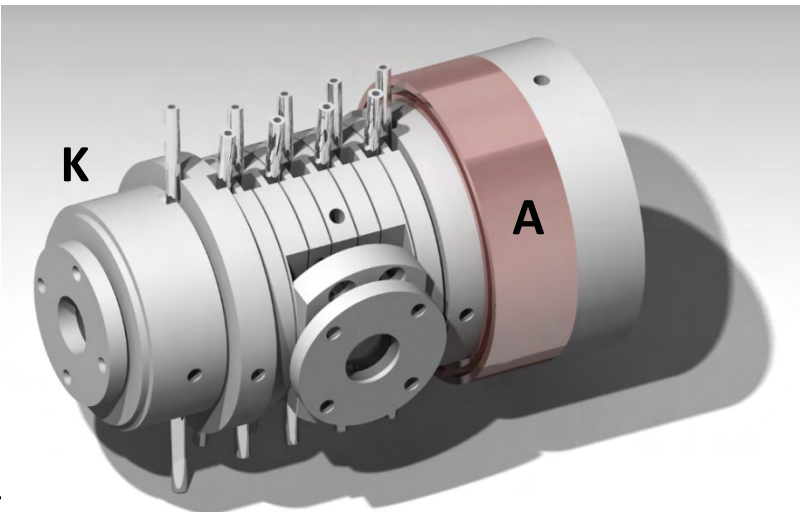
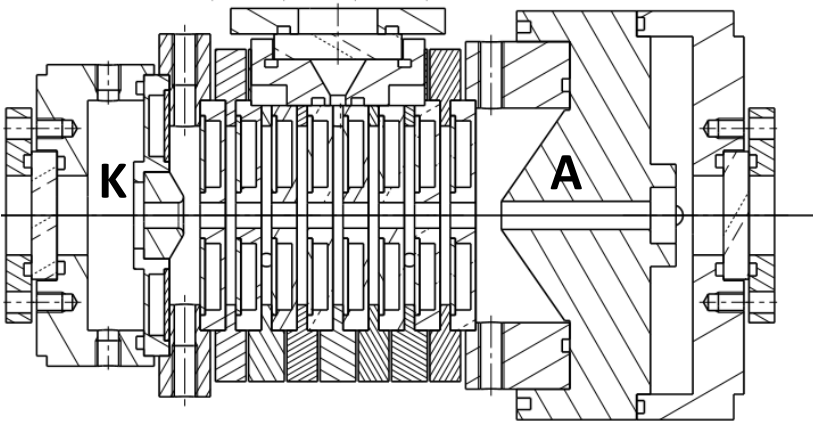
## Sommaire

1. Contexte – Problématique
2. Expérience ASTRAW
- 3. Etat d'avancement**
4. Perspectives

## Arc **ST**abilisé pour la mesure du **RA**yonnement de **W** - **ASTRAW**

### 3 étapes

1. Calculs de composition à l'équilibre
2. Analyse de l'équilibre thermodynamique de l'arc stabilisé **sans**  $W(CO)_6$  injecté...

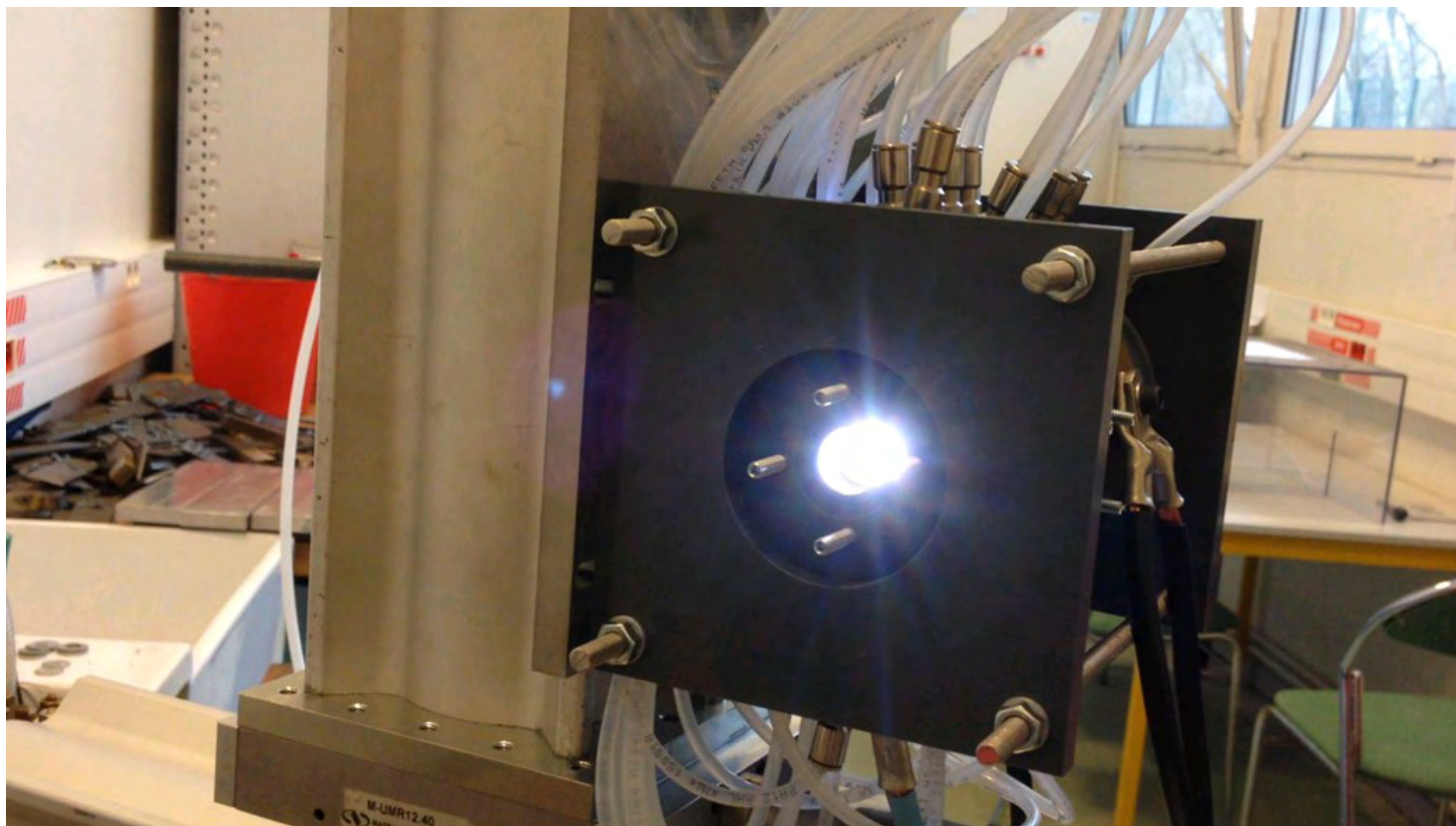




## Arc **ST**abilisé pour la mesure du **RA**yonnement de **W** - **ASTRAW**

### 3 étapes

1. Calculs de composition à l'équilibre
2. Analyse de l'équilibre thermodynamique de l'arc stabilisé **sans**  $W(CO)_6$  injecté...

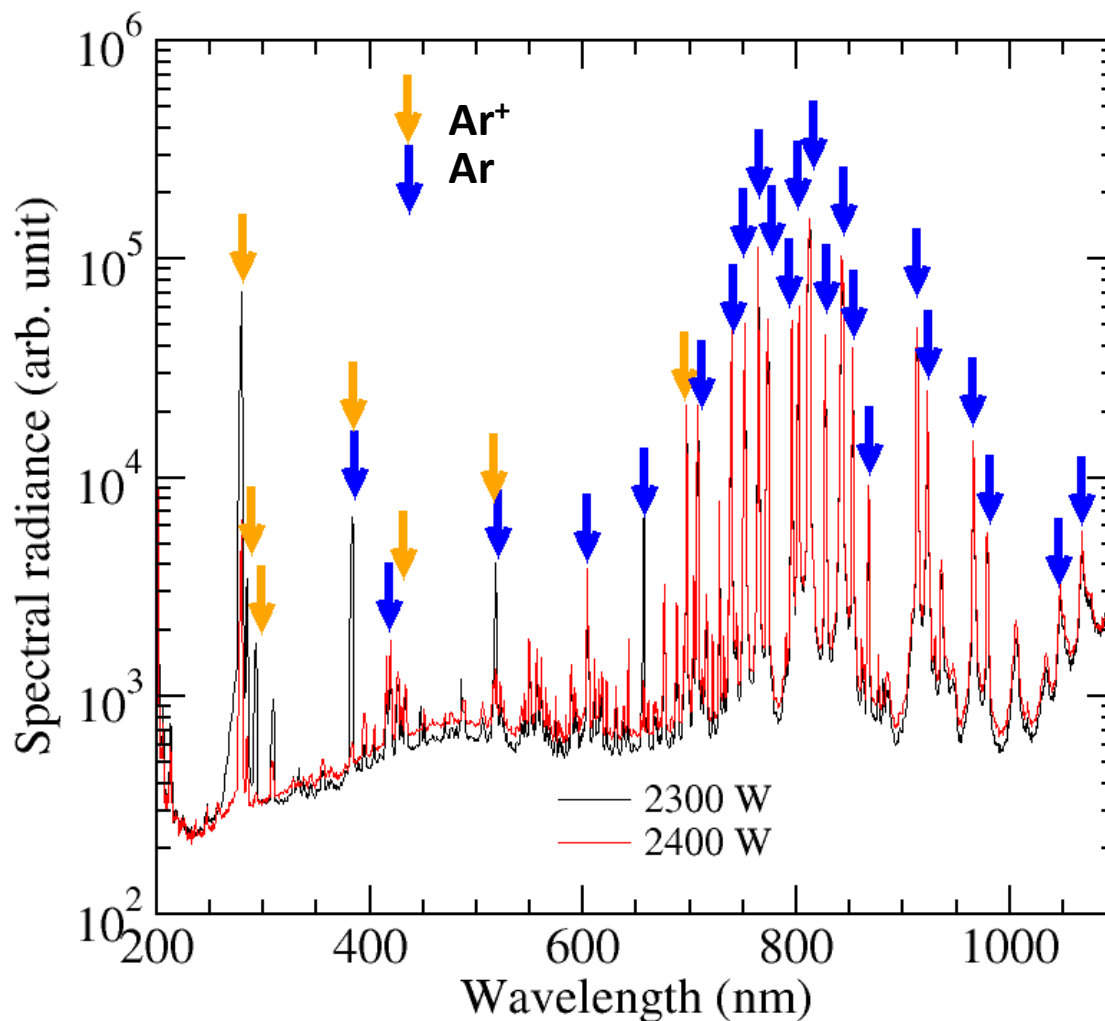




## Arc STabilisé pour la mesure du RAYonnement de W - ASTRAW

### 3 étapes

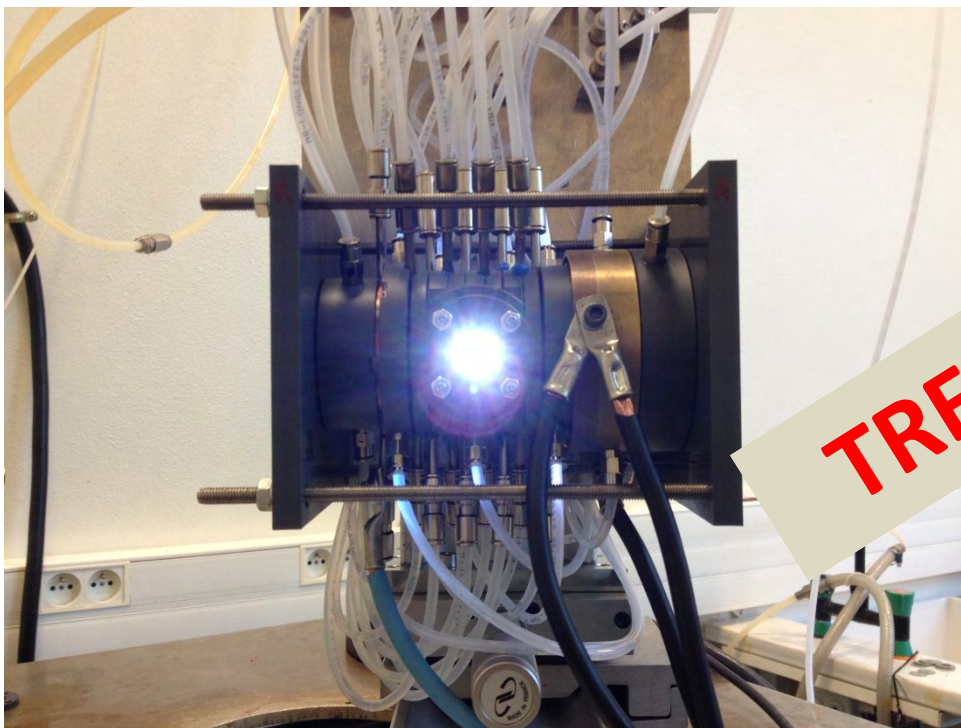
1. Calculs de composition à l'équilibre
2. Analyse de l'équilibre thermodynamique de l'arc stabilisé **sans**  $W(CO)_6$  injecté...



## Arc **ST**abilisé pour la mesure du **RA**yonnement de **W** - **ASTRAW**

### 3 étapes

1. Calculs de composition à l'équilibre
2. Analyse de l'équilibre thermodynamique de l'arc stabilisé sans  $W(CO)_6$  injecté
3. Analyse spectroscopique de l'émission de W avec  $W(CO)_6$  injecté...



**TRES BIENTÔT !!!**

## Arc STabilisé pour la mesure du RAYonnement de W - ASTRAW

### BILAN - PERSPECTIVES

1. Calculs de composition à l'équilibre opérationnels
2. Arc stabilisé presque opérationnel
3. Système d'injection en cours de fabrication
4. Analyse de l'équilibre thermodynamique de l'arc stabilisé sans  $W(CO)_6$  en cours
5. Exploitation code de calcul de spectres PASTIS
6. Analyse spectroscopique de l'émission de W avec  $W(CO)_6$  à venir...

### REMERCIEMENTS



## Réalisation de la mesure des $A_{ki}$ pour WI et WII

- Etape 1.** Réalisation de la chambre de sublimation et de sa jonction avec la source plasma  
*Travail conjoint bureau d'études CORIA – atelier de fabrication*
- Etape 2.** Fin des calculs de composition à l'équilibre  
*Travail théorique à partir des bases de données CORIA*
- Etape 3.** Etude des spectres émis par la source plasma  
*Détermination des coefficients d'Einstein de WI et WII*

### Moyens humains

<b>Arnaud BULTEL</b>	MdC HdR Université de Rouen (chef de projet)
<b>Xxx YYY</b>	Doctorant Région Normandie
<b>Benjamin QUEVREUX</b>	Ingénieur d'études CNRS (bureau d'études)
<b>Philippe TOUTAIN</b>	Assistant Ingénieur CNRS (réalisation chambre de sublimation et raccordement source plasma)
<b>Gilles GODARD</b>	Ingénieur de recherche (spectroscopie, caméras ICCD)

Etape	Durée
1. Réalisation de la chambre de sublimation	Septembre 2016 → Mars 2017
2. Calculs de composition à l'équilibre	Septembre 2016 → Mars 2017
3. Détermination des coefficients d'Einstein de WI et WII	Avril 2017 → Mars 2018

## Réalisation de la mesure des $A_{ki}$ pour WI et WII

Poste budgétaire	Coût
Rubans chauffants	400 €
Boîtier thermorégulation chambre sublimation	300 €
Plaques et tubes aluminium, raccords et joints haute température	1500 €
Poreux en bronze	200 €
Flacon de 250 g de $W(CO)_6$ chez Fisher Scientific	650 €
<b>Total</b>	<b>3050 €</b>

**Merci de votre attention... et de votre soutien !**