

# Etude d'un interrupteur moyenne tension Interaction arc / plastique

## Projet AAE

Jean Quémeneur, Mathieu Masquère, Flavien Valensi,  
Yann Cressault & Philippe Teulet

Jérôme Douchin et Laure Trémas



## Motivations :

Caractériser expérimentalement l'interaction arc/plastique lors d'une phase de coupure d'un arc électrique dans un interrupteur moyenne tension

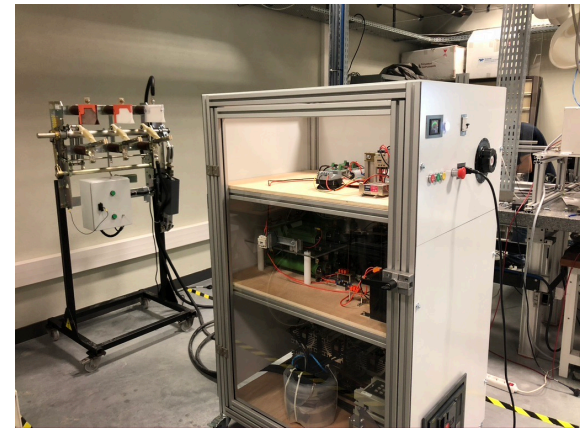
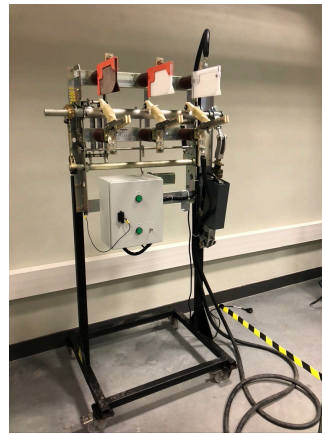
**1<sup>er</sup> objectif :** Caractérisation du dispositif de coupure

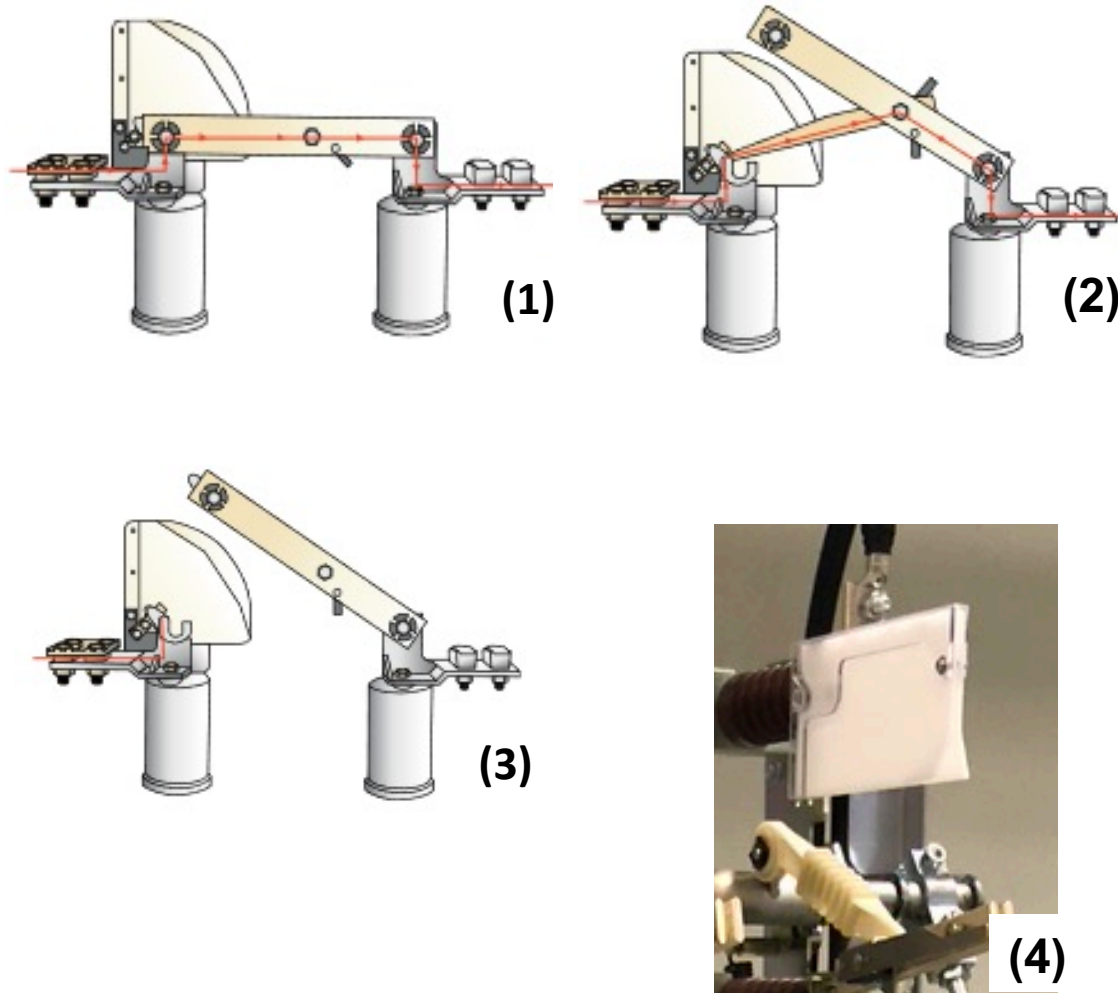
**2<sup>ème</sup> objectif :** Caractérisation du milieu air/vapeur et corrélation avec la performance en coupure/interruption du courant.

→ Sur quels paramètres pourrions nous jouer pour augmenter le nombre d'interruption sans maintenance.

## Dispositif mis en place :

- Mise à disposition d'un interrupteur à air L-Tri de chez Schneider Electric
- Mise en place d'une alimentation permettant de générer une demi alternance de courant de 2kA sous 1500V max.

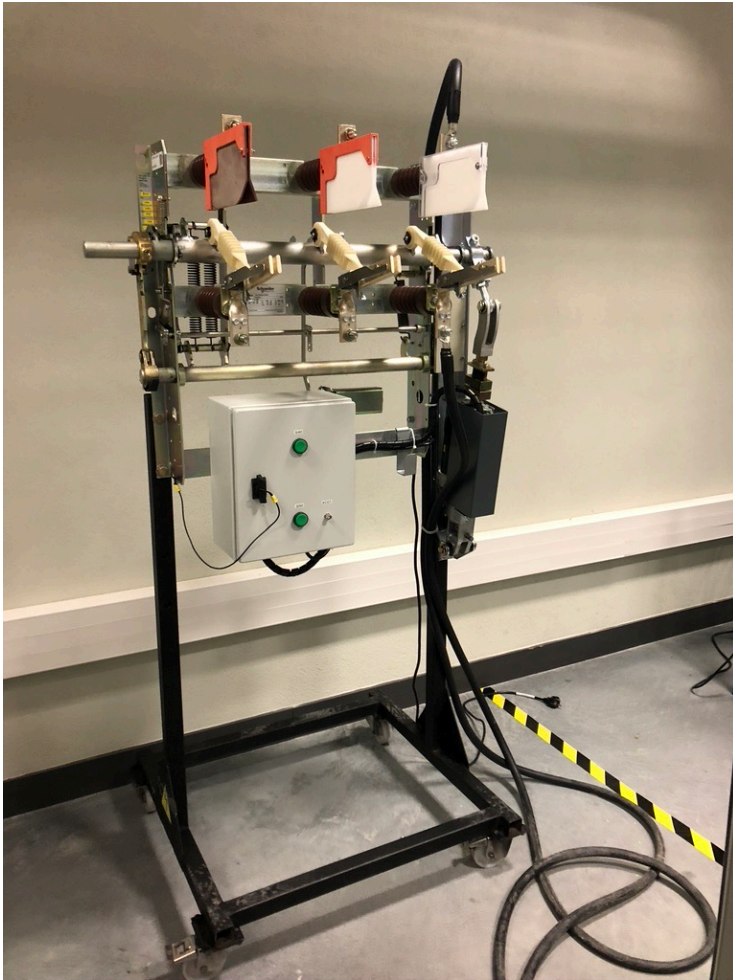




### Présentation de l'interrupteur

- (1) **circuit fermé** le courant passe dans le couteau principal;
- (2) **phase d'ouverture** le courant passe dans le couteau secondaire
- (3) **circuit ouvert** le système doit garantir l'isolation

## Programme d'essai



- **4 matériaux (plaques)**

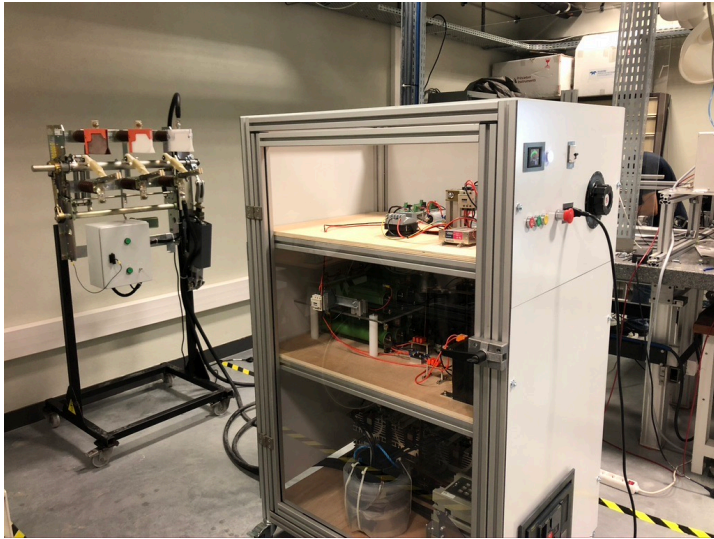
Matériaux
UROCHEM 171 (UF – Formaldeyde)
BASF Ultramid A3X1G5 (PA66 GF25FR)
POM homopolymère - Delrin
PTFE

- **Onde de courant (630A RMS)**
- **Etude sur 1 seule phase**
- **10 tirs consécutifs pour chaque matériaux**



# Plan d'expérience

30 juin 2021



## Matériaux

UROCHEM 171 (UF – Formaldéhyde)

BASF Ultramid A3X1G5  
(PA66 GF25FR)

POM homopolymère - Delrin

PTFE

**Mesures électriques** →

Tension, courant,  
puissance et énergie

**Pesées** →

Masse ablatée, taux d'érosion

**Imagerie rapide** →

Apparition de l'arc, vitesse d'ouverture  
Allongement de l'arc et ablation

**Spectroscopie** →

Espèces présentes  
Principales propriétés du milieu

## → Synchronisation de l'ouverture du couteau avec le départ de l'onde

→ Première étape :

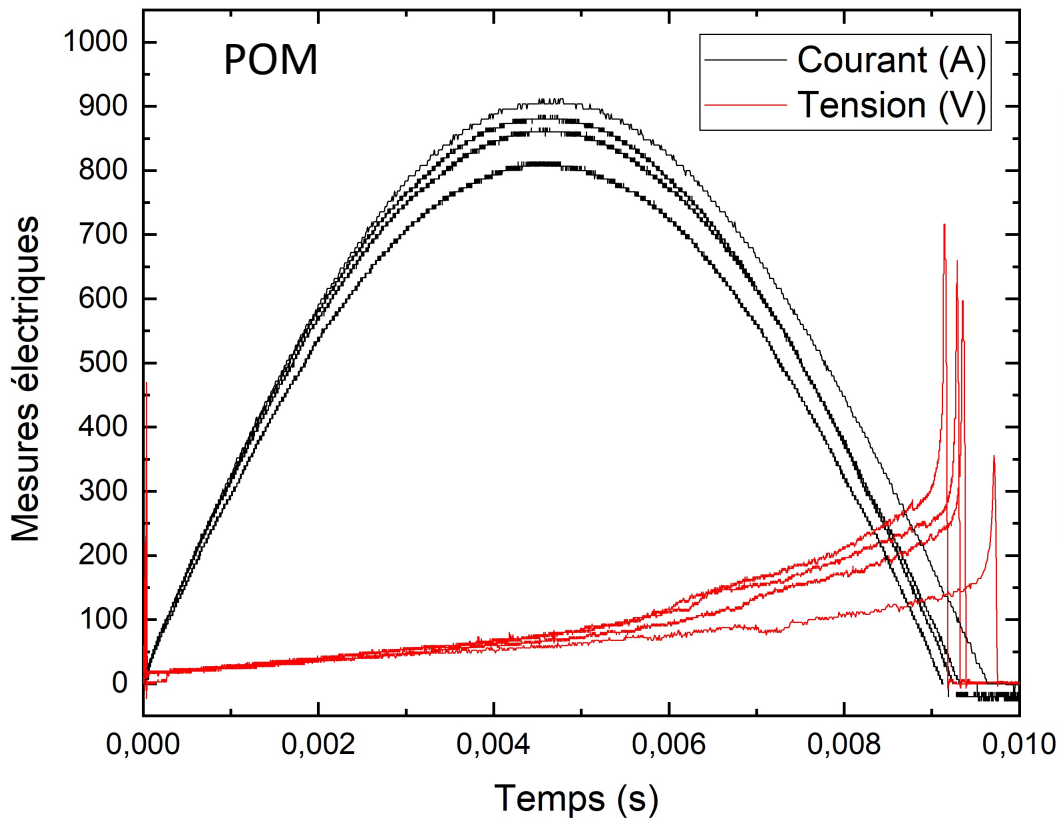
Les premières séries de mesures ont montré un délai variable entre l'instant où est envoyé la demande d'ouverture et l'ouverture du couteau secondaire.

→ Seconde étape :

- Pour ajuster au mieux le départ de l'onde avec l'ouverture du couteau, un optocoupleur a été rajouté sur l'un des couteaux primaires.
- L'incertitude entre cet instant et l'ouverture du couteau secondaire passe de 2,8ms à 0,3ms

### Conditions opératoires :

- POM homopolymère – Delrin
- Onde 630A RMS



→ Pour une même tension de charge, très légère dispersion sur l'amplitude de l'onde de courant résultante.

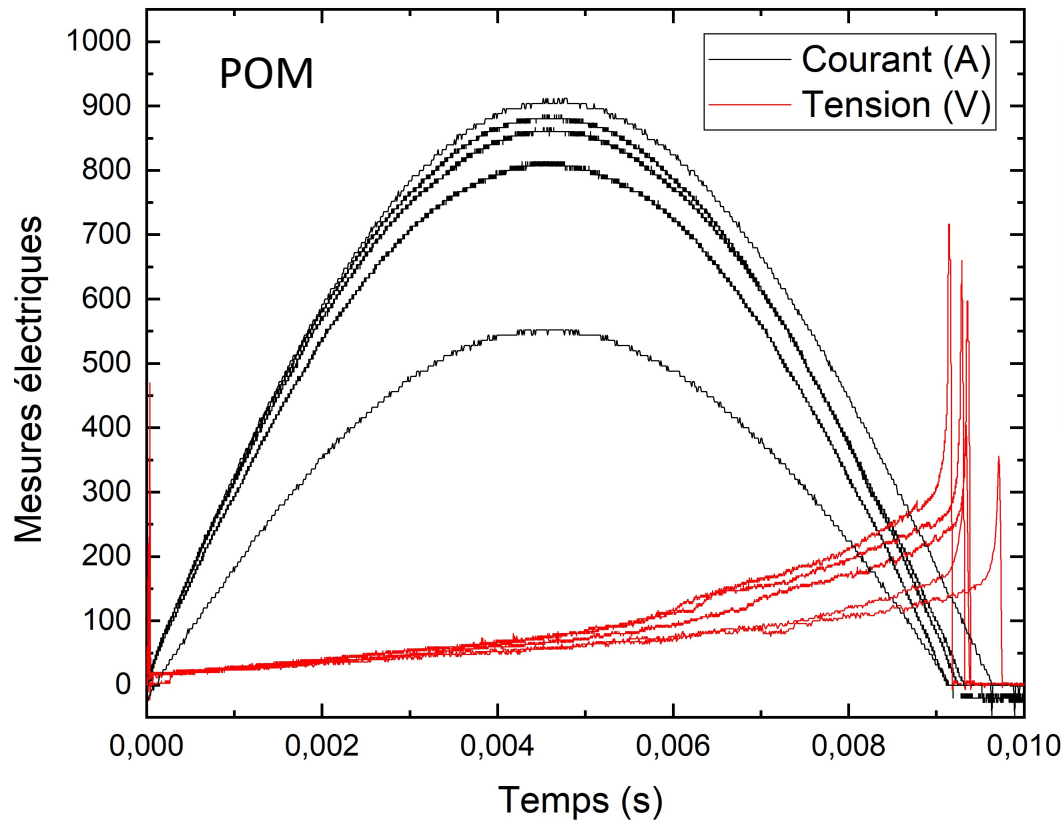
→  $t < 4\text{ms}$  : Faible écart de la tension

→  $t > 4\text{ms}$  : Variation de  $U_{\text{ARC}}$  plus marquée

→ A confronter avec l'imagerie rapide

### Conditions opératoires :

- POM homopolymère – Delrin
- Onde 630A RMS

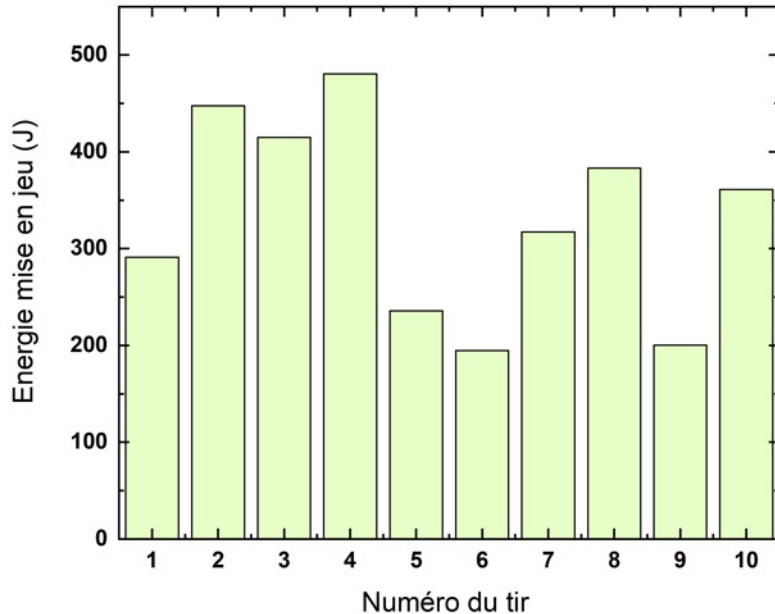


→ Au cours de la série, nous avons pu obtenir quelques ratés (dépôt de suies,...)

→ Comparaison et discussion des mesures non pas pour une valeur de courant mais en terme d'énergie mise en jeu lors de la série de tirs

## POM-C

→ T1 → T10



→ Les tirs 6 et 9 correspondent à des tirs où nous avons eu une onde d'amplitude réduite.

→ Dispersion des mesures réduite au max (amélioration synchronisation onde/départ couteau)

Energie Moyenne/tir (J)

**332 J**

Ecart Type (J)

102 J

Energie cumulée (10tirs) (J)

3326 J

→ Erosion marquée du couteau

→ Erosion plus faible des parois

**Ablation (mg):**

Pion

3,4

Couteau

-133

Plaque G

-55

Plaque D

-51

**Taux (µg/J)**

1,02

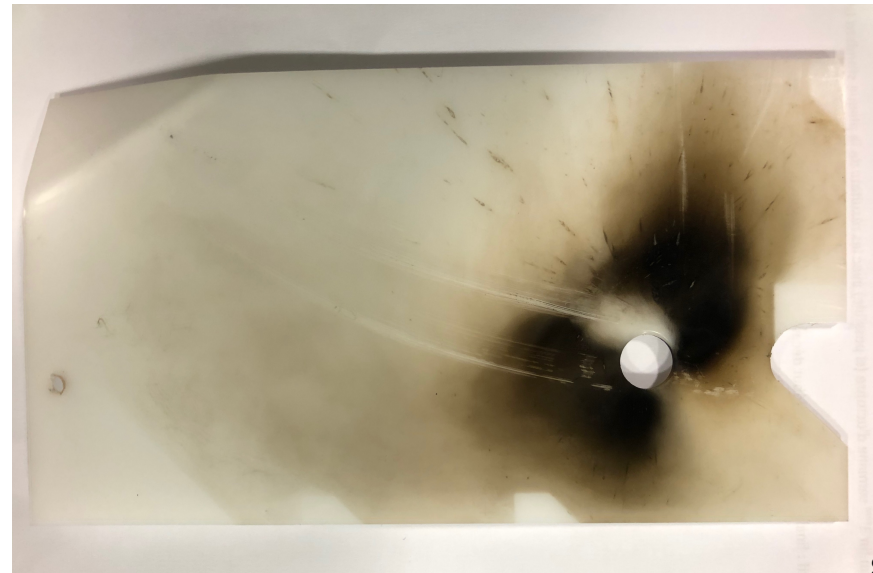
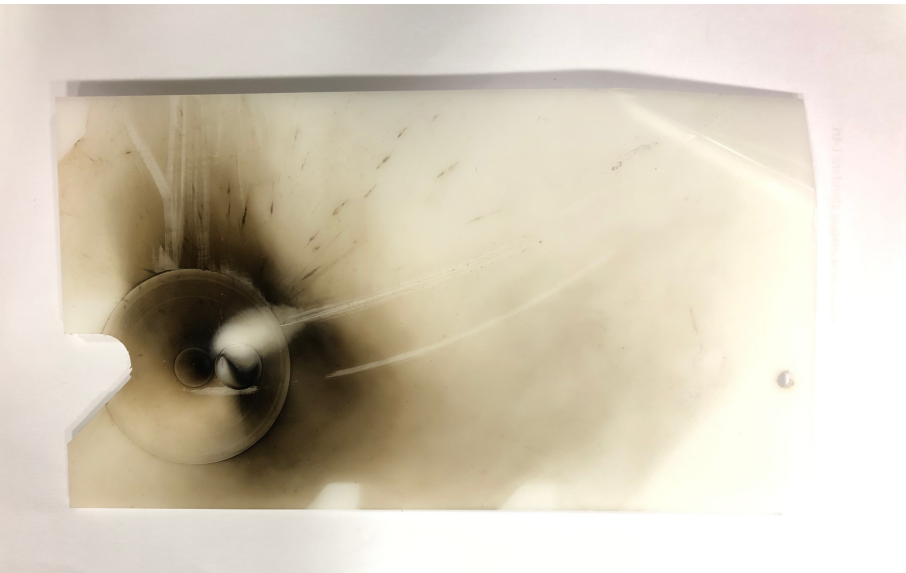
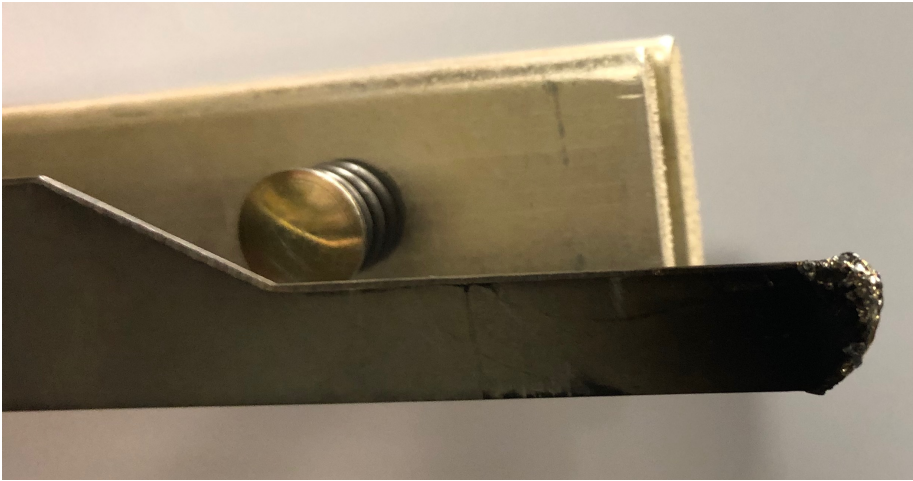
-40

-16

-15



## POM-C (POM homopolymère – Delrin) – 10 tirs



**POM-C (POM homopolymère – Delrin) – 10 tirs**

- Faible ablation des parois plastiques.
  - Mesures effectuées sur 1 demi alternance de courant
  - Ablation localisée autour du pion
- Confrontation de ces résultats avec l'imagerie rapide

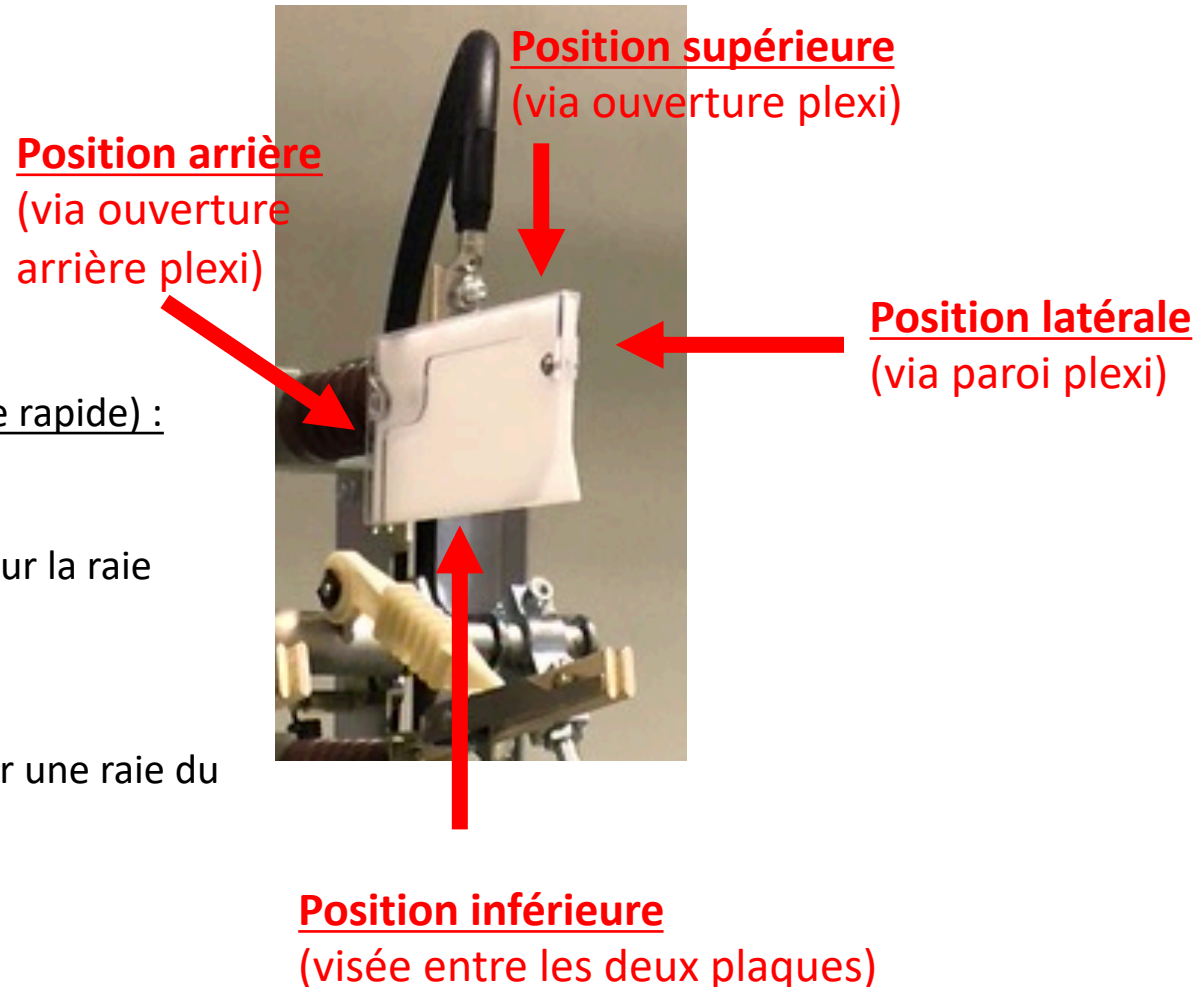
## Choix du positionnement de la caméra

### Objectifs :

- Visualisation de la décharge
- Expansion de l'arc
- Imagerie / filtre interférentiel analyse temporelle de l'ablation

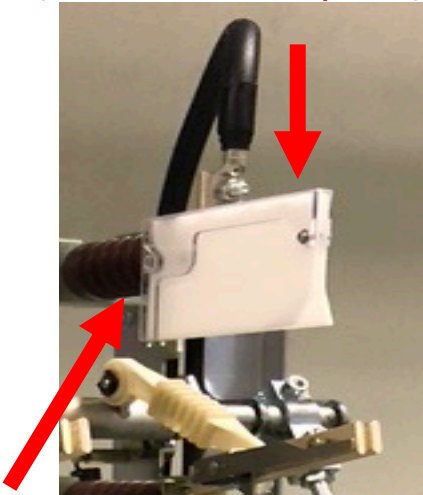
### Configurations opératoires (imagerie rapide) :

- Densité Neutre ND300
- Filtre  $H_{\alpha}$ : bande passante centrée sur la raie hydrogène + ND200  
( $\lambda = 656 \text{ nm} - \Delta\lambda = 1 \text{ nm}$ )
- Filtre F: bande passante centrée sur une raie du fluor + ND200  
( $\lambda = 687 \text{ nm} - \Delta\lambda = 4 \text{ nm}$ )



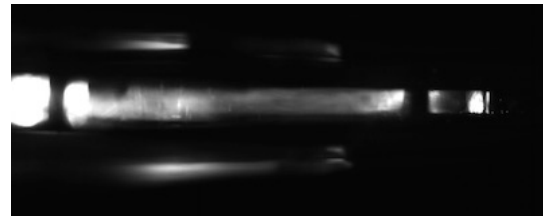
## Choix du positionnement de la caméra

### Position supérieure (via ouverture plexi)



### Position arrière (via ouverture arrière plexi)

### Position supérieure (via fenêtre plexi)



#### Avantages

- Proximité de l'arc

#### Inconvénients

- Cadrage difficile: il faut suspendre la caméra
- Plexiglas transparent qui diffuse la lumière. Perte de netteté

### Position arrière (via fenêtre plexi)

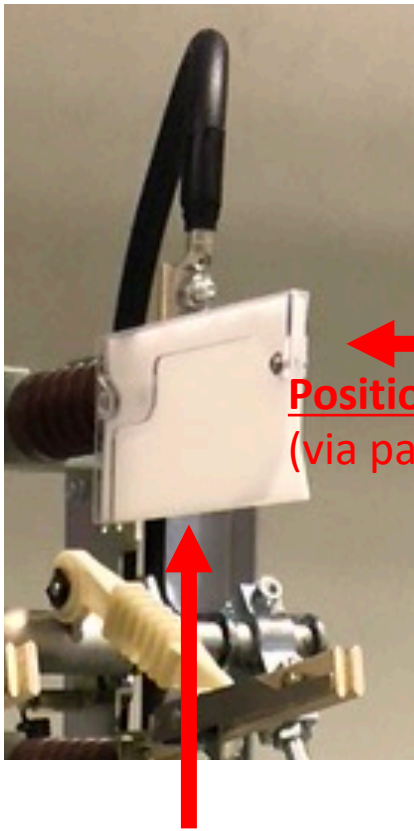
#### Avantages

- Vue de derrière légère contreplongée. Cette vue permet d'avoir une vue sur la phase d'amorçage.

#### Inconvénients

- Cadrage bien trop difficile
- Angle de visé et plexi

## Choix du positionnement de la caméra



Position latérale  
(via paroi plexi)

Position inférieure  
(visée entre les deux plaques)

### Position latérale (via fenêtre plexi)



#### Avantages :

- Mouvement du mécanisme bien visible
- Mouvement de l'arc dans sa globalité

#### Inconvénients :

- Plaque transparente (plexi) : intrusif

### Position inférieure (visée entre les deux plaques)



#### Avantages

- Vue directe sur la décharge
- Bon positionnement de la caméra pour visualisation le passage du couteau sur le pion

#### Inconvénients

- Mouvement du mécanisme
- Couteau qui masque les premiers instants



## POM-C (POM homopolymère – Delrin)

→ Caméra rapide Photron AX100 (10000 ima/s)

→ Densité Neutre : ND300

Photron FASTCAM Mini AX100 type 540K-M-8...

1/950000 sec

image : 0

Time : 14:57

1024 x 416

+0.0 ms

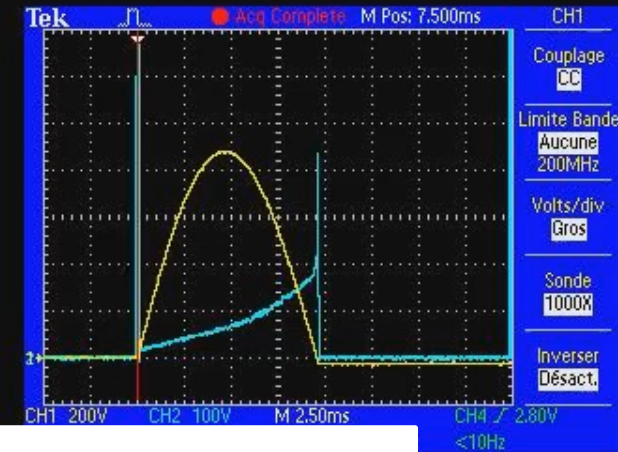
10000 i/s

Début

Date : 2020/11/19

**Position inférieure**  
(visée entre les deux  
plaques)

Pion



→ Longueur d'arc, Vitesse d'allongement...

→ Pour le POM :  $L_{\max} = 20 \text{ mm}$  et  $v = 4,5 \text{ m/s}$

Photron FASTCAM Mini AX100 type 540K-M-8...  
 1/400000 sec 1024 x 416  
 image : 10 +1.0 ms  
 Time : 17:02

10000 i/s  
 Début  
 Date : 2020/10/15

### Imagerie rapide

- 10000 im/s
- Filtre ND



Photron FASTCAM Mini AX100 type 540K-M-8...  
 1/1000000 sec 1024 x 416  
 image : 10 +1.0 ms  
 Time : 15:52

10000 i/s  
 Début  
 Date : 2020/10/15

### Imagerie rapide

- 10000 im/s
- Filtre H<sub>alpha</sub>



## POM-C

### Comparaison Imagerie

- Pas de différence notable entre les films pour différents filtres
- On aurait pu s'attendre à une zone plus lumineuse ou contrastée au proche voisinage du pion.
- Hydrogène choix non judicieux (milieu Air)
- A comparer PTFE / Filtre F
- Mesures spectroscopiques

## POM-C

- Prise en main et réglages synchronisations du départ de l'onde vs mécanisme.
- Bonne reproductibilité des tirs, malgré quelques ratés (onde de courant « réduites ») pouvant provenir de la présence de suies.
- Pour le POM, le taux d'ablation des parois est proche de celle du couteau.
- Très faible érosion du Pion.
- Visualisation de l'allongement de l'arc au cours du temps.
- Imagerie rapide + Filtre interférentiel semble apporter peu d'information supplémentaire dans notre cas sur la visualisation de l'ablation.

## Matériaux

POM -C

PTFE

BASF Ultramid A3X1G5  
(PA66 GF25FR)

Mesures électriques

Pesées

Imagerie rapide

# Comparaison POM/PTFE/PA66

30 juin 2021

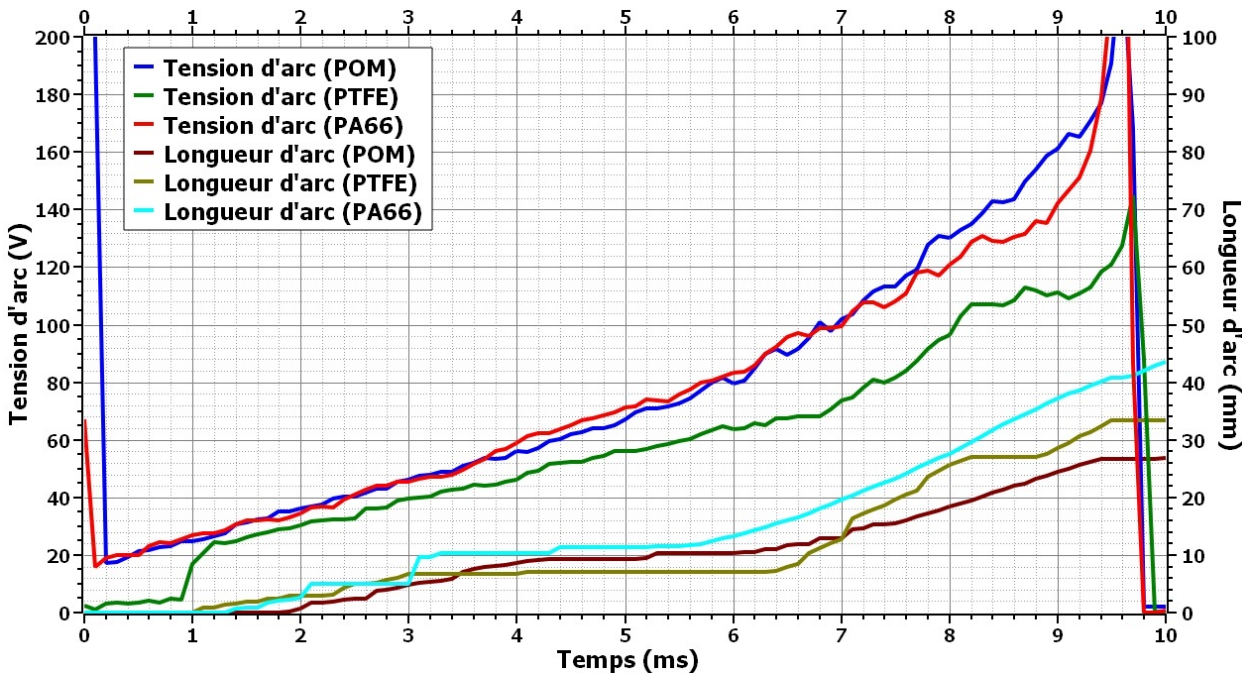
## POM-C / PTFE / PA66

Mesures électriques



Tension, courant, puissance et énergie

Imagerie rapide

Apparition de l'arc, vitesse d'ouverture  
Allongement de l'arc et ablation

→ Longueurs d'arcs différentes suivant les matériaux.

→ Nature et géométrie des parois influent grandement sur la vitesse d'ouverture

→ Impact sur la tension

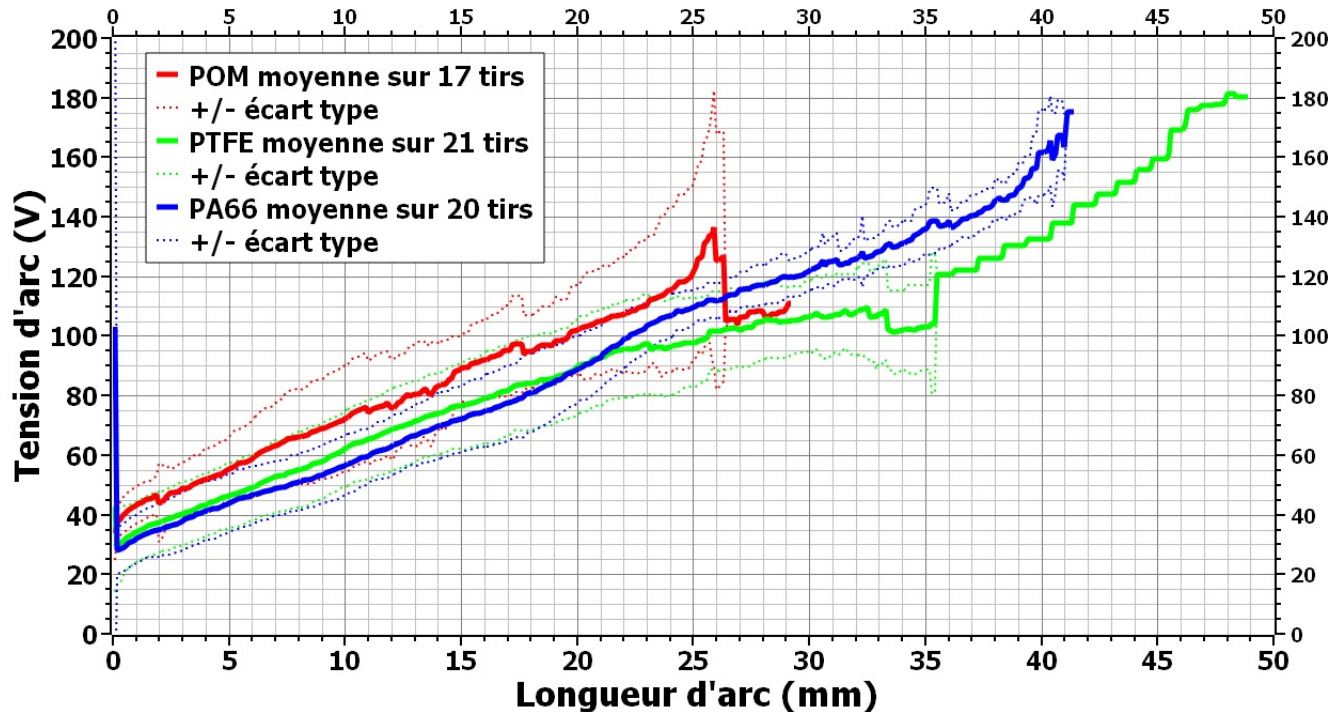
# Comparaison POM/PTFE/PA66

30 juin 2021

## POM-C / PTFE / PA66

→ Corrélation des mesures électriques et des longueurs d'arcs obtenues par imagerie

→ Moyennage sur les séries de chaque matériaux.



→ Pour une longueur d'arc donnée,  $(U_{arc})_{POM}$  est supérieure vs PTFE et PA66



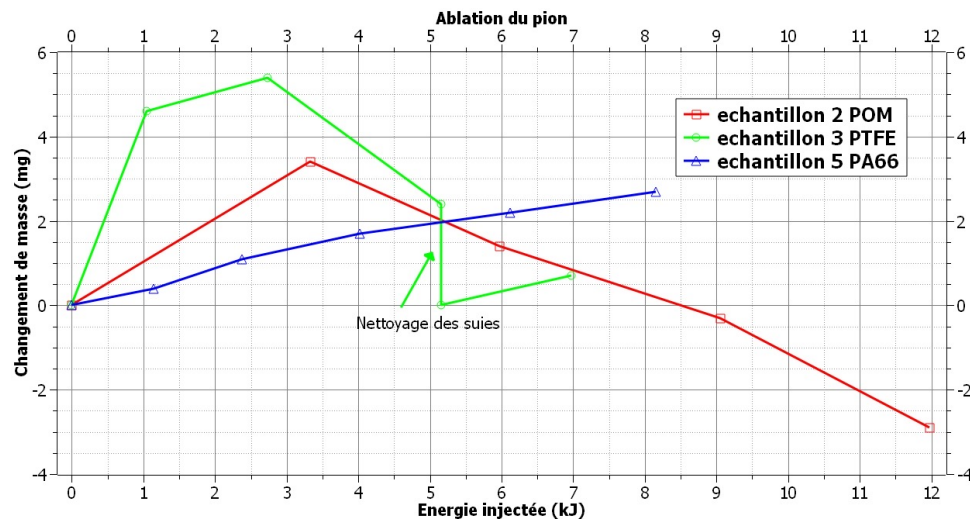
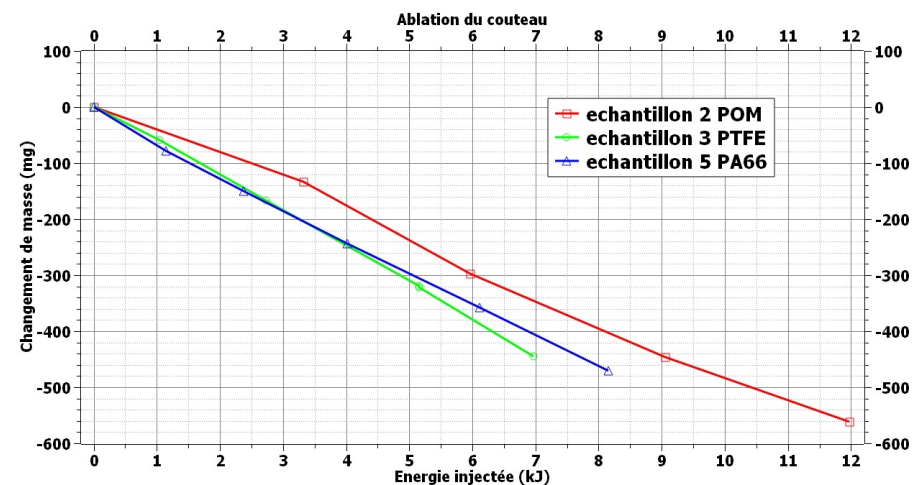
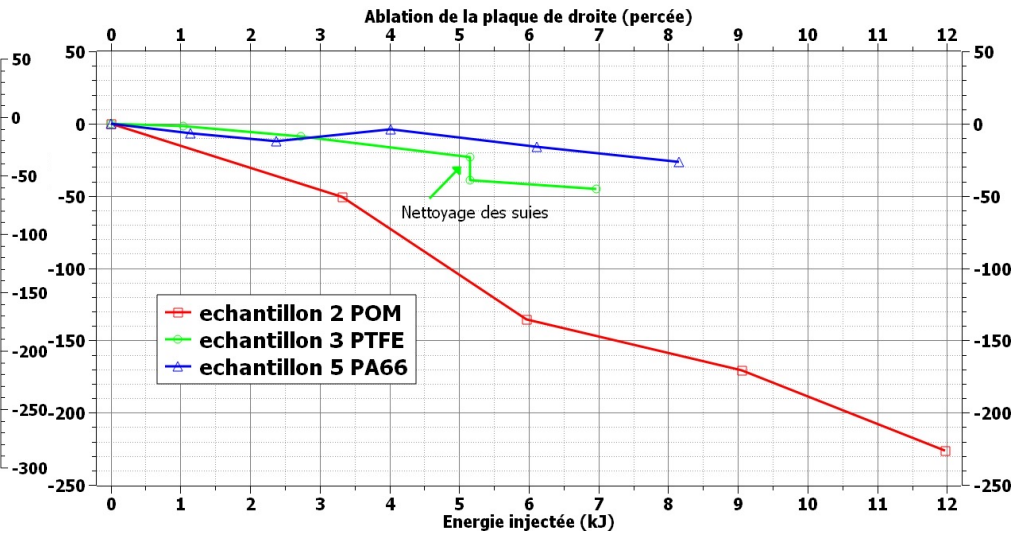
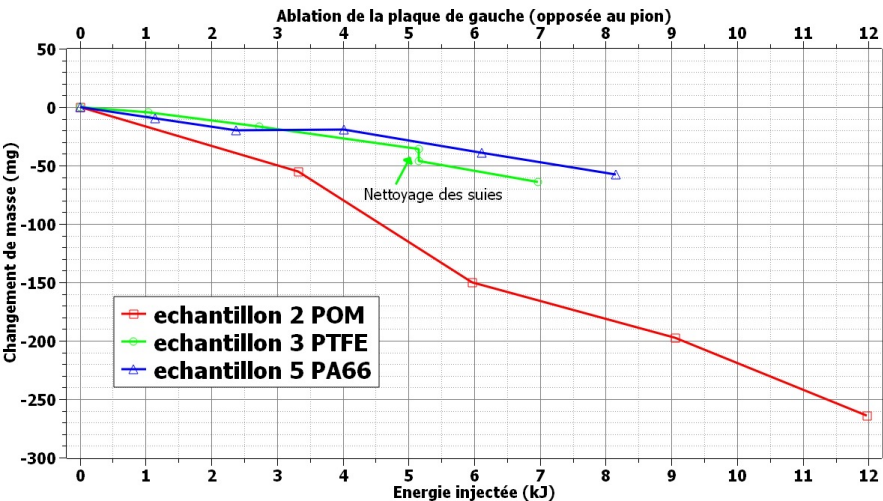
# Comparaison POM/PTFE/PA66

30 juin 2021

Echantillon	n°2 POM	n°3 PTFE	n°5 BASF PA66
Nombre de tirs effectués	41	24	20
Energie totale cumulée	11,97 kJ	6,97 kJ	8,16 kJ
Energie moyenne par tir	291 J	290 J	400 J
Ecart type	89 J	95 J	17 J
Ablation plastique (taux)	490mg 41 µg/J	59 mg 8 µg/J	84 mg 10 µg/J
Ablation métallique (taux)	564 mg 47 µg/J	316 mg 45 µg/J	467 mg 57 µg/J
Remarque	Perçage en face du pion par ablation	Ouverture plus rapide (PTFE)	Ouverture plus rapide (jeu)

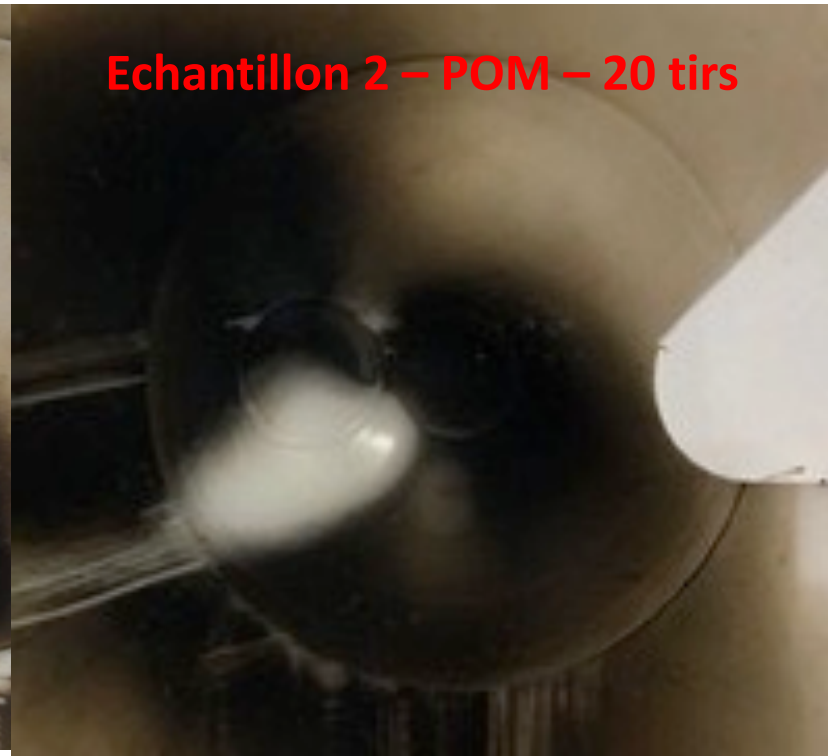
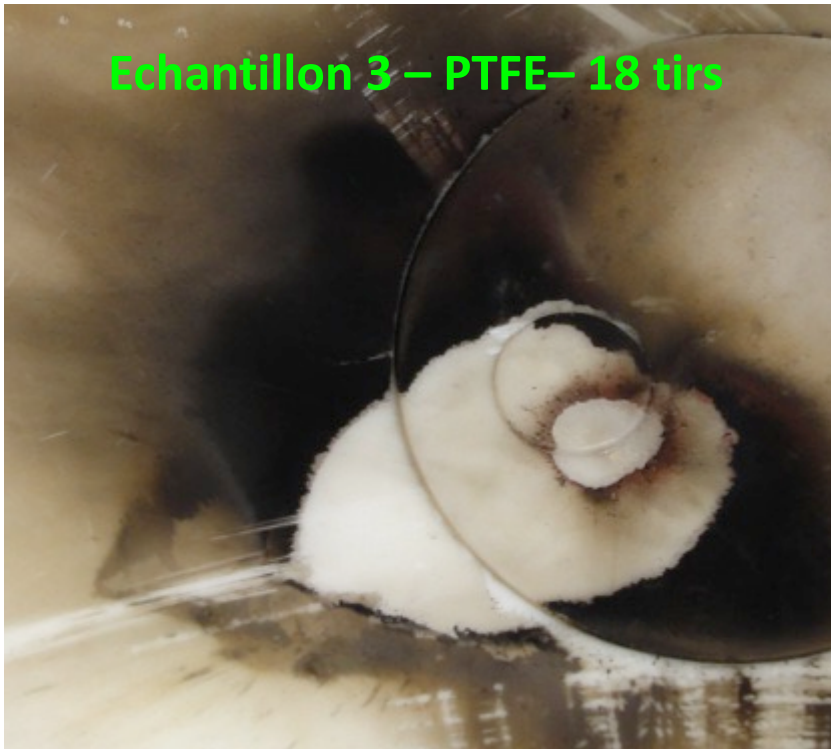
# Comparaison POM/PTFE/PA66

30 juin 2021



➔ Ablation plus marquée dans le cas du POM vs PTFE et PA66

## Ablation paroi POM / PTFE



→ Ablation des parois aux proches voisinages du pion

→ Présence de suies

## POM : Endurance

**tir 34**

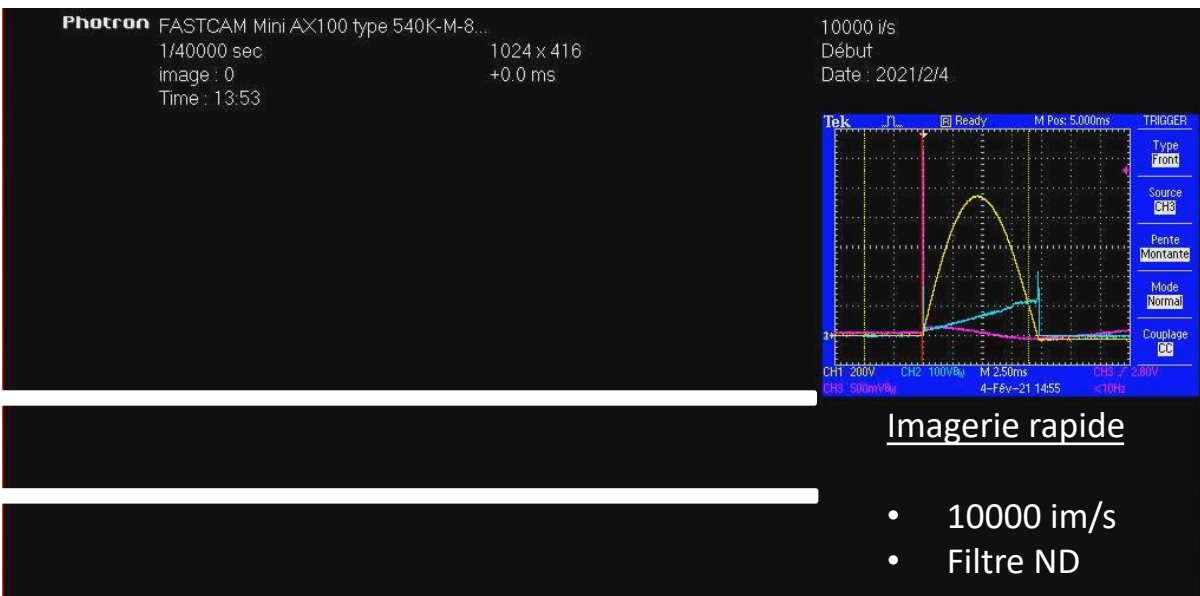
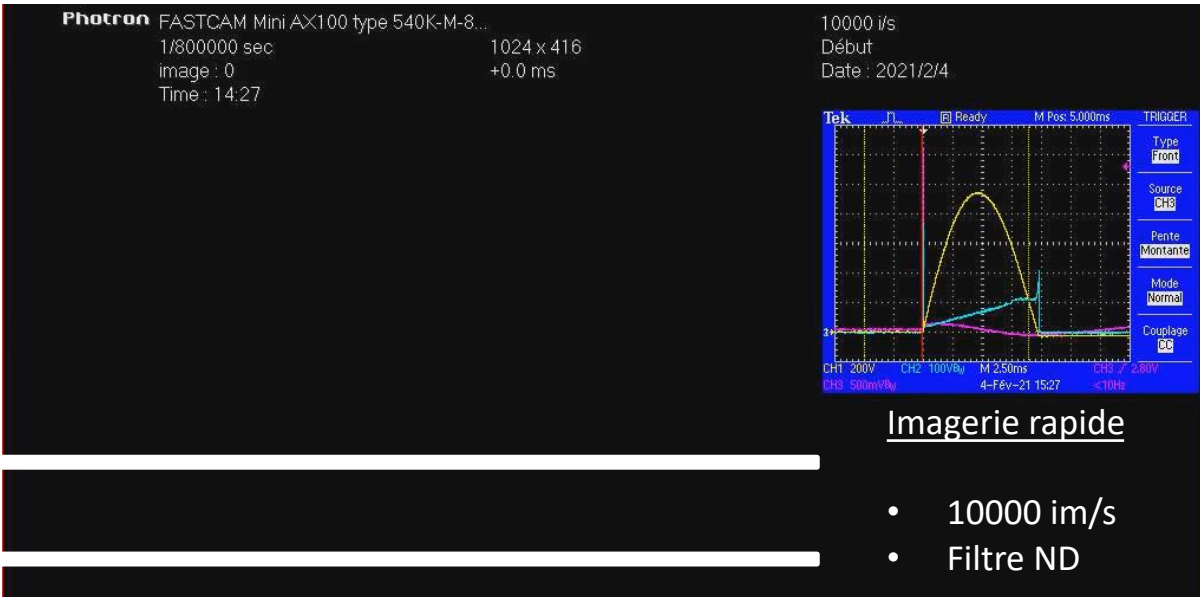


**tir 41**



→ **Echantillon POM – perçage de la plaque gauche (en vis à vis du pion)**

→ **Mesure sur 1 demi alternance de courant**



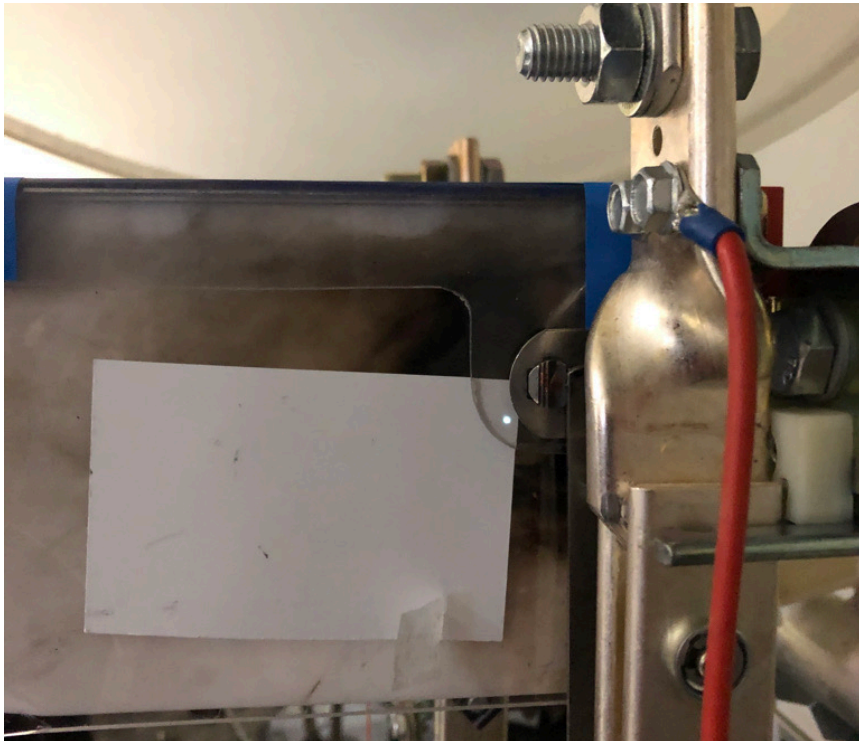
## Paroi PTFE

### Comparaison Imagerie

- ➔ Identique au POM avec filtre H $\alpha$  : Pas de différence notable entre les films pour différents filtres
- ➔ On aurait pu s'attendre à une zone plus lumineuse ou contrastée au proche voisinage du pion.
- ➔ Pas de vapeurs, bande spectrale inadaptée, Pb axe de visée ?
- ➔ Mesures spectroscopiques



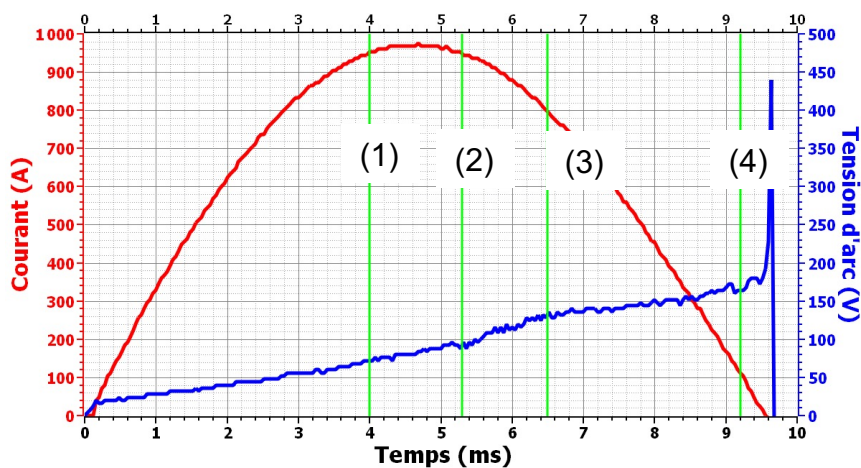
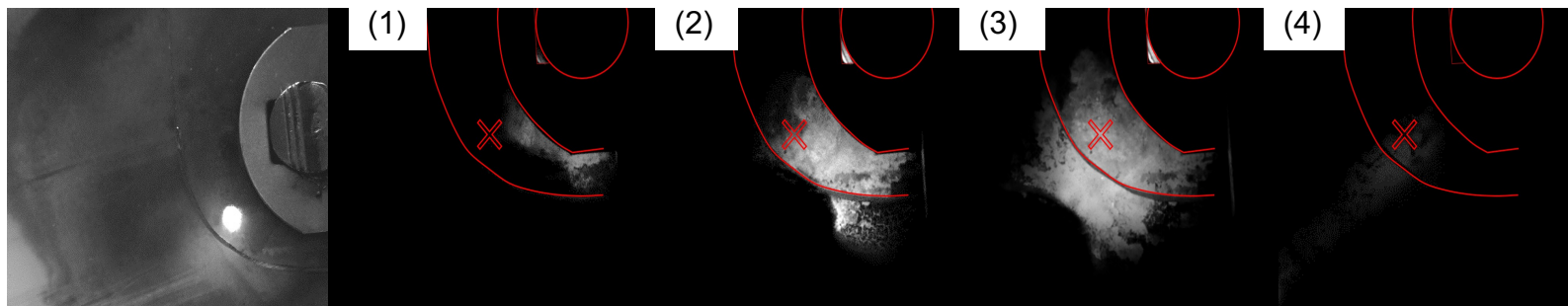
- Imagerie rapide + Filtre interférentiel n'ont pas permis d'apporter une information supplémentaire.
- Spectroscopie optique d'émission sur certaines zones ciblées du spectre



## Conditions opératoires

- Mesure via fibre optique + optique
- Parois : POM ou PTFE
- Visée au raz du pion (paroi plexi)
- Résolution temporelle : 3000 fps
- Espèces ciblées :
  - Fluor
  - Hydrogène
  - Fer, Cuivre

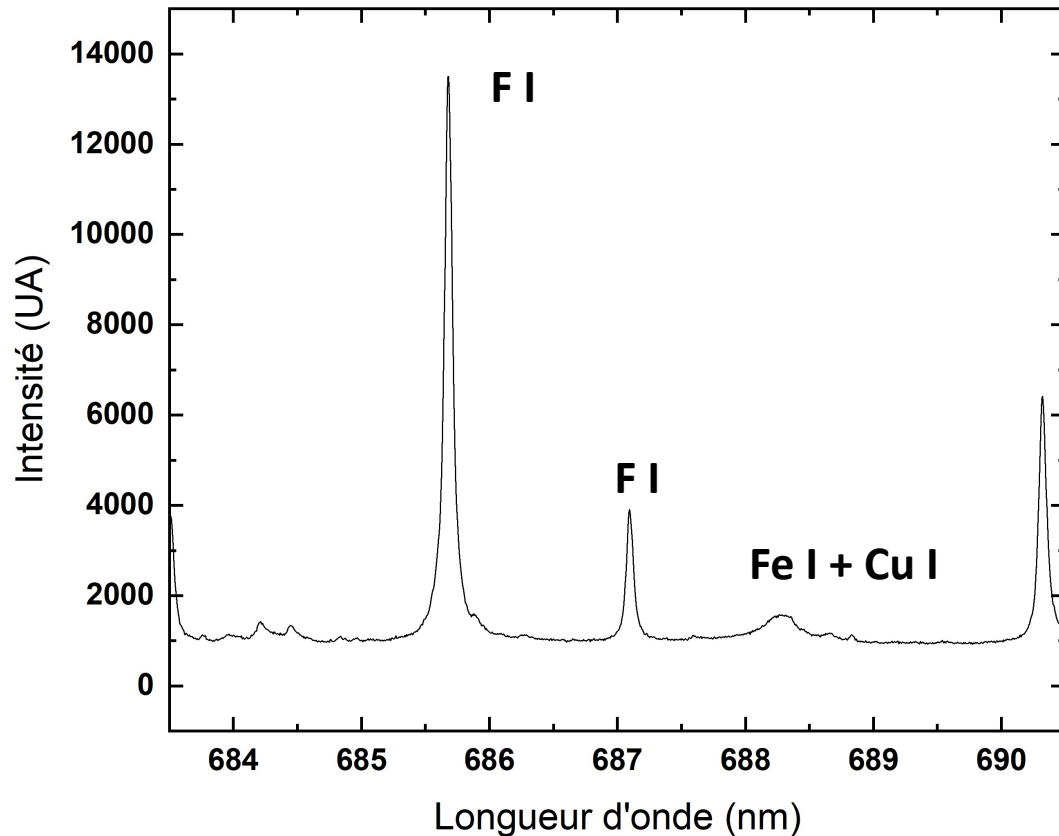
## Imagerie au point de visée spectroscopique



### Conditions opératoires

- Point de visée au plus proche voisinage de l'apparition de l'arc.
- Le point de mesure se situe dans la zone d'arc
- Espèces visées : Fluor et hydrogène

## Raie du Fluor

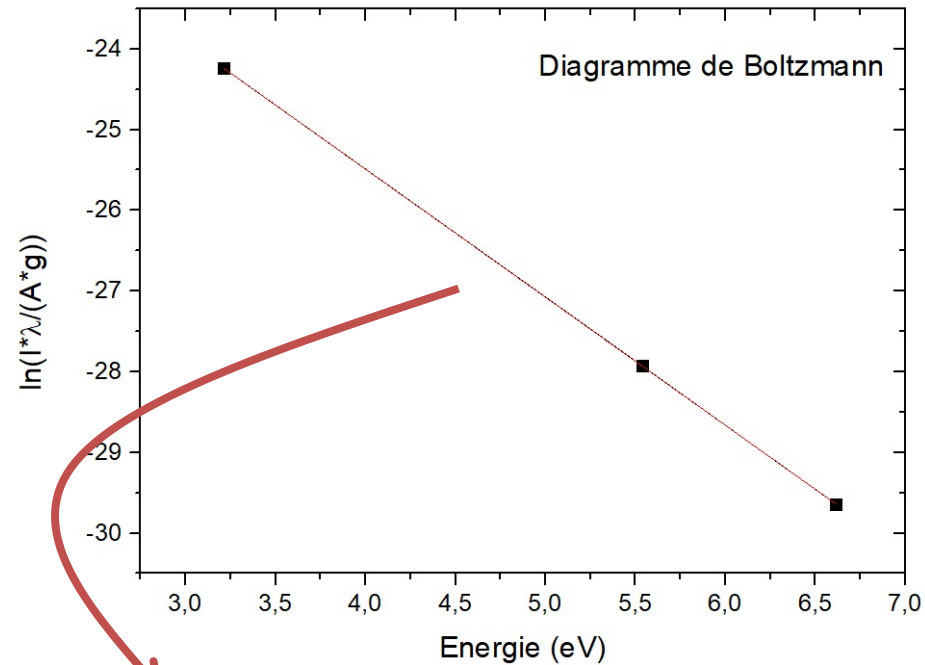
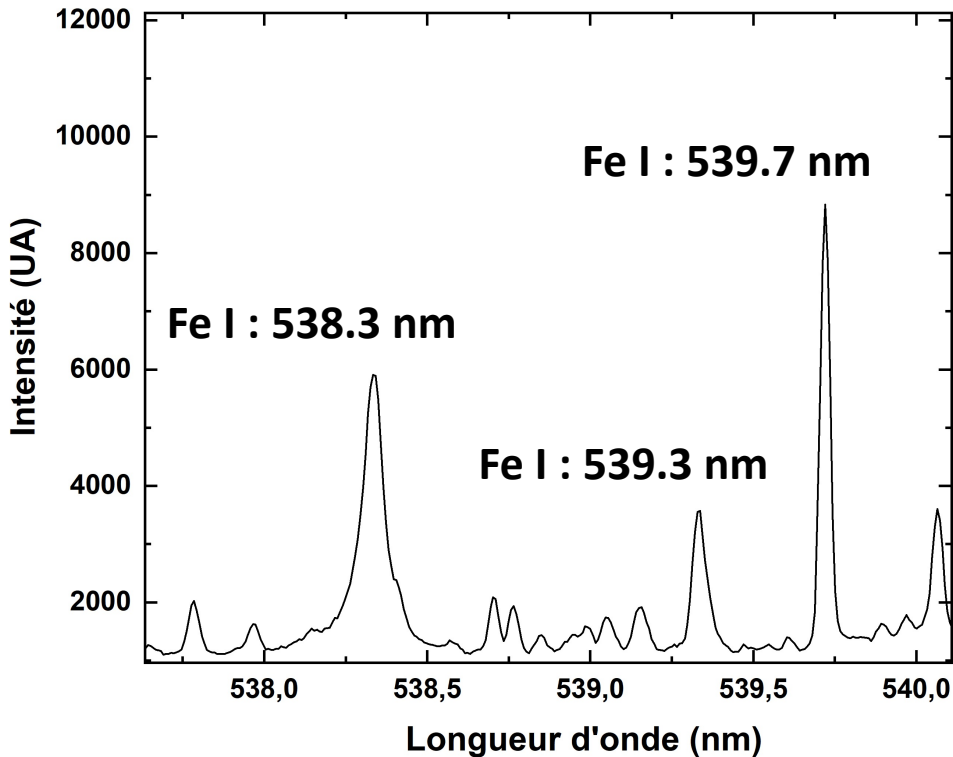


### Acquisition (t=6ms)

- Paroi PTFE + plexi
- Rapport FC vs Fluor : 3:1
- Il se peut que ce rapport ne soit pas suffisant pour améliorer de manière significative le signal reçu par imagerie rapide ( $\lambda = 687 \text{ nm} - \Delta\lambda = 4\text{nm}$ )

## Raie du Fer

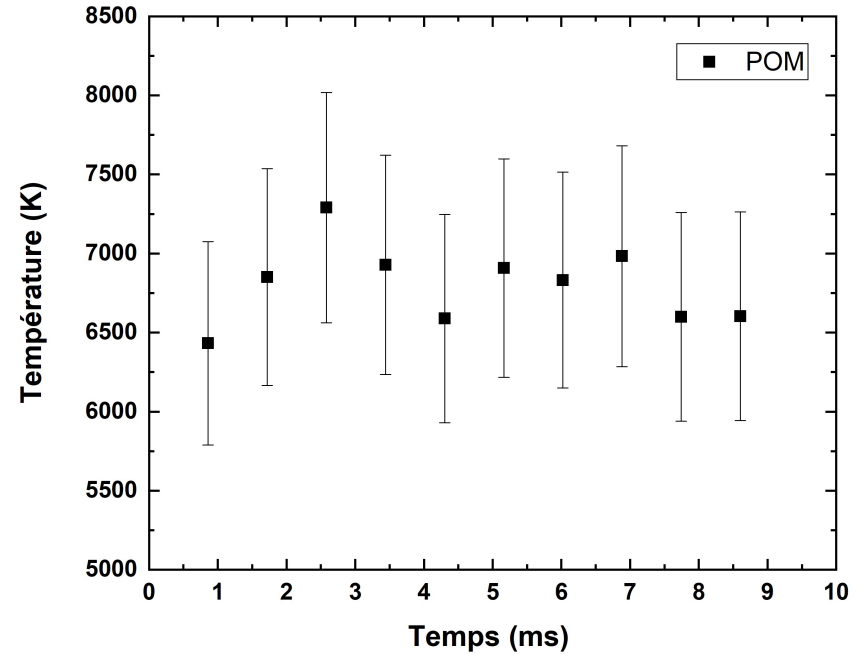
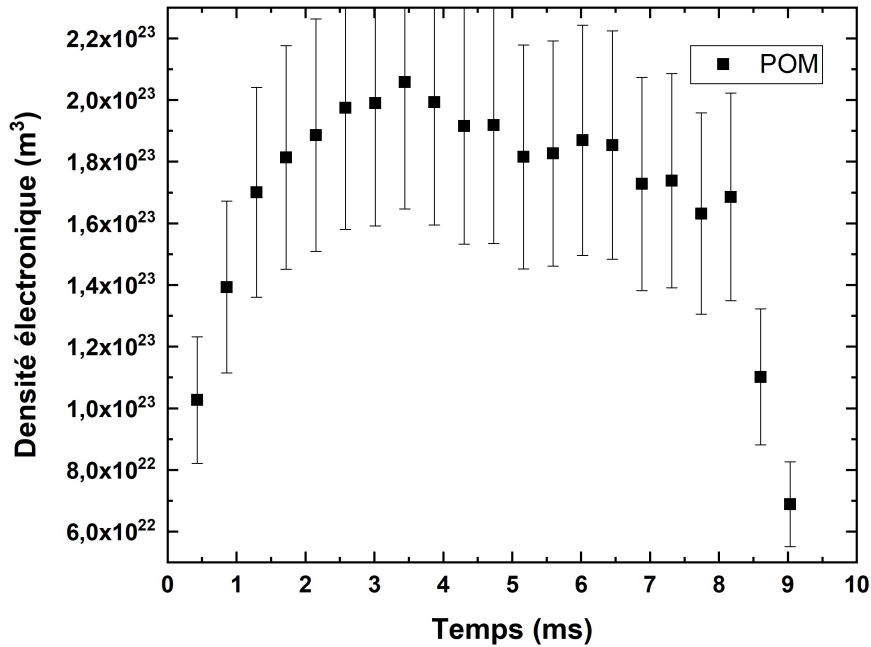
→ Présence d'un spectre riche en raie du Fe.



$$pente = \frac{-1}{k_b T}$$

→ Raies dont les niveaux émetteurs sont séparés par plus de 3 eV.

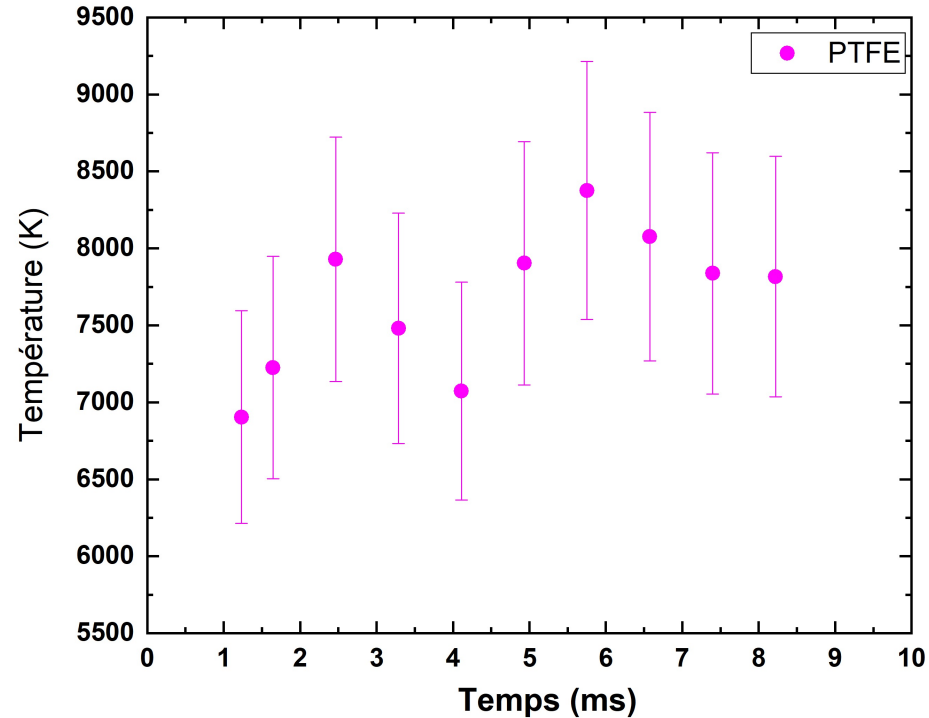
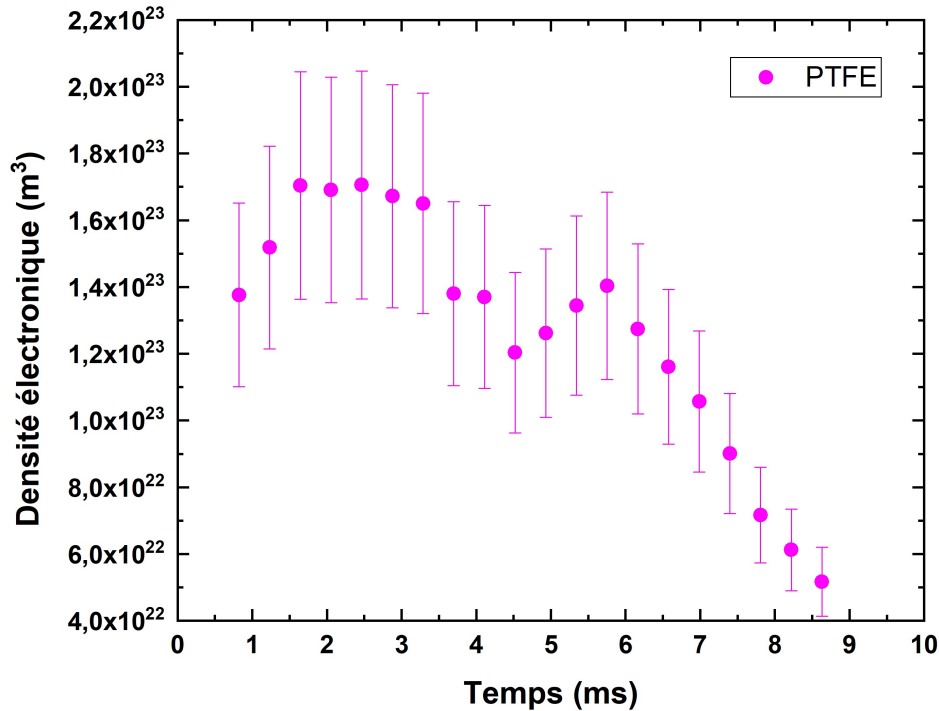
## POM-C



→ Densité électronique élevée / Température faible

→ Variation du  $n_e / T$  à  $t=4ms$ , passage du couteau

## PTFE



→ Même tendance pour le PTFE

→ Comparaison mesures  $n_e$  - T / Calcul composition

- Mise en place et prise en main de l'interrupteur MT
- 3 matériaux testés (POM, PTFE et PA66)
- Ablation des parois plastiques localisée autour du pion
- Ablation du couteau identique pour les 3 matériaux
- L'utilisation des filtres interférentiels n'a pas apporté une information supplémentaire.
- Spectroscopie : Les quelques mesures effectuées semblent indiquer que nous sommes en présence d'un milieu très riche en vapeur.

- Finaliser mesures avec le dernier matériau UF – Formaldéhyde
- Finaliser l'exploitation des vidéos (face latérale)
- Mesures spectroscopiques