

PARCOURS SCIENTIFIQUE ET PROJET DE RECHERCHE

Alexandra BRISSET

**Laboratoire EM2C: Energétique Moléculaire et Macroscopique, Combustion
Gif-sur-Yvette**



LABORATOIRE
EM2C



Thèse (LPGP) :
(ANR EXFIDIS)

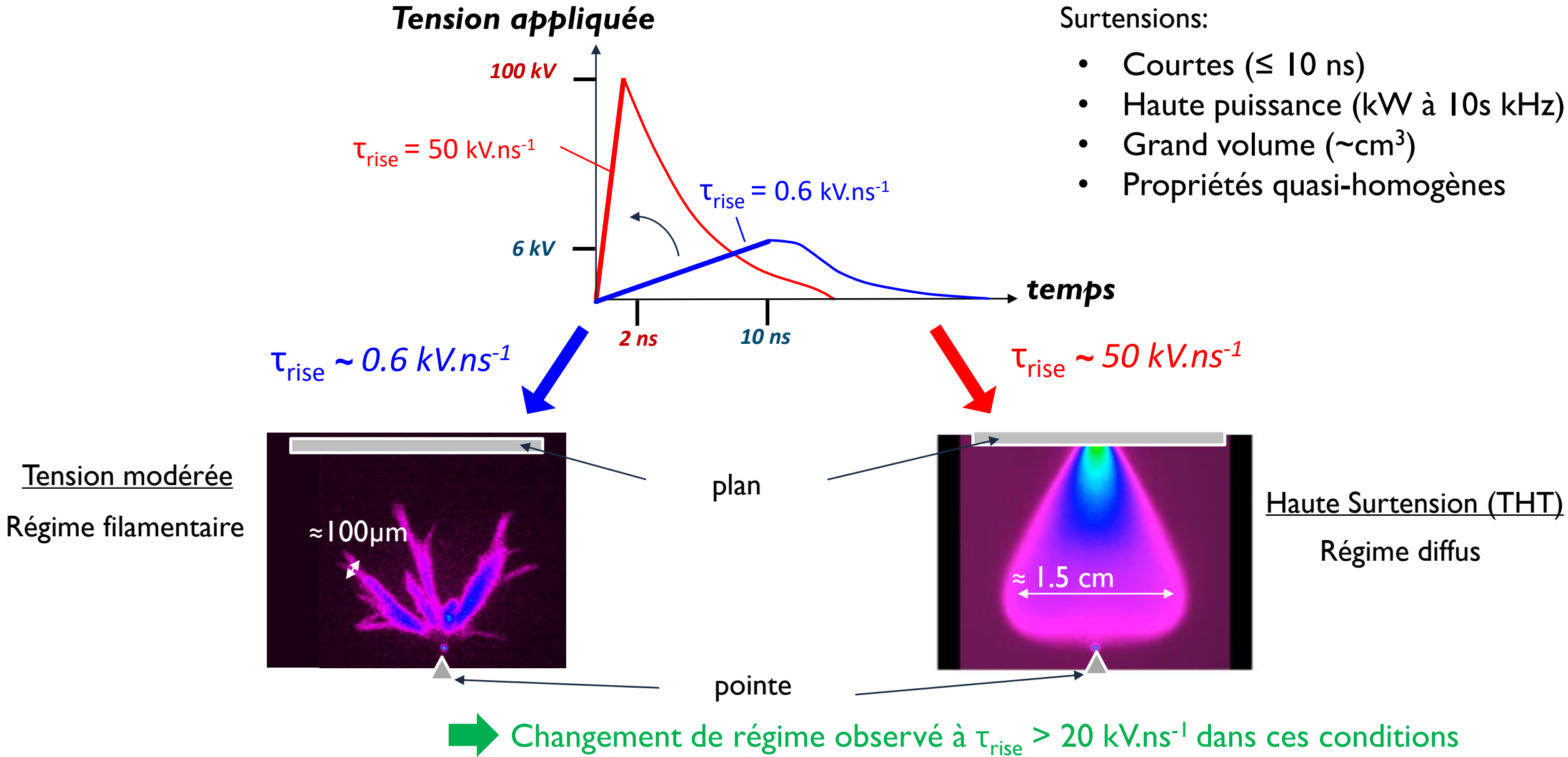
Physique d'une décharge diffuse à pression atmosphérique générée à très haute surtension

Post-doc (York, UK) :
(ESPCR TipTop)

Développement de décharges $\text{He}+\text{H}_2\text{O}(+\text{O}_2)$ et cinétique chimique pour les applications biomédicales

Chargée de recherche :
(CNRS)

Diagnostics et physico-chimie des décharges haute tension pour la Combustion Assistée par Plasma



Décharges impulsionnelles haute pression sont des sources hors-équilibre caractérisées par :

- Forte réactivité chimique ($n_e \sim 10^{15} \text{ cm}^{-3}$)
- Fortement hors-équilibre ($T_{\text{gaz}} \sim 350 \text{ K}$, $T_e \sim 3 \text{ eV}$)
- Rapides (cm/ns), large section (cm)
- électrons runaways, rayons X, émission bremsstrahlung

Questions :

- applicabilité des modèles fluides streamer (X rays or large streamers ?)
- Efficacité de production d'espèces réactives ?
- Effets des très hautes tensions (rise time, polarité, ...) sur la cinétique ?

NEW PHOTOIONISATION PROCESSES

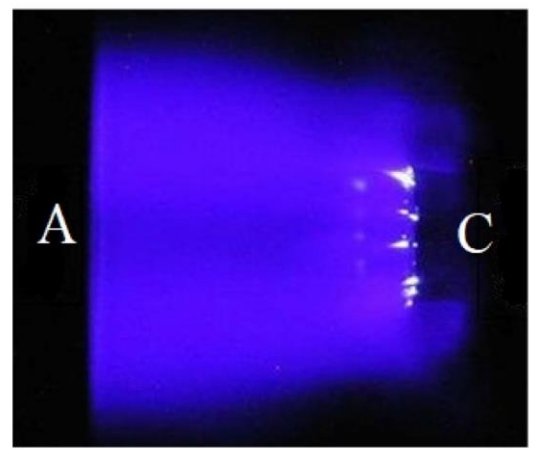


Figure 13. Discharge glow in nitrogen at 0.12 MPa. RADAN-220 generator, tubular cathode, $d = 14$ mm.

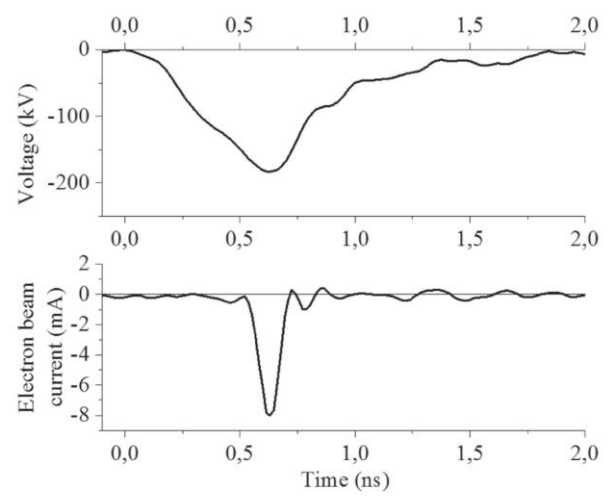
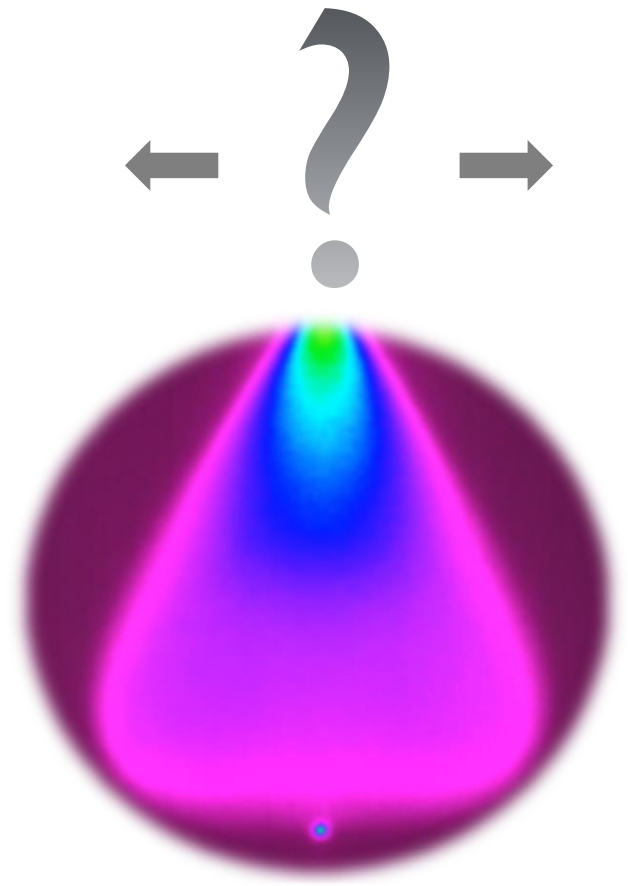
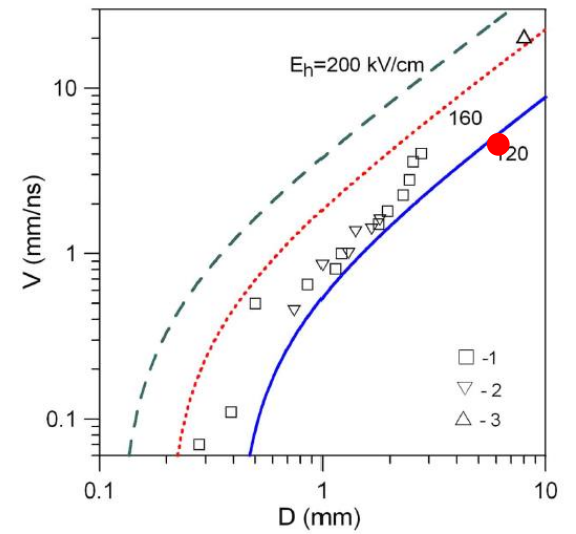


Figure 10. Voltage and SAEB current in nitrogen at 0.8 MPa for $d = 4$ mm.

Burachenko et al. High Volt., 2017, Vol. 2 Iss. 2

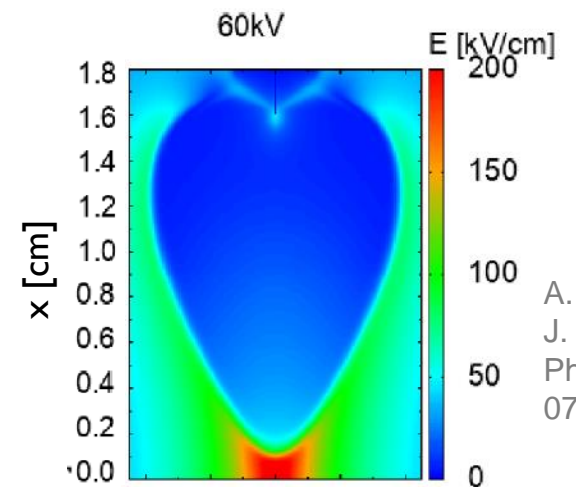


WIDE STREAMERS



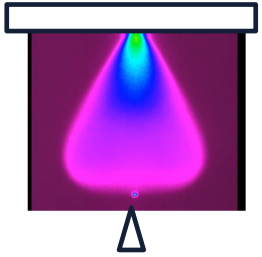
Naidis et al. PSST, 27 (2018) 013001

Figure 26. Positive streamer velocity V versus radiation diameter D at normal air density. Experimental data: 1—[142], 2—[143], 3—[97]. Lines: evaluation for various E_h .



A. Bourdon et al. J. Phys. D: Appl. Phys. 54 (2021) 075204

Question : effets des très hautes tensions sur le développement de la décharge



- **Objectif** : étude des mécanismes de claquage

- **Moyens** :

Spectroscopie d'émission optique (SEO)

($\Delta t = 500$ ps, $\Delta x \approx 350$ μm)

→ E/N , T_{gaz} , $n(\text{N}_2^*)$, n_e

Electric-Field Induced Second Harmonic (EFISH) → E

($\Delta t = 150$ ps, $\Delta x \approx 70$ μm)

Diffusion Thomson

→ n_e

($\Delta t = 500$ ps, $\Delta r \approx 400$ μm)

Modélisation fluide (collaboration)

- **Difficultés**

Parasites électromagnétiques

Résolution sub-ns et sub-mm

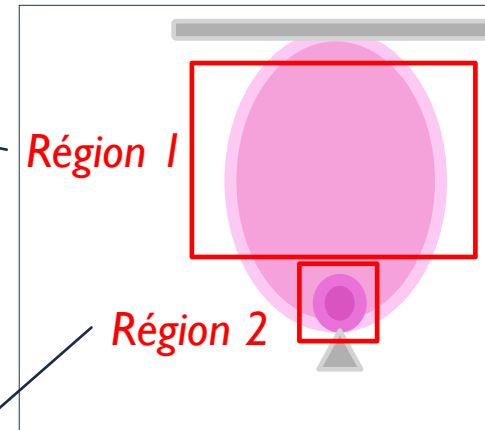
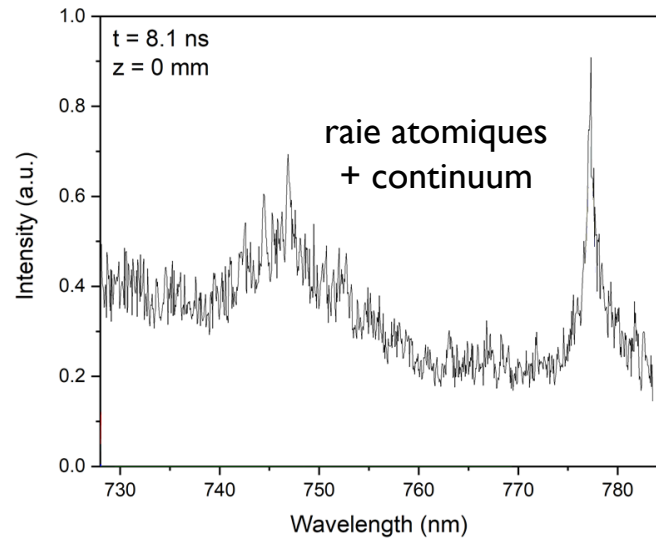
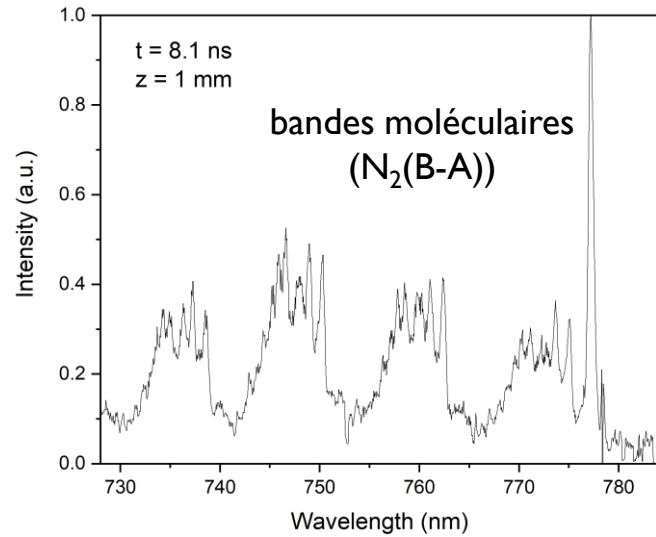
Mesures pionnières



Des diagnostics avancés pour surmonter les difficultés de la très haute tension

2. Caractérisation de la décharge THT

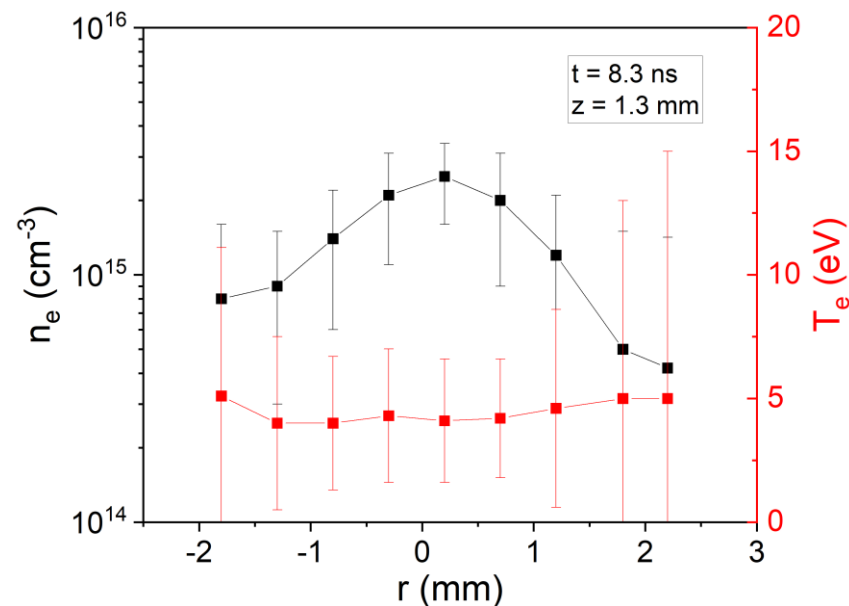
7



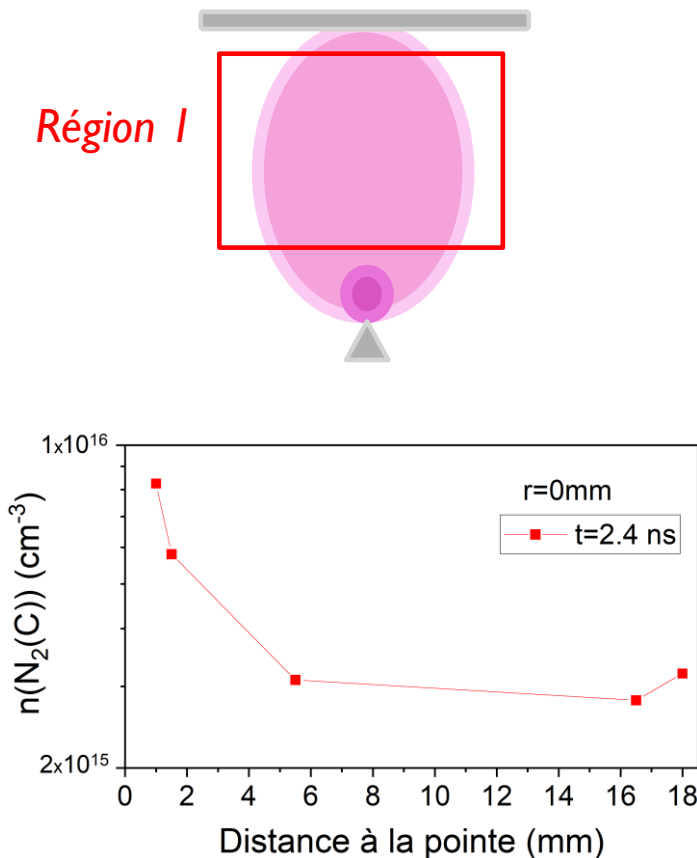
La décharge présente deux régions aux propriétés physico-chimiques différentes

2. Caractérisation de la décharge THT

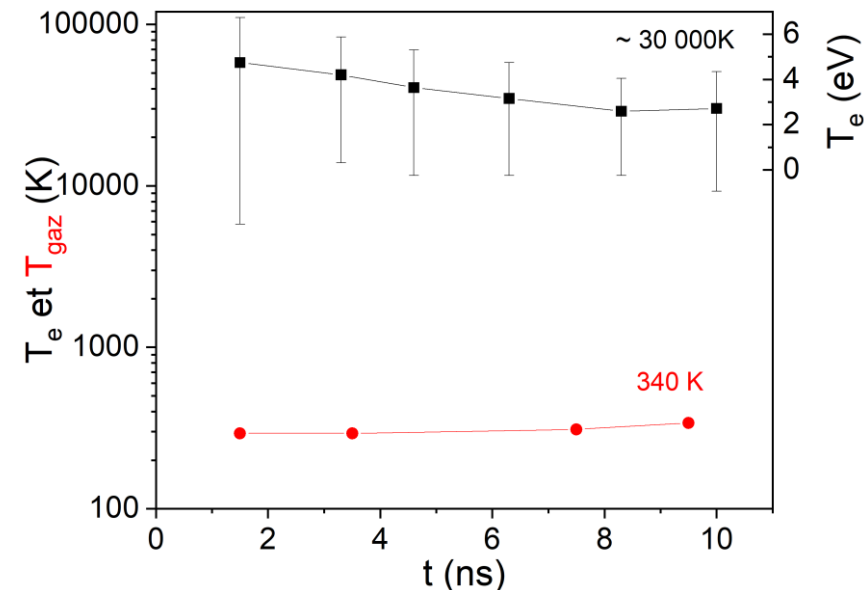
Question : Réactivité spécifique à très haute tension ?



n_e élevée $\sim 10^{15}$ cm⁻³
 \Rightarrow 10 fois plus qu'en régime classique
 Densité de puissance (~ 60 MW.cm⁻³)



$n(N_2^*)$ élevée $\sim 10^{15}$ cm⁻³
 \Rightarrow 10 fois plus qu'en régime classique



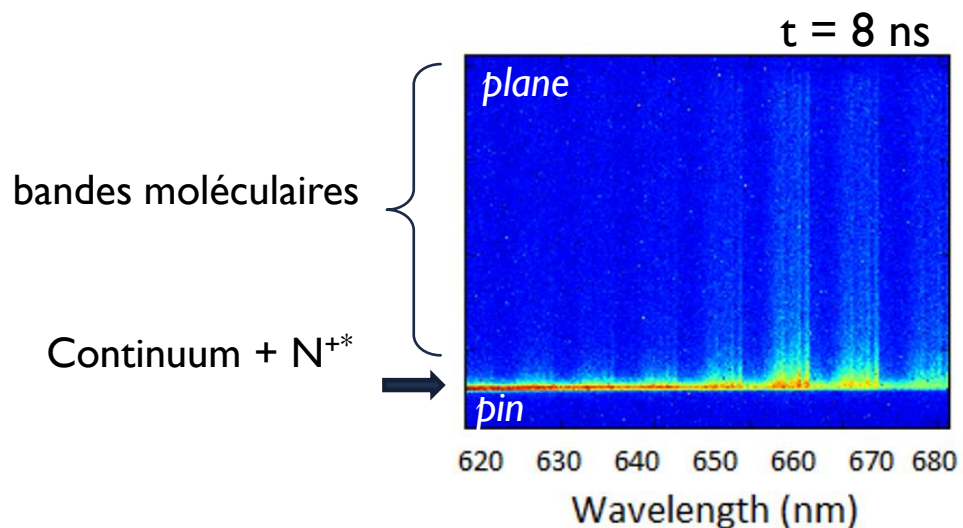
T_{gaz} faible - T_e élevé
 \Rightarrow Fort hors-équilibre



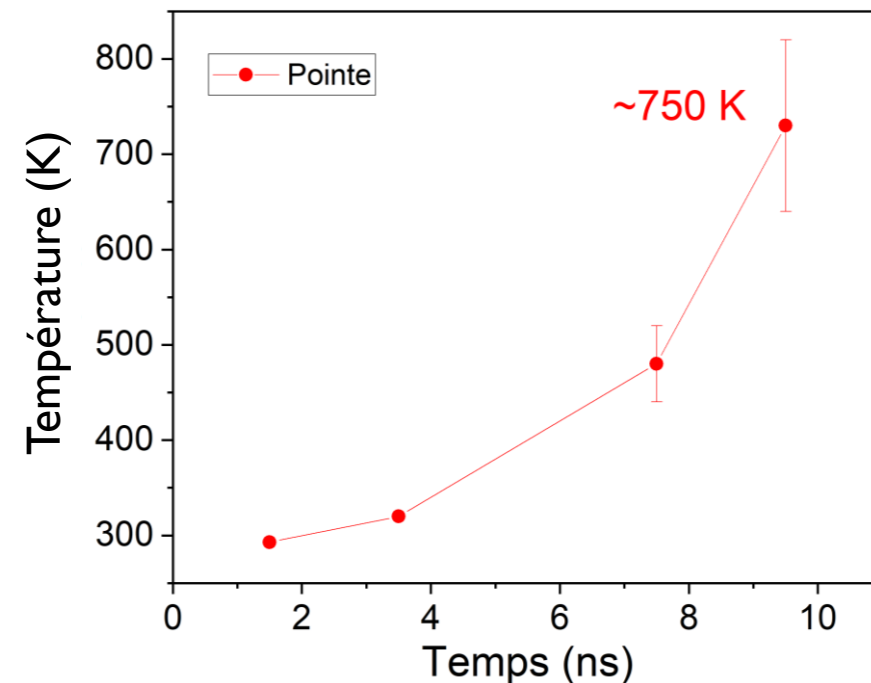
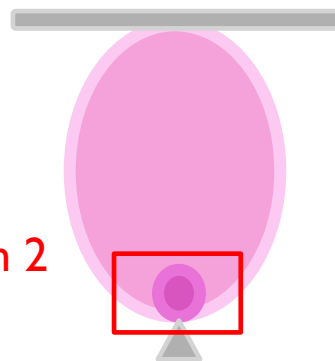
Région I : paramètres plasmas homogènes et étendus radialement
Production d'espèces réactives ~ 10 fois supérieure aux décharges ns classiques

2. Caractérisation de la décharge THT

Spectre d'émission le long de l'axe



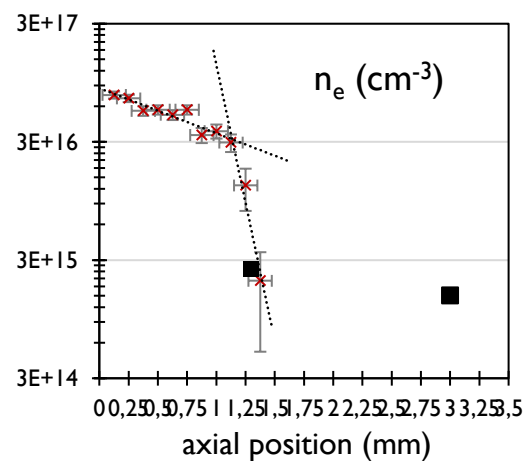
Région 2



Forte ionisation :

$$n_e \sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

\Rightarrow Haute densité de puissance locale (GW.cm^{-3})



Région 2



Mise en évidence de propriétés similaires à celles d'autres décharges ns hors-équilibre

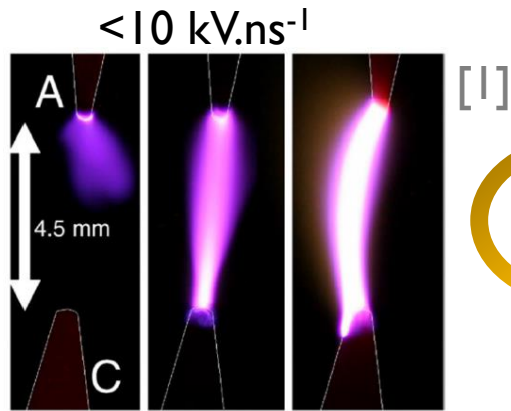
Processus fondamentaux dans les décharges haute tension et haute pression pour la combustion assistée par plasma

EM2C - UPR 288

Axe de recherche : Plasmas Hors-Equilibre (PHE)

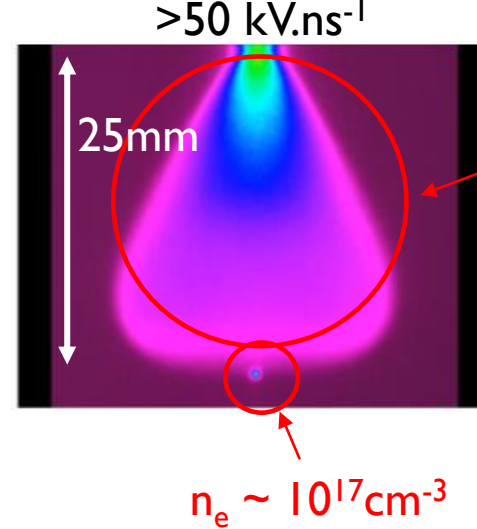


ns-Répétitives Pulsées (NRP)



VS

ns-Très Haute Tension (THT)



Différents régimes possibles dans l'air

NRP- couronne

- glow (< 1A, < 100μJ)
- spark ($T_e \sim T_{\text{gaz}} > 10000\text{K}$)

?

- Diffus (> 100A, > 10mJ, < 2000K)

Des plasmas hors-équilibre aux étincelles :

Forts E/N (250 à 800 Td)

$n_e = 10^{13} - 10^{19} \text{cm}^{-3}$ et $T_e \sim 1 - 5 \text{eV}$

Fortes densités de puissance M-GW.cm⁻³

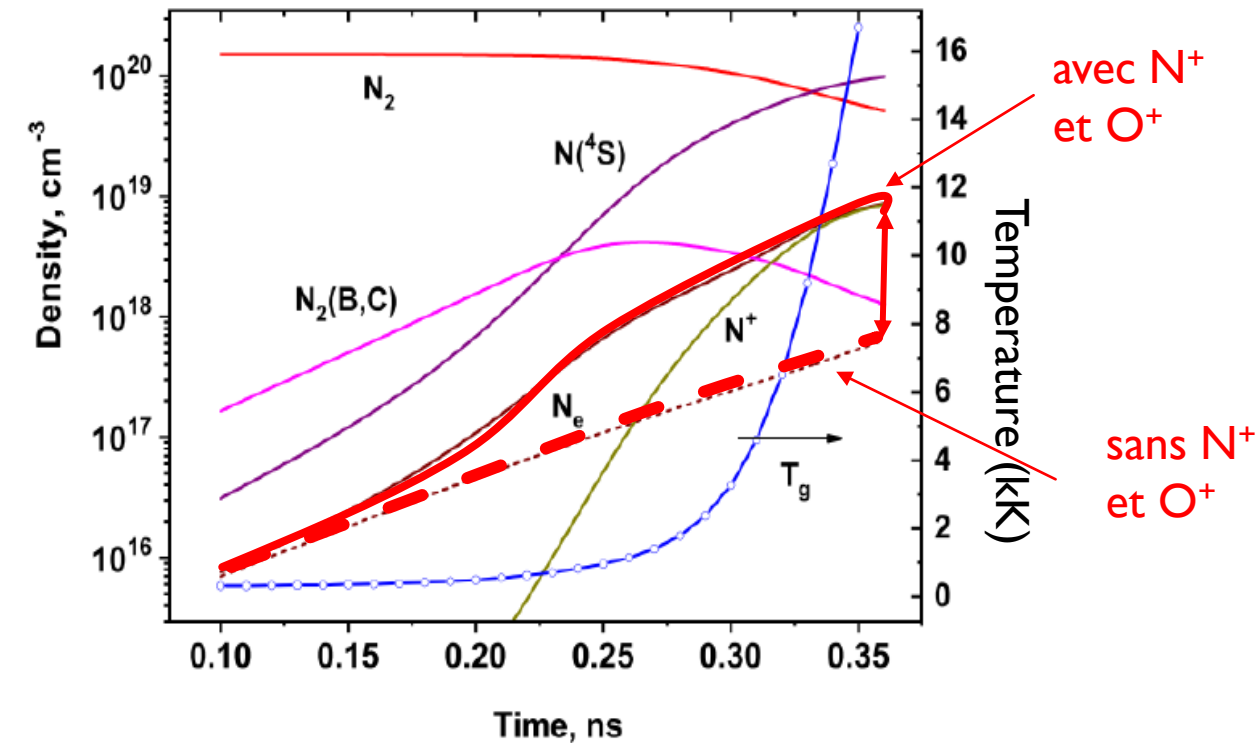
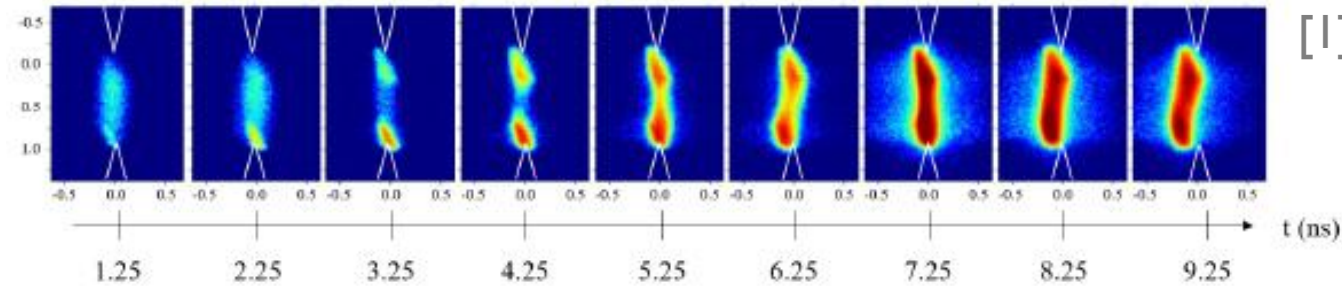
Chauffage modéré à élevé (< 1 kK à > 30 kK)

➔ Comparer NRP / THT pour mieux les comprendre

➔ Évaluer le potentiel de la THT pour la combustion
Optimisation de la production d'espèces réactives – à faible NOx

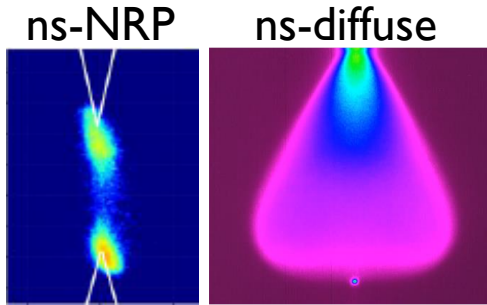
Processus de filamentation

- Forte dissociation + ionisation de N et O
- Gaz totalement ionisé ($n_e \sim 10^{19} \text{cm}^{-3}$)
- Fréquence de collision e-i très élevée
- $T_e \sim T_{\text{gaz}} > 10000 \text{K} \rightarrow$ *faible efficacité énergétique*



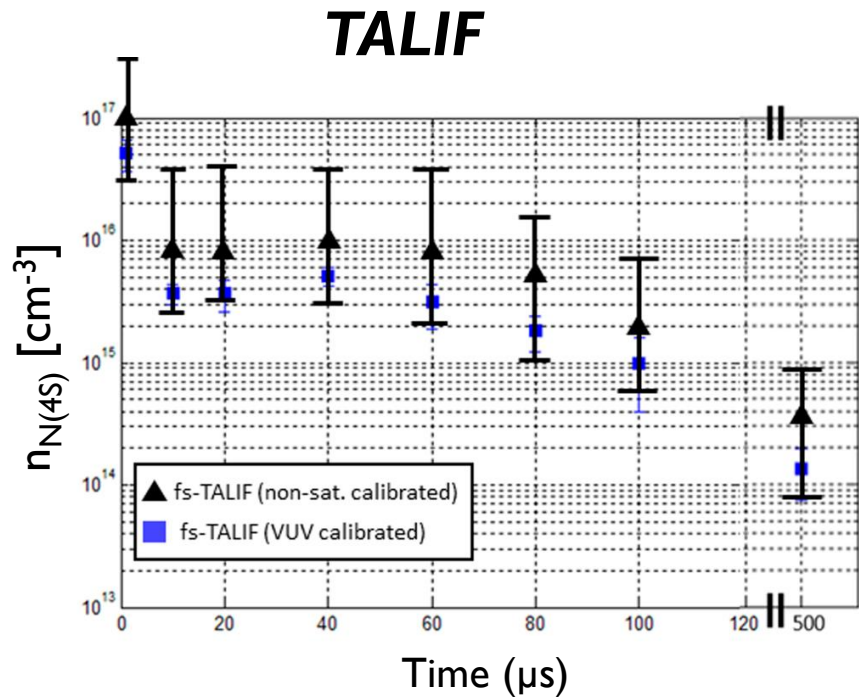
- Pourquoi le filament se forme ?
- Quel est le rôle des électrodes ?
- D'autres espèces comme N_2^* participent-elles à la filamentation ?
- Comment éviter la transition à la filamentation ?

➔ Court terme : comparer la physique les décharges NRP et THT pour comprendre la filamentation



Défi 1 : structure et évolution de $E_{x,y}$ et $n(N_2^*)$, rôle pour la filamentation
Moyens : Mesure de \vec{E} et $n(N_2^*)$ et modélisation

Défi 2 : degré de dissociation, rôle dans la filamentation et la combustion
Moyens : Mesure de la densité de O et H par TALIF, OH par LIF et modélisation



Dumitrache *et al.* PSST **31** (2022) 015004



Poursuivre le développement des modèles de décharges NRP par des mesures haute résolution

Comprendre l'extension radiale de la THT
 Mécanismes d'ionisation et de dissociation

Déterminer l'effet de la dissociation sur la filamentation

Évaluer l'efficacité de production des radicaux

Défi 3 : Comportement dans un mélange air / hydrocarbure sans combustion

Défi 4 : Avec combustion

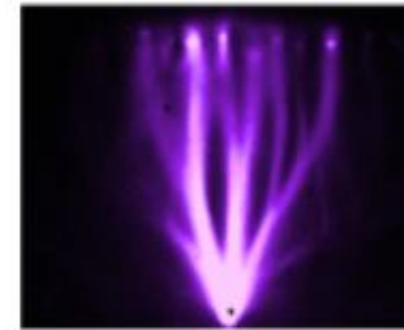
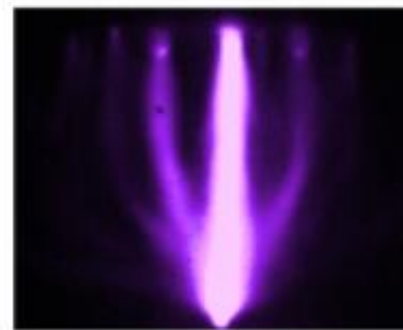
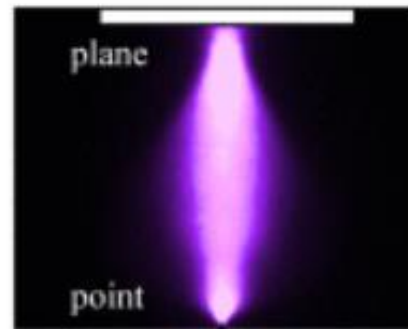
1. Stabilité (caractère diffus ?)
2. Espèces réactives ?
3. Efficacité énergétique ?
4. Production de polluants (NO_x) ?

$$\tau_{\text{rise}} = 25 \text{ kV.ns}^{-1}$$

$E = 9 \text{ mJ}$ – pure air

$E = 17 \text{ mJ}$ – 2% propane

$E = 32 \text{ mJ}$ – 6% propane



Forte absorption des UV par les hydrocarbures ?



Moyen terme : Le comportement de la décharge change avec la présence d'hydrocarbures et nécessite une étude spécifique