

Développement des microplasmas réactifs pour la synthèse des nanodiamants : mécanismes de production et optimisation du procédé

Abderzak EL FARSY

Maître de conférences (CNU62)

LSPM – CNRS
Université Sorbonne Paris Nord

28 Octobre 2025

Parcours professionnel

2024	Maître de conférences USPN (CNU62)
2024	Chercheur CDD (post-doc)
2024	Chercheur CDD (post-doc)
2023	Chercheur CDD (post-doc)
2019 2016	Doctorant contractuel



Laboratoire des Sciences des
Procédés et des Matériaux



IUT de Saint-Denis
Université Sorbonne Paris Nord



INSTITUT
PIERRE-GILLES
DE GENNES
Pour la microscopie



Chimie Paris
ParisTech



université
PARIS-SACLAY



bpifrance



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE



INSTITUT
JEAN LAMOUR



UNIVERSITÉ
SORBONNE
PARIS NORD

Parcours professionnel

Encadrements et responsabilités

Enseignement (~500 heqTD)

- TP Plasmas + cours introductifs, M1 et M2 Université de Lorraine
- TP Couches minces - Plasmas – Thermodynamique - Fabrication additive L3, M1 et M2 Université Paris-Saclay

Encadrement (10 stagiaires et 1 doctorant)

Co-encadrement : 2 stages de M1, 2 stages de M2 et un doctorant
Encadrement de 1 stage de M2 et de 3 stages de M1

Production scientifique

- 11 articles, 6 communications orales dans des congrès internationales

Responsabilités transverses

- **Représentant élu** des personnels non-permanents au CdL
- Participation à deux journées portes ouvertes à l'IJL
- Organisation de la journée du laboratoire

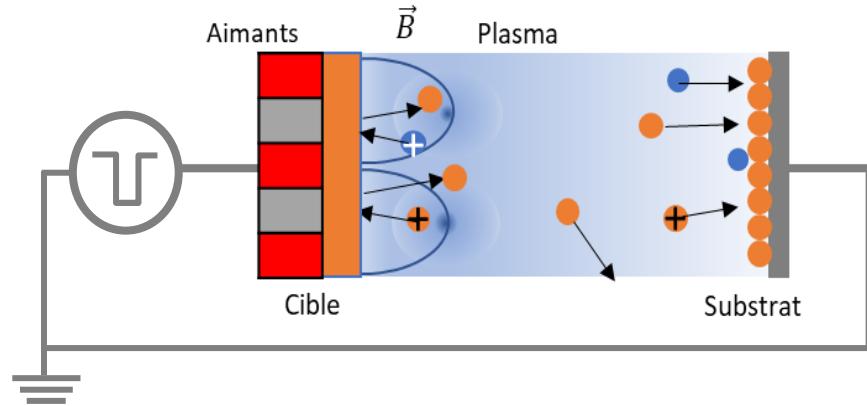
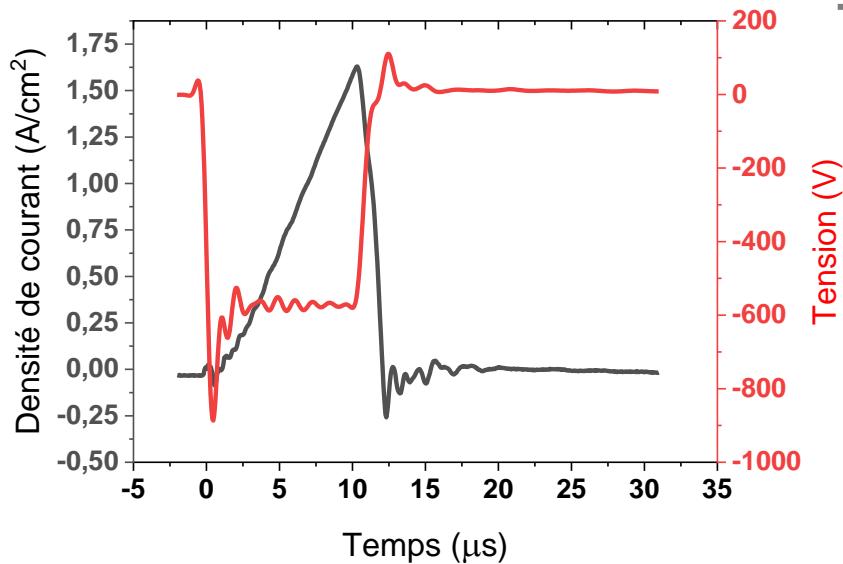
Qualification CNU

30
62
63

Doctorat à l'IJL : procédé plasma réactif HiPIMS

HiPIMS : High Power Impulse magnetron sputtering

Densité d'électrons $\sim 10^{19} \text{ m}^{-3}$
 $f \approx 1 \text{ kHz}$, $P \approx 1 \text{ kW/cm}^3$
 $p \approx 1,5 \text{ Pa}$, $B \approx 200 \text{ G}$



Questions

Quel transport a la vapeur pulvérisée neutre et ionisée ?

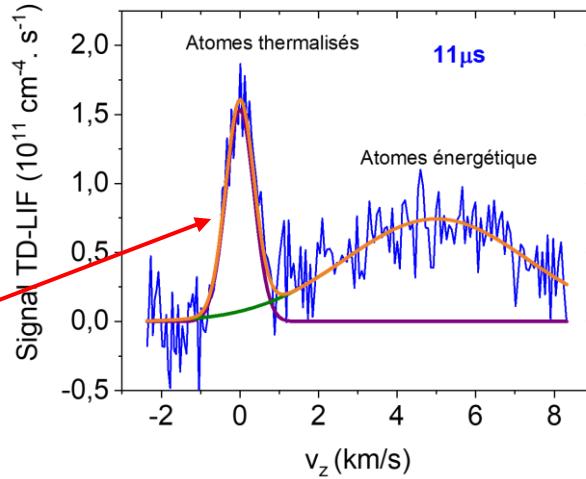
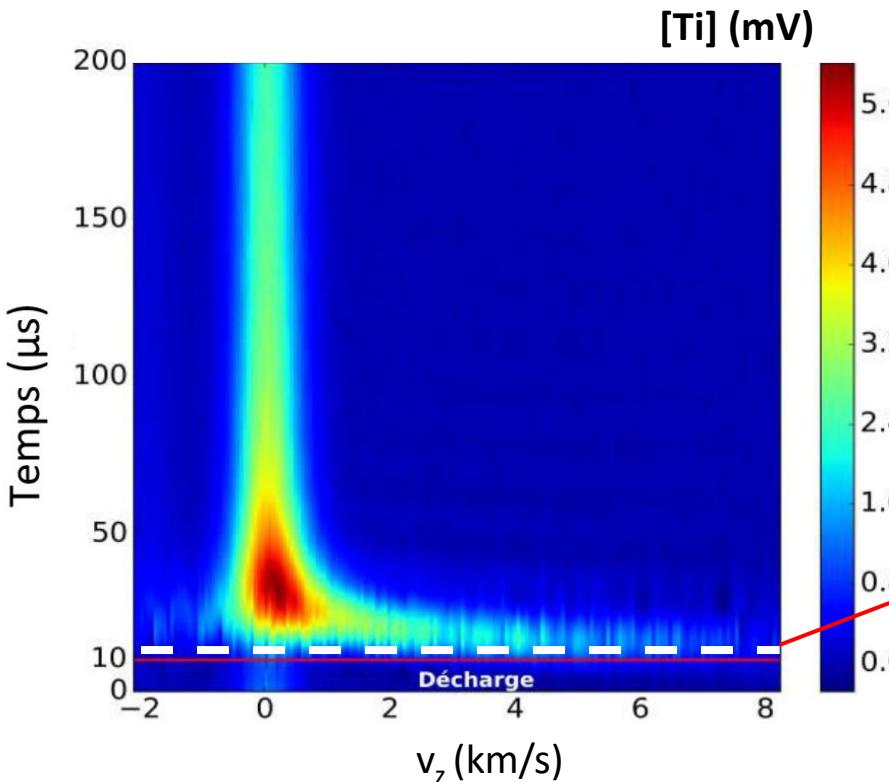
Comment la raréfaction du gaz impacte l'énergie des précurseurs de dépôt ?

Quel est l'influence de l'énergie des précurseurs sur les propriétés des films de TiN ?

Challenge : diagnostic de plasma **inhomogène** en régime **transitoire rapide**

HiPIMS: Transport de la vapeur neutre

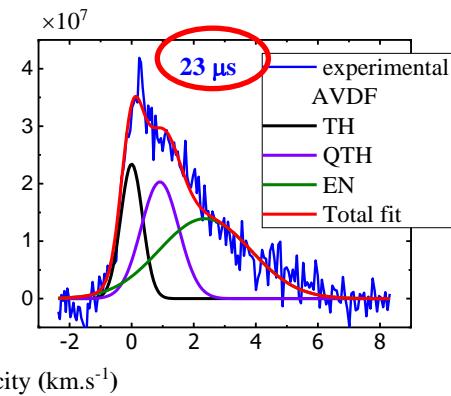
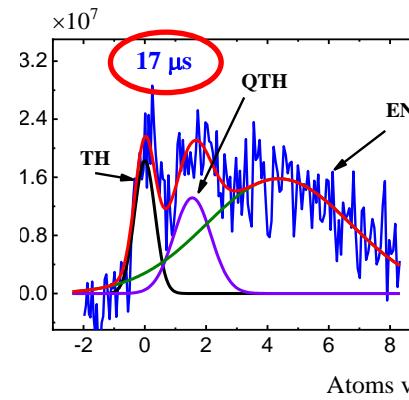
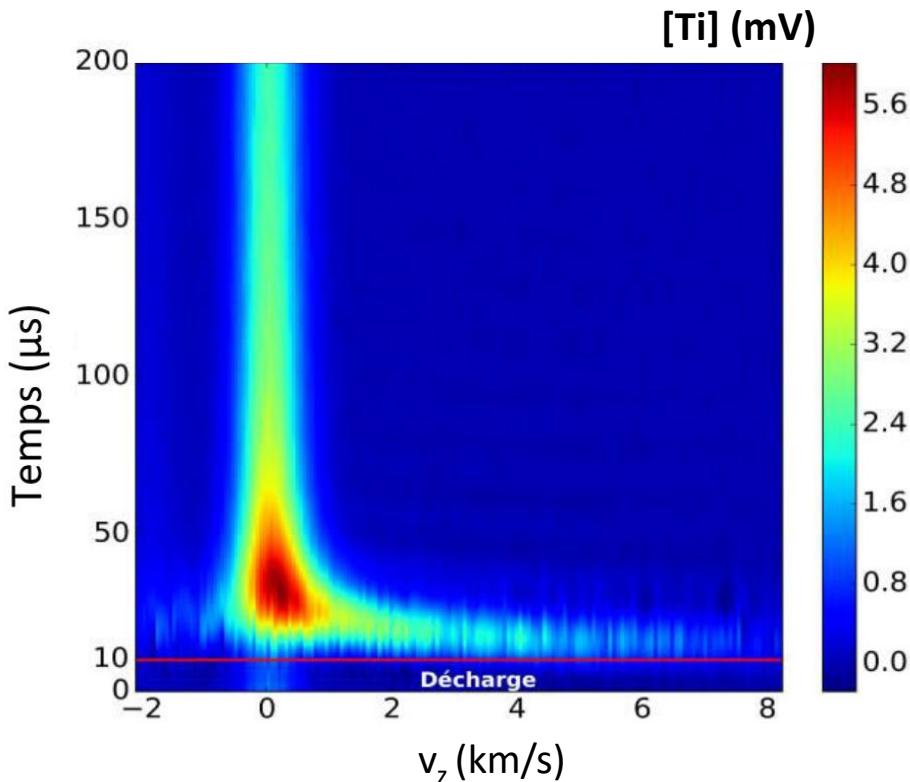
Mesure spatiotemporelle (3 mm³) de fluorescence induite par diode laser (TR-TDLIF) sur Ti neutre
(Résolutions 3mm³ × 1 μ s)



el Farsy A, et al., 2019 PSST, 28(3), 035005

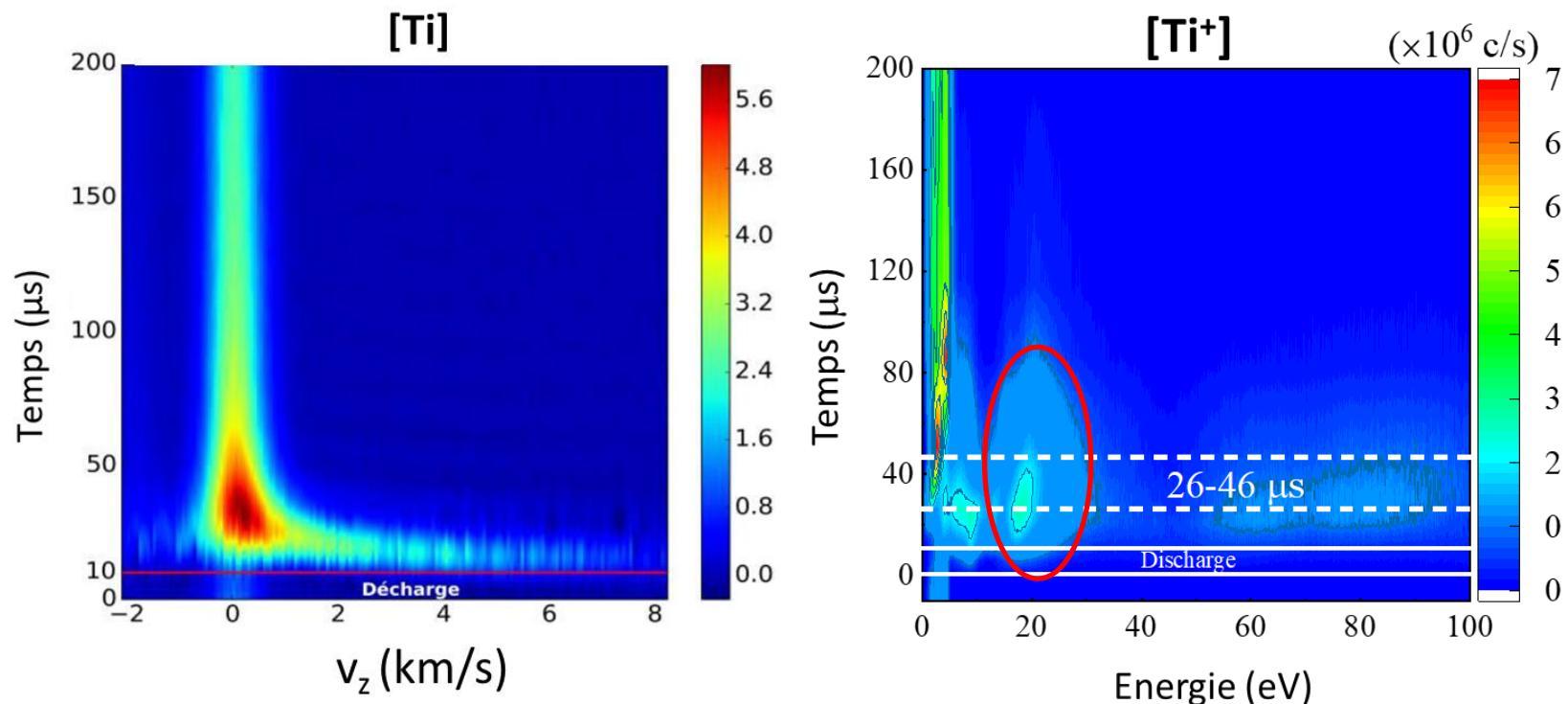
HiPIMS: Transport de la vapeur neutre

Mesure spatiotemporelle (3 mm³) de fluorescence induite par diode laser (TR-TDLIF) sur Ti neutre
(Résolutions 3mm³ × 1 μ s)



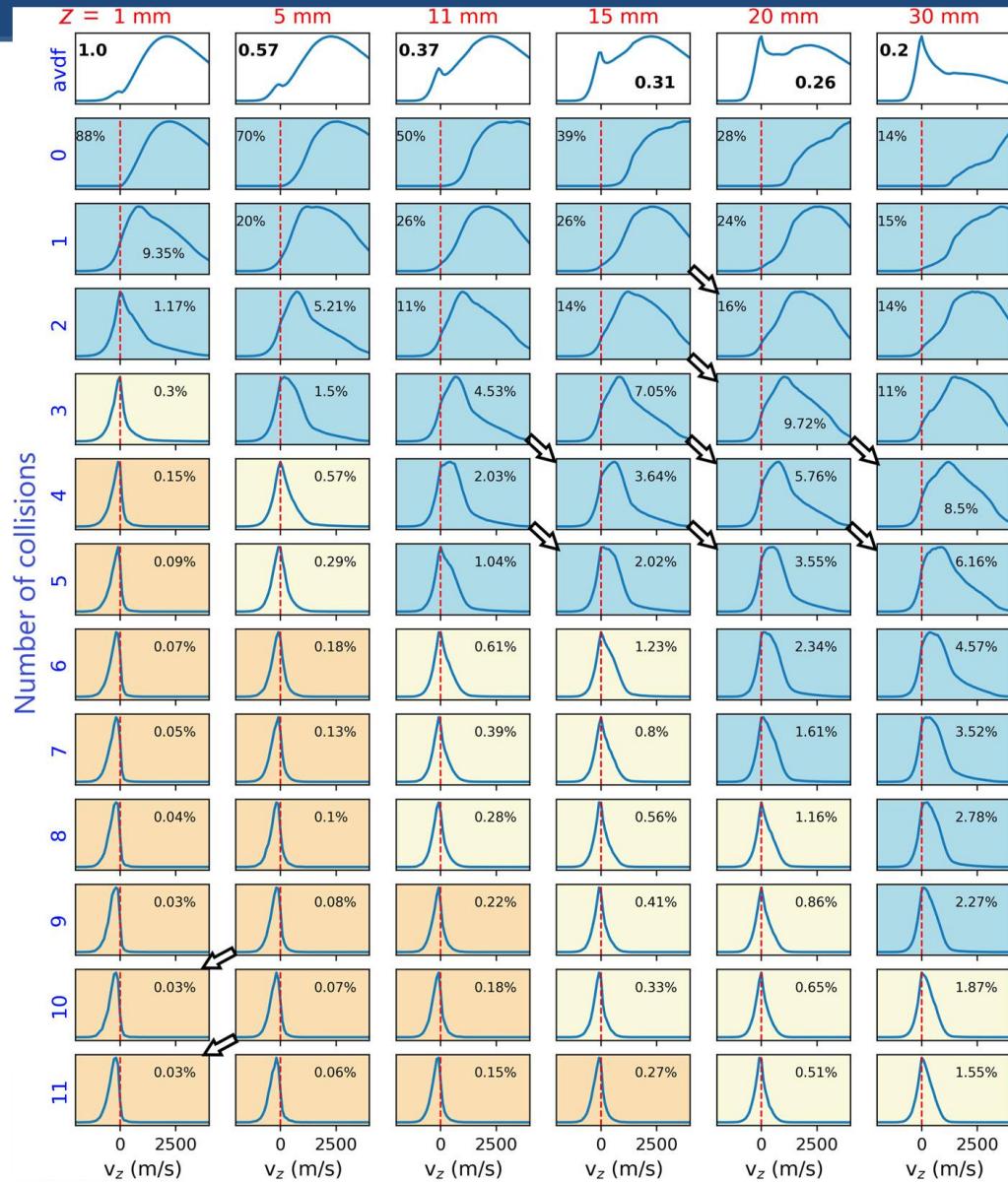
el Farsy A, et al., 2019 PSST, 28(3), 035005

HiPIMS: Transport de la vapeur ionisée



el Farsy A, et al., 2021 PSST. 30 065016

Validation de model MCC par mesure TDLIF



Section efficace de collision Ti-
Ar

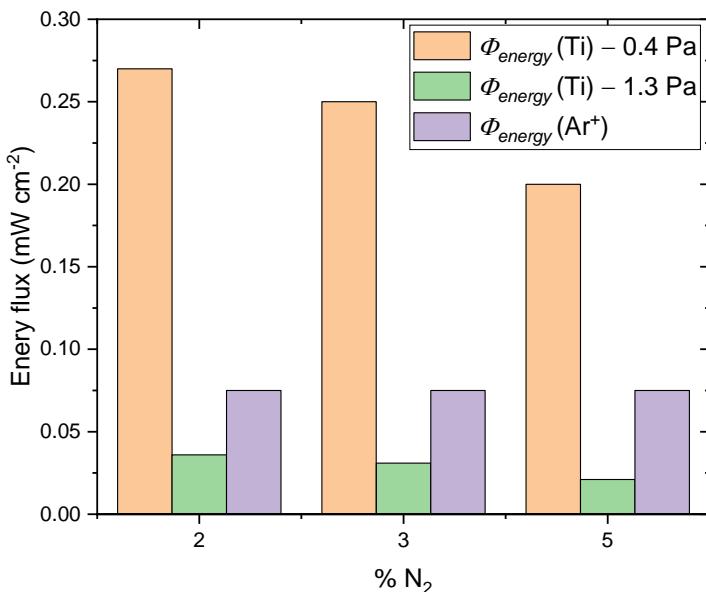
Revel A, el Farsy A, et al., 2021 PSST. 30
125005

Impact de plasma sur la croissance des couches TiN

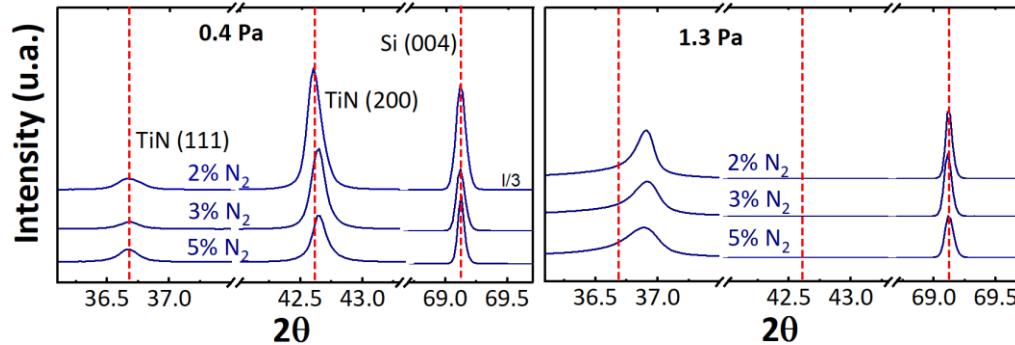
$$\Phi_{energy, Ti J=2} = \int_0^{\infty} \frac{1}{2} M v^2 v f(v) dv$$

$$\Phi_{Ti \text{ absolute}} (\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}) = \Phi_{J=2} \left\{ 1 + \frac{g_3}{g_2} \exp \left(-\frac{E_3 - E_2}{k_B T} \right) + \frac{g_4}{g_2} \exp \left(-\frac{E_4 - E_2}{k_B T} \right) \right\}$$

$$\Phi_{energy, Ar^+} (\text{mW cm}^{-2}) = \frac{1}{4} e n_i v_i V$$



No substrate bias or external heating was applied to the substrate during the film growth



A El Farsy et al J. Phys. D: Appl. Phys. **55** (2022) 505203

Plasma de vapeur métallique en FA

bpifrance

 AddUp
3D Additive Solutions

 MICHELIN

 SAFRAN

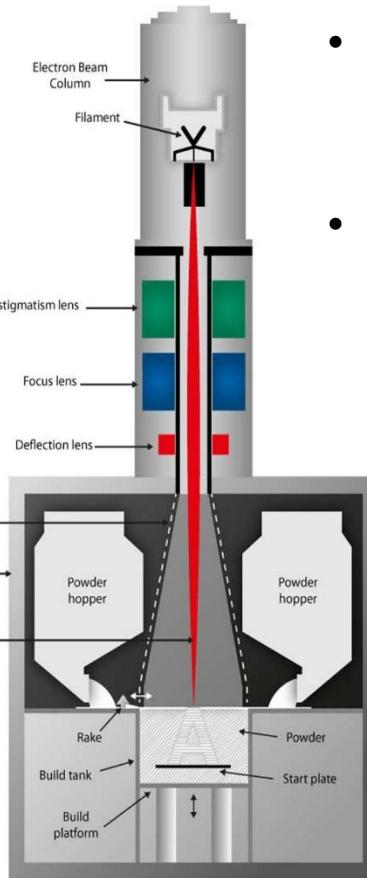
 VOLUM-e
3D Complex Production

 FusiA

 ZODIAC
AEROSPACE

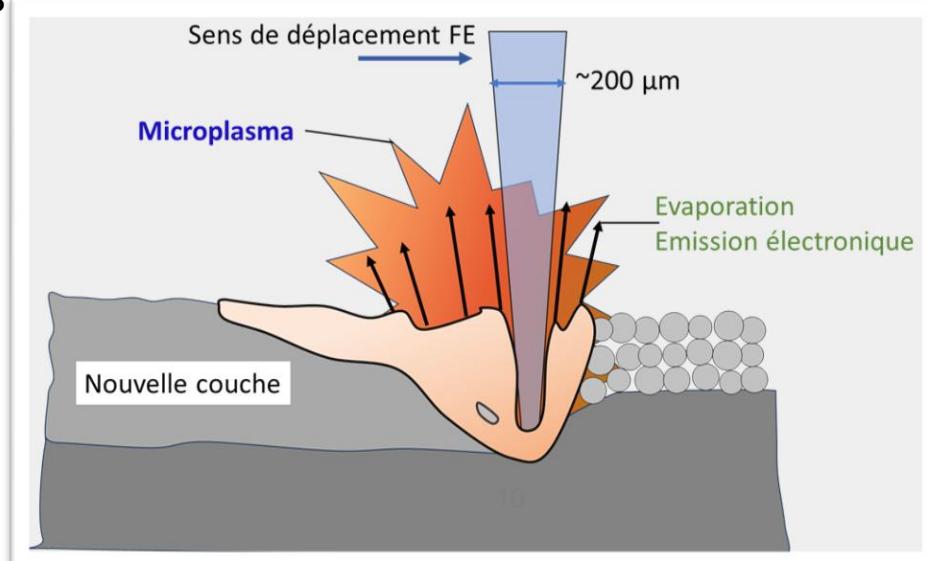
 eSi
get it right®

 ERAMET



- EB-PBF: Electron Beam – Powder Bed Fusion
- Micro-fusion par faisceau d'électrons (FE) haute énergie

Interaction microplasma / poudres métalliques



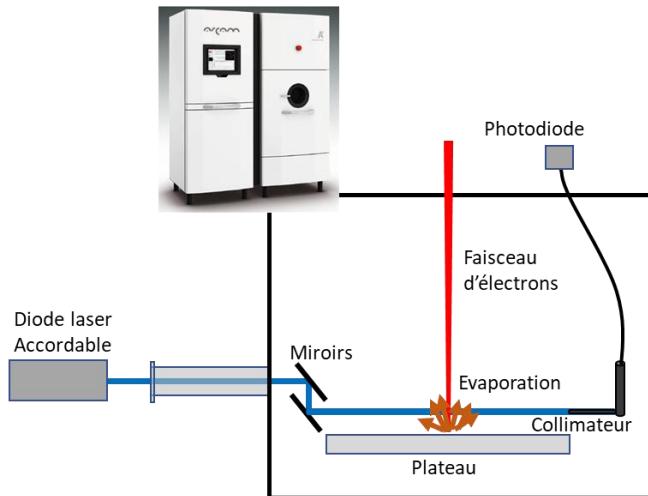
 CNRS

 LSPM

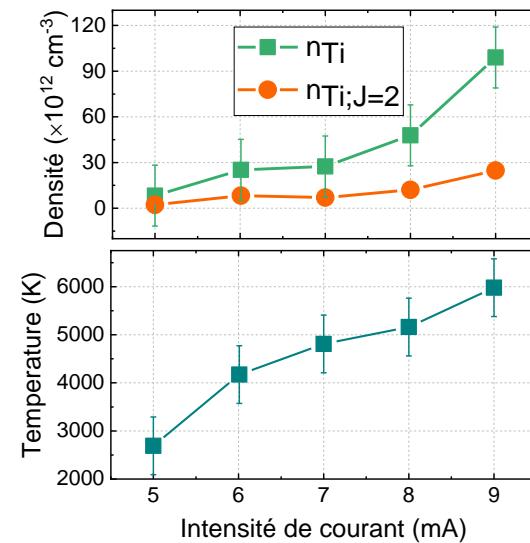
UNIVERSITÉ
SORBOUNE
PARIS NORD

Résultats sur la vapeur métallique

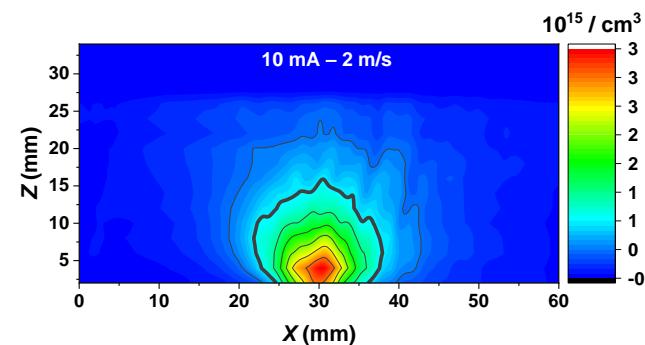
Intégration de TDLAS sur une machine industrielle



- Mesure de la pression saturante de vapeur métallique
- Plume de plasma purement métallique (~ 10 Pa)



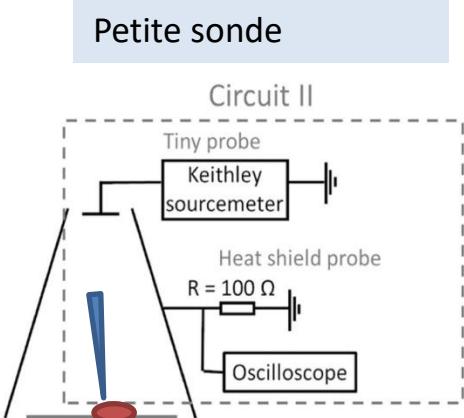
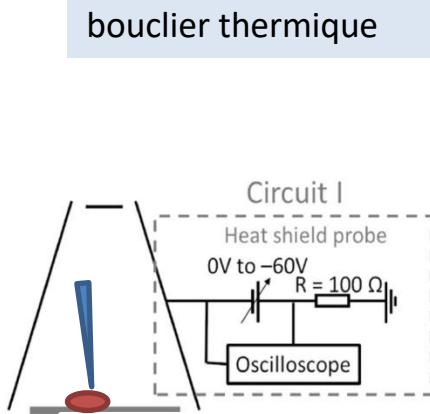
Cartographie 2D de la plume plasma



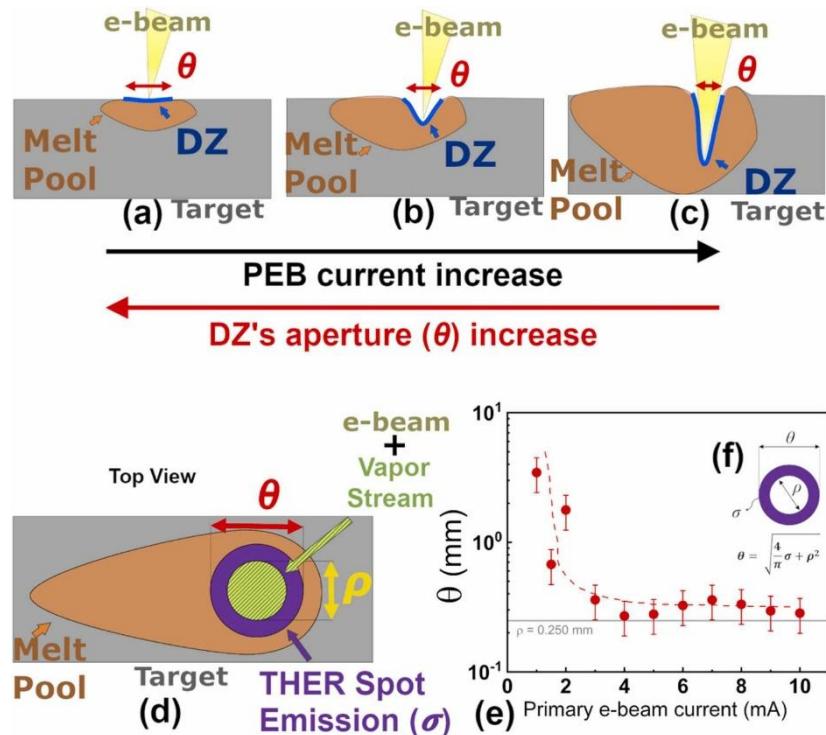
el Farsy A, et al., 2023 JAP 133, 044901

el Farsy A, et al., 2022 JAP 132 054904

Identification de régime de fusion par émission thermoïonique



La surface du bouclier thermique est 1000 fois celle de la petite sonde



Antunes, et al 2024. Additive Manufacturing 103957.

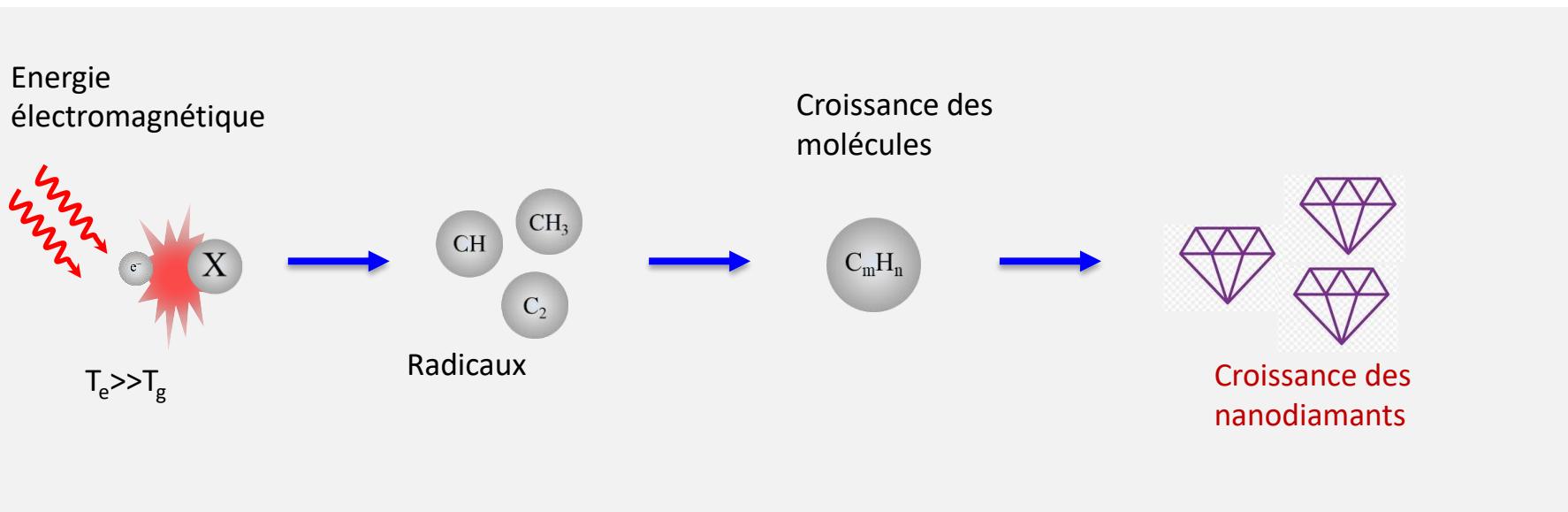
Projet de recherche au LSPM : Microplasmas d'hydrocarbure

Développement des sources plasma pour production des nanodiamants

Nanodiamants: applications biomédical, électronique et quantique

Microplasmas: une dimension < 1 mm

Thématique de recherche de l'équipe IPS-μP

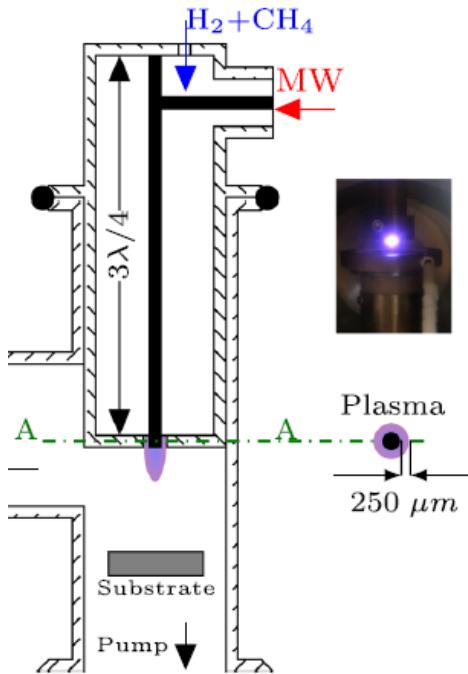


X= H₂, Ar, He, CH₄, C₂H₂, éthanol, méthanol, etc.

Projet de recherche au LSPM : Microplasmas d'hydrocarbure

Développement des sources plasma pour production des nanodiamants Nanodiamants: applications biomédical, électronique et quantique

Torche microplasma micro-onde

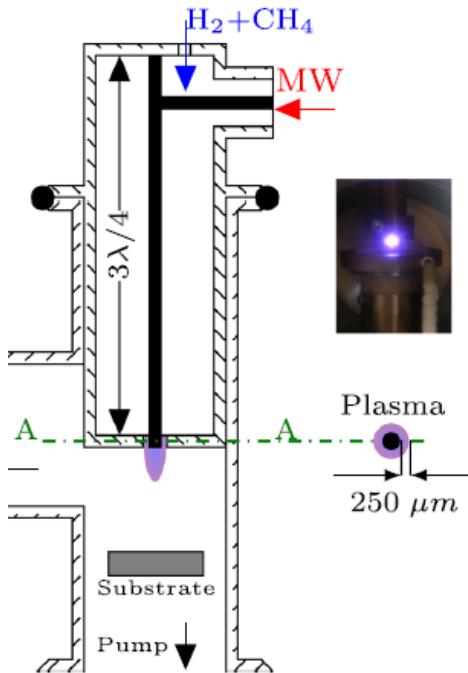


- Haute densité de puissance (jusqu'à 100 kW/cm^3)
- Forte dissociation de CH_4

Projet de recherche au LSPM : Microplasmas d'hydrocarbure

Développement des sources plasma pour production des nanodiamants Nanodiamants: applications biomédical, électronique et quantique

Torche microplasma micro-onde



- Haute densité de puissance (jusqu'à 100 kW/cm^3)
- Forte dissociation de CH_4

Croissance de diamants en phase gazeuse

Possibilité :

- contrôler la taille
- doper par l'azote

Défis et objectifs du projet

Défis principaux

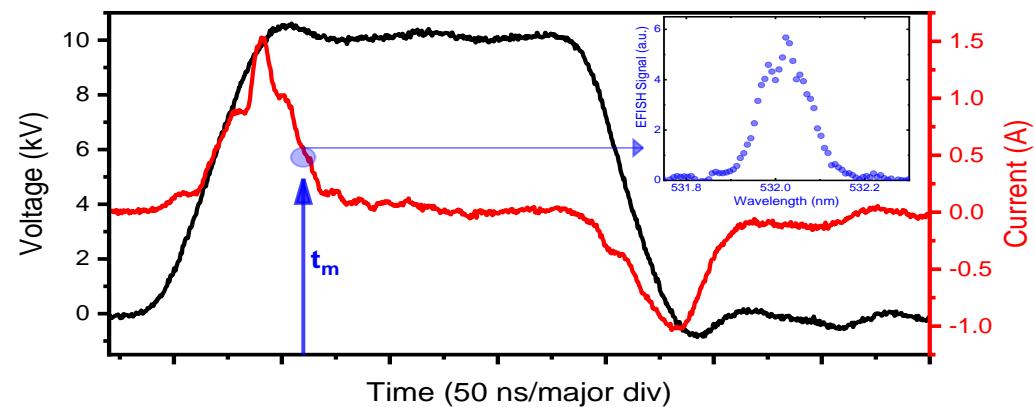
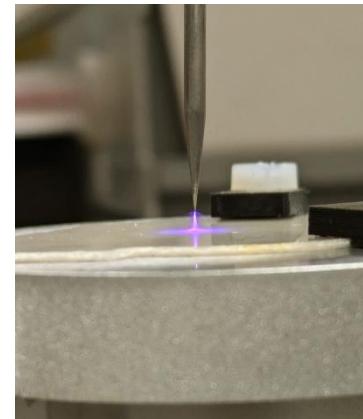
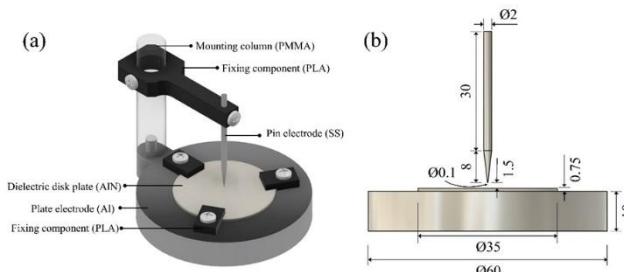
- Interaction complexe entre électrons, ions, radicaux, molécules et nanoparticules
- Croissance de nanodiamants dépendante de la nature des précurseurs hydrocarbures

Solution – Objectifs du projet

- ✓ Développer le procédé :
 - Gamme de pression de 1 mbar – 1 bar,
 - Stratégies d'injection des précurseurs (gaz et liquide)
 - Source d'excitation : DC, MO, RF, DC pulsé
- ✓ Caractériser les espèces réactives / déterminer les propriétés thermodynamiques correspondante
 - Diffusion Thomson incohérente : eedf, n_e , T_e
 - Spectroscopie laser par diode laser (TDLIF, TDLAS), TALIF: densité de Ar^{met} , He^{met} , H, etc.
 - Spectroscopie d'émission optique (OES) : T_g , n_e , etc.
 - Diffusion de lumière

Soutien ARPEGE

GDR Groupement
de recherche
EMILI Étude des milieux ionisés
Plasmas froids créés par décharge
et laser



Merci pour votre attention

LSPM – CNRS
Université Sorbonne Paris Nord

