



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

Journées 2025 du GDR EMILI

27 au 30 octobre 2025

Université Jean Monnet, Saint-Etienne

Site web des journées :

<https://emili2025.sciencesconf.org>



Site web du GDR :

<https://gdr-emili.cnrs.fr/>

Crédit image : Cédric Noel _ IJL

Edito

Cette année 2025 est particulière pour le [GDR EMILI](#) qui arrive au terme de ses 5 années d'existence, durée réglementaire pour les groupements de recherche du CNRS. Créé en 2021, son objectif était de contribuer à la structuration de la communauté française des plasmas/lasers. Il semblait important de promouvoir la physique des plasmas en la replaçant au centre de l'enjeu scientifique dans une communauté caractérisée par un fort éparpillement thématique, conséquence de la grande variété d'applications mettant en jeu un plasma, ainsi que d'une tendance des modes de financement à favoriser l'usage du plasma en tant qu'outil au détriment de son étude. Durant cette période, le GDR a permis aux acteurs concernés, chercheurs, ingénieurs, doctorants et post-doctorants, soit près de 350 personnes de 40 laboratoires différents, de se retrouver régulièrement pour échanger sur les aspects fondamentaux de ces milieux complexes. Nous espérons qu'au travers de ses actions, le GDR a permis à certains d'entre vous de trouver des solutions à des questionnements scientifiques, de créer de nouvelles collaborations, d'initier de nouveaux projets ou de faire émerger de nouvelles idées. Ce rôle d'animation nécessite de se projeter sur des temps longs et c'est pour cela que nous avons demandé au CNRS le renouvellement du GDR pour une nouvelle période de 5 ans, s'étendant de 2026 à 2030. A l'heure où nous écrivons ces lignes, nous n'avons pas encore le retour définitif du CNRS mais nous espérons vivement qu'il soit positif. Après avoir été créé en tant que GDR de l'INSIS rattaché à la section 10, nous pourrions ainsi repartir pour 5 ans au sein de CNRS Ingénierie et rattaché à la section 12 !

L'action phare du GDR est bien entendu la tenue des Journées bisannuelles, qui ont pour ambition d'être un moment de rencontre incontournable pour la communauté française des plasmas froids et laser. Après [les premières Journées](#) organisées en 2021 à Palaiseau par le LPP et le LPICM, [les deuxièmes Journées](#) en 2023 à Nancy organisées par l'IJL, c'est à Saint-Etienne que se déroule cette [troisième édition](#). Co-organisées par le LabHC et l'ILM, nous espérons qu'elles répondront à vos attentes en vous proposant un moment d'échanges prolifiques facilitant les interactions entre les participants. Ainsi, une soixantaine de participants se retrouveront autour de 28 oraux et 11 posters pour dresser un panorama des recherches actuelles dans les laboratoires français. Ces Journées seront également un lieu permettant aux jeunes chercheurs, futur de la communauté, de présenter leurs recherches et de rencontrer la communauté. Les exposés et les posters les plus convaincants des doctorants et post-doctorants seront récompensés par des prix. Les nouveaux entrants au CNRS ou dans une université auront aussi l'opportunité de présenter oralement leur parcours et leur projet de recherche. Enfin, des ateliers interactifs, sur des problématiques scientifiques ou sur l'environnement de la recherche, permettront d'échanger sur des sujets précis et sur l'évolution de nos métiers.

Les différents formats d'interventions permettront de dresser un état de l'art, d'identifier les défis qu'il reste à relever, et de présenter des sujets d'actualités ou émergents. Afin de proposer un événement complémentaire aux conférences traditionnelles, les participants sont encouragés à présenter des résultats inexpliqués, surprenants, contradictoires, des problèmes rencontrés dans l'utilisation de diagnostics ou de modèles numériques. L'objectif est de susciter des interrogations, de trouver des solutions auprès des autres participants ou de présenter des problèmes susceptibles d'être partagés par d'autres.

Nous remercions le LabHC et l'ILM, organisateurs locaux de l'évènement, qui ont œuvré pour que tout se déroule pour le mieux, nos tutelles pour leur soutien financier, et les nombreux sponsors qui nous ont une fois de plus accordé leur confiance. Nous tenons également à remercier l'Université Jean Monnet pour l'accès au bâtiment des Forges.

Ce recueil de résumés permet de faire un point d'étape des recherches actuellement menées dans les laboratoires de la communauté. Nous vous en souhaitons une bonne lecture.

Le comité de pilotage du GDR EMILI

Comité de pilotage du GDR / Comité de programme

David AMANS	ILM	Villeurbanne
Stéphane BECHU	LPSC	Grenoble
Bruno BOUSQUET	CELIA	Talence
Arnaud BULTEL	CORIA	St Etienne du Rouvray
Gilles CARTRY	PIIM	Marseille
Xavier DUTEN	LSPM	Villetaneuse
Rim ETTOURI	IMN	Nantes
Gwénaél FUBIANI	LAPLACE	Toulouse
Laurent GARRIGUES	LAPLACE	Toulouse
Jörg HERMANN	LP3	Marseille
Tatiana ITINA	LabHC	Saint-Etienne
Grégory MARCOS	IJL	Nancy
Armelle MICHAU	LSPM	Villetaneuse
Maxime MIKIKIAN	GREMI	Orléans
Vincent RAT	IRCER	Limoges
Pierre TARDIVEAU	LPGP	Orsay
Corinne DELHAYE (Gestion du GDR)	GREMI	Orléans

Comité local d'organisation

Tatiana ITINA



David AMANS

Stéphane CRIEDLICH

Ciro D'AMICO

Assia MADJID

Véronique REVEILLE

Patrick VINCENT





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

Sponsors





Lundi 27 octobre		Mardi 28 octobre		Mercredi 29 octobre		Jeudi 30 octobre	
		08:45	Grand Prix 1 Jean-Paul Booth LPP, Palaiseau	08:45	Grand Prix 2 Eric Robert GREMI, Orléans	08:45	Revue 4 Andrei Kabashin LP3, Marseille
		09:30	Oraux Jeunes Baptiste Disson GREMI, Orléans	09:30	Entrants Truong Son Nguyen IJL, Nancy	09:30	Revue 5 Gilles Cartry PIIM, Marseille
		09:45	Arthur Hellé IJL, Nancy	09:45	Aurélien Favre CORIA, St Etienne du Rouvray		
		10:00	Retour ARPEGE Simon Dap LAPLACE, Toulouse	10:00	Retour IRENE Laurent Garrigues LAPLACE, Toulouse	10:00	Retours ateliers Journées
		10:15	Pause café	10:15	Pause café	10:15	Pause café
		10:45	Ateliers Startups Moyens de Calcul Diagnostic lasers	10:45	Ateliers Couplage énergie Recrutement Chimie plasma	10:45	Retours ateliers Journées
						11:15	Table ronde
						12:10	Clôture
12:30	Accueil	12:30	Déjeuner	12:30	Déjeuner	12:30	Déjeuner
14:00	Ouverture	14:00	Revue 2 Nicolas Naudé LAPLACE, Toulouse	14:00	Revue 3 Agnès Granier IMN, Nantes	14:00	
14:20	Revue 1 Nicolas Plihon LabPhys, Lyon	14:45	Sujets d'actu Sébastien Célestin LPC2E, Orléans	14:45	Sujets d'actu Quentin Delavière--Delion ONERA, Palaiseau		
15:05	Sujets d'actu Martin Kogelschatz LTM, Grenoble	15:05	Entrants Abderzak El-Farsy LSPM, Villetaneuse	15:05	Aurélien Houard LOA, Palaiseau		
15:25	Kremena Makasheva LAPLACE, Toulouse	15:20	Pol Sopeña LP3, Marseille	15:25	Session Posters		
15:45	Entrants Anton Rudenko LabHC, Saint-Etienne	15:35	Session industriels				
16:00	Laurent Invernizzi LSPM, Villetaneuse	16:15	Pause café	16:25	Pause Café		
16:15	Pause café	16:45	Session Posters	16:55	Visite		
16:45	Oraux Jeunes Ghina Saab USJ, Beyrouth						
17:00	Andrei Pastukhov LP3, Marseille						
17:15	Retour Atelier Gaine						
17:30							
18:00	Cocktail	18:30		18:30			
20:30				19:30-23:00	Banquet		



Lundi 27 octobre

12:30	Accueil	
14:00	Ouverture	
14:20	Revue	
14:20	Contrôle du potentiel plasma et contrôle de la rotation des colonnes de plasma magnétisées basse pression	Nicolas Plihon LabPhys, Lyon
15:05	Sujets d'actu	
15:05	Spectroscopie d'absorption UV pour étudier le rôle des radicaux CF pendant la gravure cryogénique du Si dans des plasmas CF4	Martin Kogelschatz LTM, Grenoble
15:25	Procédés plasmas multi-échelle : quelles stratégies pour le dépôt de couches minces nanocomposites ?	Kremena Makasheva LAPLACE, Toulouse
15:45	Oraux Entrants	
15:45	Photo-induced plasma confinement in ultrashort laser-excited nanostructures	Anton Rudenko LabHC, Saint-Etienne
16:00	Parcours d'un IR : de la thèse sur les plasmas froids aux diagnostics laser avancés	Laurent Invernizzi LSPM, Villetaneuse
16:15	Pause café	
16:45	Oraux Jeunes	
16:45	Modeling Plasma–Dust Interactions in Argon CCRF Discharges	Ghina Saab USJ, Beyrouth
17:00	Alternative plasmonic nanomaterials based on transition metal nitrides: laser-ablative fabrication and appealing prospects for biophotonic applications	Andrei Pastukhov LP3, Marseille
17:15	Retour Ateliers	
17:15	Retour sur l'atelier Gaines - Marseille, Novembre 2024	Maxime Mikikian GREMI, Orléans
17:30	Fin de la journée	
18:00	Cocktail de bienvenue	

Mardi 28 octobre

08:45	Grand Prix	
08:45	Improving our understanding of plasma-surface interactions through in-situ measurements	Jean-Paul Booth LPP, Palaiseau
09:30	Oraux Jeunes	
09:30	Claquage aux distances sub-micrométrique : si Paschen avait su	Baptiste Disson GREMI, Orléans
09:45	Diagnostic de plasmas d'arc en courant continu en conditions aéronautiques : application à la détection	Arthur Hellé IJL, Nancy
10:00	Retour ARPEGE	
10:00	Mesures d'absorption IR et CRDS dans des DBD en CO2 en régime de Townsend	Simon Dap LAPLACE, Toulouse
10:15	Pause café	
10:45	Ateliers en //	
	Startups	Xavier Duten (LSPM, Villetaneuse), David Amans (ILM, Lyon), Christian Roux (CNRS Rhône Auvergne), Karim Ouaras (LPICM, Palaiseau), François Lux (ILM, Lyon)
	Moyens de calcul	Rim Ettouri (IMN, Nantes), Laurent Garrigues (LAPLACE, Toulouse), Guillaume Lechante (GENCI, Paris), Juan Jose Silva Cuevas (IDRIS, Orsay)
	Diagnostics optiques des plasmas	Grégory Marcos (IJL, Nancy), Maxime Mikikian (GREMI, Orléans), Cédric Noël (IJL, Nancy), Laurent Invernizzi (LSPM, Villetaneuse), Gabi Stancu (EM2C, Gif-sur-Yvette)
12:30	Déjeuner	
14:00	Revue	
14:00	Décharges à Barrières Diélectriques : plus d'un siècle d'histoire et toujours de nouvelles perspectives ...	Nicolas Naudé LAPLACE, Toulouse
14:45	Sujets d'actu	
14:45	Des fantômes verts dans les farfadets ?	Sébastien Célestin LPC2E, Orléans
15:05	Oraux Entrants	
15:05	Développement des microplasmas réactifs pour la synthèse des nanoparticules dans la phase gazeuse : mécanismes de production et optimisation du procédé	Abderzak El-Farsy LSPM, Villetaneuse
15:20	Modification de matériaux semi-transparents par lasers à impulsions ultra-brèves	Pol Sopeña LP3, Marseille
15:35	Session Industriels	
15:35	Présentation de l'entreprise et de ses produits	Laser Components Neyco Opton Laser
16:15	Pause café	
16:45	Session Posters	
	Atomistic investigation of the oxidation and laser synthesis of nickel nanoparticles - Abderrazak Toulil (LabHC) Characterization of Nanoparticle Growth and Plasma Chemistry in Methane/Argon Capacitively Coupled RF Plasma - Abdel-Rahman Daher (GREMI) Characterization of the liquid surface deformation resulting from a pin-water discharge using free-surface synthetic Schlieren - Fredric Dyson (Pprime) Guide d'onde plasma généré par filamentation laser dans l'air - Nicolas Cantonnet-Paloque (LOA) Graine de farfanet (sprite): le streamer à deux têtes s'invite au labo - Baptiste Disson (GREMI) Meter-scale streamer discharges assisted by femtosecond laser filamentation - Thomas Clark (LOA) Première caractérisation d'un propulseur ECRA alimenté à l'iode - Quentin Delavière--Delion (ONERA) Study of filamentation phenomenon in an atmospheric pressure microwave plasma jet - Brice Jordan Ganleu Monte (IRCER) Transition H-W déclenchée par injection de courant électronique - Vassili Desages (LabPhys) Achieving diffuse propagation of cathode-directed surface ionization waves at atmospheric pressure, over liquid water - Alexandra Brisset (EM2C) Étude de l'effet de vent ionique généré entre deux plaques dans l'air à pression atmosphérique par vélocimétrie par images de particules - Thomas Orrière (Pprime)	
	Fin de la journée	



Mercredi 29 octobre

08:45	Grand Prix	
08:45	Physique des plasmas et alimentations impulsionnelles : un couple clef pour aborder les aspects fondamentaux et développer des applications innovantes	Eric Robert GREMI, Orléans
09:30	Oraux Entrants	
09:30	Plasma-liquid interaction for water activation and decontamination	Truong Son Nguyen UL, Nancy
09:45	Les plasmas induits par laser pour la quantification d'éléments légers en rétention dans les métaux – applications nucléaires	Aurélien Favre CORIA, St-Etienne du Rouvray
10:00	Retour IRENE	
10:00	Avancées du projet IRENE	Laurent Garrigues LAPLACE, Toulouse
10:15	Pause café	
10:45	Ateliers en //	
	Couplage d'énergie	Xavier Duten (LSPM), Fabrice Bouterige (isi électronique)
	Chimie des plasmas	Armelle Michau (LSPM), Maxime Mikikian (GREMI), Arnaud Bultel (CORIA), Chirstophe Cardinaud (IMN), Arlette Vega (LSPM)
	Recrutements sur des postes académiques	Tatiana Itina (LabHC), Rim Ettouri (IMN)
12:30	Déjeuner	
14:00	Revue	
14:00	Diagnostics in situ d'un procédé plasma de dépôt de couches minces nanocomposites par injection d'une solution colloïdale dans un plasma basse pression	Agnès Granier IMN, Nantes
14:45	Sujets d'actu	
14:45	Évolution temporelle des fonctions de distribution des ions sous l'action des instabilités du plasma : application au propulseur de Hall	Quentin Delavière-Delion ONERA, Palaiseau
15:05	Plasmas produits par filamentation laser dans l'air : dernières avancées et nouveaux challenges	Aurélien Houard LOA, Palaiseau
15:25	Session Posters	
15:25	Voir session du mardi	
16:25	Pause café	
16:55	Visite LABHC	
18:30	Fin de la journée	
19:30-23:00	Banquet	

Jeudi 30 octobre

08:45	Revue	
08:45	Novel advanced laser-synthesized nanomaterials for healthcare and energy: design, fabrication and applications	Andrei Kabashin LP3, Marseille
09:30	Revue	
09:30	Diagnostic de l'état de surface par photoémission in situ: quel intérêt pour l'étude des interactions plasmas surface ?	Gilles Cartry PIIM, Marseille
10:00	Retour Ateliers	
10:00	Bref retour sur les ateliers en //	
10:15	Pause café	
10:45	Retour Ateliers	
10:45	Bref retour sur les ateliers en //	
11:15	Table ronde	
12:10	Clôture	
12:30	Déjeuner	
14:00	Fin de la journée	

Table des matières

Grands prix	13
Atom recombination on surfaces in plasmas - an experimental study, Booth Jean-Paul	15
Physique des plasmas et alimentations impulsives : un couple clef pour aborder les aspects fondamentaux et développer des applications innovantes, Robert Eric [et al.]	16
Exposés de revue	17
Contrôle du potentiel plasma et contrôle de la rotation des colonnes de plasma magnétisées basse pression., Plihon Nicolas	19
Décharges à Barrières Diélectriques : plus d'un siècle d'histoire et toujours de nouvelles perspectives ..., Belinger Antoine [et al.]	20
Diagnostics in situ d'un procédé plasma de dépôt de couches minces nanocomposites par injection d'une solution colloïdale dans un plasma basse pression, Granier Agnès [et al.]	21
Novel advanced laser-synthesized nanomaterials for healthcare and energy: design, fabrication and applications, Kabashin Andrei	22
Production d'ions négatifs d'hydrogène en surface dans des plasmas à basse pression, Cartry Gilles [et al.]	23
Sujets d'actualité	25
UV absorption spectroscopy to study the role of CF radicals during cryogenic etching of Si in CF4 plasmas, Kogelschatz Martin	27
Procédés plasmas multi-échelle : quelles stratégies pour le dépôt de couches minces nanocomposites ?, Makasheva Kremena [et al.]	28
Mesures d'absorption IR et CRDS dans des DBD en CO2 en régime de Townsend, Dap Simon [et al.]	29
Des fantômes verts dans les farfadets ?, Celestin Sebastien	30
Évolution temporelle des fonctions de distribution des ions sous l'action des instabilités du plasma : application au propulseur de Hall, Delavière-Delion Quentin	31
Plasmas produits par filamentation laser dans l'air : dernières avancées et nouveaux challenges, Houard Aurélien	32
Oraux - Entrants	33
Photo-induced plasma confinement in ultrashort laser-excited nanostructures, Rudenko Anton	35
Parcours d'un IR : de la thèse sur les plasmas froids aux diagnostics laser avancés, Invernizzi Laurent	36

Développement des microplasmas réactifs pour la synthèse des nanoparticules dans la phase gazeuse : mécanismes de production et optimisation du procédé, El Farsy Abderzak	37
Modification de matériaux semi-transparents par lasers à impulsions ultra-brèves, Sopena Pol	38
Plasma – liquid interaction for water activation and decontamination, Nguyen Truong Son	39
Les plasmas induits par laser pour la quantification d'éléments légers en rétention dans les métaux – applications nucléaires, Favre Aurélien [et al.]	40
Oraux - Jeunes	41
Modeling Plasma–Dust Interactions in Argon CCRF Discharges, Saab Ghina . . .	43
Alternative plasmonic nanomaterials based on transition metal nitrides: laser-ablative fabrication and appealing prospects for biophotonic applications, Pastukhov Andrei [et al.]	44
Claquage aux distances sub-micrométrique : si Paschen avait su, Disson Baptiste [et al.]	45
Diagnostic de plasmas d'arc en courant continu en conditions aéronautiques : application à la détection, Hellé Arthur [et al.]	46
Posters	47
Atomistic investigation of the oxidation and laser synthesis of nickel nanoparticles, Toulil Abderrazak [et al.]	49
Characterization of Nanoparticle Growth and Plasma Chemistry in Methane/Argon Capacitively Coupled RF Plasma, Daher Abdel Rahman [et al.]	50
Characterization of the liquid surface deformation resulting from a pin-water discharge using free-surface synthetic Schlieren, Dyson Fredric [et al.]	51
Guide d'onde plasma généré par filamentation laser dans l'air, Cantonnet-Paloque Nicolas	52
Graine de farfanet (sprite): le streamer à deux têtes s'invite au labo, Disson Baptiste [et al.]	53
Meter-scale streamer discharges assisted by femtosecond laser filamentation, Clark Thomas	54
Première caractérisation d'un propulseur ECRA alimenté à l'iode, Delavière-Delion Quentin [et al.]	55
Study of filamentation phenomenon in an atmospheric pressure microwave plasma jet., Ganleu Monte Brice Jordan [et al.]	56
Transition H-W déclenchée par injection de courant électronique, Desages Vassili [et al.]	57
Achieving diffuse propagation of cathode-directed surface ionization waves at atmospheric pressure, over liquid water, Brisset Alexandra [et al.]	58
Étude de l'effet de vent ionique généré entre deux plaques dans l'air à pression atmosphérique par vélocimétrie par images de particules, Orriere Thomas	59
Liste des auteurs	61

Grands prix

Atom recombination on surfaces in plasmas - an experimental study

Jean-Paul Booth¹

¹Laboratoire de Physique des Plasmas (LPP), CNRS, Sorbonne Université,
École Polytechnique, Institut Polytechnique de Paris, Palaiseau, 91120, France
mél: jean-paul.booth@lpp.polytechnique.fr

Surface-catalysed recombination of atoms and free radicals plays a key role in the plasma equilibrium for molecular plasmas in enclosed reactors. This process is routinely characterized by a surface reaction probability, γ , (between 0 and 1), which for simplicity is often assumed to be a constant. However, this parameter is nearly always poorly characterized, or indeed used as the adjustable variable to fit models to experimental data. Ab-initio theories are not currently able to predict surface reaction probabilities reliably, so they must be determined by in-situ measurements (either through the measurement of spatial mole-fraction gradients adjacent to the surface, or (more commonly) by time-resolved measurements in modulated plasmas).

We have made measurements of γ for oxygen atoms in pure O₂ plasmas in different plasma devices (a DC glow discharge in a borosilicate glass tube at pressures 0.5-8 Torr, in a radiofrequency capacitively-coupled plasma reactor with aluminium electrodes at pressures 1-6 Torr, and in an inductively coupled plasma at 5-100 mTorr. The time-resolved oxygen atom density was determined by time-resolved optical emission actinometry[1], two-Photon Laser-Induced Fluorescence and monomode laser Cavity Ring Down Spectroscopy (CRDS) of the forbidden O ³P₂→¹D₂ transition[2] at 630nm.

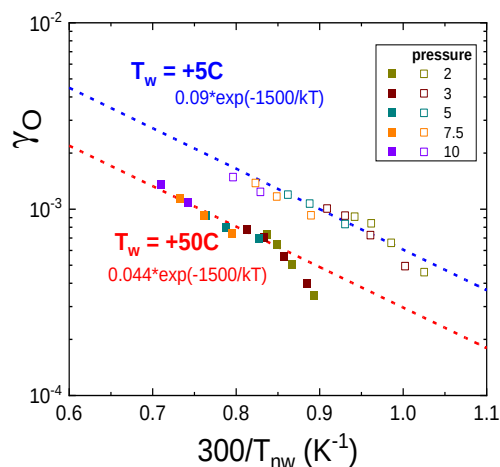


Figure. 1. Oxygen atom surface recombination probability on borosilicate glass as a function of near-wall gas temperature.

The values of γ obtained are not constant, but vary considerably with O₂ pressure, plasma density, plasma exposure time and air leak rate. At gas pressures above 150 Pa the recombination coefficient on both borosilicate glass and oxidised aluminium surfaces is small, of the order several 10⁻⁴, and obeys an Arrhenius law with the gas temperature (activation energy of ~0.15eV) indicating an Eley Rideal mechanism. The oxygen atom decay in the afterglow is not exponential, but slows down with afterglow time. This indicates the presence of two types of surface reaction sites; strongly-bound chemisorbed O and weakly-bound physisorbed O. The latter become important for high incident atom fluxes, leading to non-exponential decays. At lower gas pressures the recombination coefficient becomes much bigger, of the order 0.1 in an inductively-coupled plasma at 10 Pa. These observations suggest that energetic ion bombardment causes activation of the surfaces, strongly increasing the surface recombination probability[3].

Références

- [1] Booth J P, Guaitella O, Chatterjee A, Drag C, Guerra V, Lopaev D, Zyryanov S, Rakhimova T, Voloshin D and Mankelevich Y *Plasma Sources Science and Technology* 2019 **28** 055005
- [2] Booth J P, Guaitella O, Zhang S, Lopaev D, Zyryanov S, Rakhimova T, Voloshin D, Chukalovsky A, Volynets A and Mankelevich Y *Plasma Sources Science and Technology* 2023 **32** 095016
- [3] Afonso J, Vialetto L, Guerra V and Viegas P *Journal of Physics D: Applied Physics* 2023 **57** 04LT01

Statut :

Physique des plasmas et alimentations impulsionnelles : un couple clef pour aborder les aspects fondamentaux et développer des applications innovantes

E. Robert, S. Dozias

GREMI, UMR7344, CNRS/Université d'Orléans

mél: eric.robert@univ-orleans.fr

L'exposé est motivé par l'obtention du "2025 EPS Plasma Physics Division Innovation Award" au titre de "pioneering work on atmospheric pressure plasma jets and demonstrations of plasma effects on cancer in vivo, synergetic effects of plasma treatment and chemotherapy, and plasma oxygenation of tissues, leading to hospital medical applications especially in cancer treatment and wound healing".

En amont et au-delà de ces développements récents des plasmas froids pour des applications biomédicales, l'exposé soulignera plus largement deux aspects cruciaux dans les travaux menés par l'équipe depuis une vingtaine d'année :

- Le développement commun des applications des plasmas froids et des alimentations électriques impulsionnelles dédiées et optimisées pour ces recherches
- L'approche de questionnements de physique fondamentale motivée et guidée par les besoins des collaborateurs de l'équipe dans une démarche interdisciplinaire

Ces deux volets seront illustrés dans le cadre des recherches portant successivement sur les sources de rayonnement énergétiques, la physique des jets de plasma froid et les applications biomédicales en oncologie et traitement des plaies.

Remerciements

Au titre des applications en plasma médecine, au cœur du Innovation Award, les auteurs de ce résumé tiennent à remercier les collaborateurs qui ont permis la réalisation des travaux :

M. Vandamme^{1,2}, V. Sarron¹, D. Ries¹, L. Brullé², Th. Darny¹, X. Damany¹, C. Douat¹, Th. Maho¹, S. Dozias¹, A. Stancampiano¹, A. Hamon¹, A. Valinataj Omran¹, J.M Pouvesle¹, J. Sobilo², S. Lerondel², A. Le Pape², G. Collet^{1,3}, A. Lenoir^{1,3}, C. Kieda³, V. Vijayarangan^{1,3}, L. Ridou³, G. Busco^{1,3}, C. Grillon³, F. Fasani³, S. Morrisset-Lopez³, F. Gosset³, A. Delalande³, C. Pichon³, J. Santos Sousa⁵, T.H. Chung⁶, L. Mir⁶, I. Goard⁷, M. Demasure⁷, L. Hocqueloux⁷, R. Binois⁷, T. Prazuck⁷, P. Viegas⁸, A. Bourdon⁸, A. M. Lietz⁹, M. J. Kushner⁹

¹GREMI, CNRS/Université d'Orléans, Orléans, ²TAAM-CIPA, UPS44 – CNRS, Orléans, ³CBM, CNRS, Orléans, ⁵LPGP, CNRS/Paris XI, Orsay, ⁶VTA, CNRS/IGR, Villejuif, ⁷SMIT, CHROrléans, Orléans, ⁸LPP, CNRS/Polytechnique, Palaiseau, ⁹University of Michigan, Ann Arbor, USA

Statuts : DR et IR

Exposés de revue

Contrôle du potentiel plasma et contrôle de la rotation des colonnes de plasma magnétisées basse pression.

N. Plihon¹,

¹ *Laboratoire de Physique, École Normale Supérieure de Lyon & CNRS, Lyon, France*
nicolas.plihon@ens-lyon.fr

Le contrôle de la rotation d'un plasma est un élément essentiel dans de nombreuses situations. D'un point de vue fondamental, l'étude d'un grand nombre d'instabilité nécessite des écoulements contrôlés. Les applications technologiques couvrent la centrifugation plasma, mais aussi des configurations telles que les propulseurs électriques ou les magnétrons, dont la dynamique et la stabilité sont fortement influencés par la rotation du plasma.

Dans un premier temps, une sélection de travaux antérieurs concernant le contrôle du potentiel plasma et de la rotation des colonnes de plasma magnétisé à basse pression sera présentée.

Dans un second temps, les résultats obtenus dans le dispositif Von-Karman-Plasma [1] au Laboratoire de Physique, à l'ENS de Lyon seront détaillés (voir Figure 1). Une colonne de plasma d'Argon, de densité 10^{18}m^{-3} est générée par une source radiofréquence et confinée par un champ magnétique de quelques dizaines de milliTesla, à des pressions de l'ordre de 0.1 Pa. L'originalité de l'approche détaillée ici consiste à injecter courant grâce à une cathode émissive [2] pour améliorer le contrôle du potentiel plasma. Ce dernier est alors piloté par l'intensité du courant injecté [3], qui permet aussi un contrôle de la rotation et du cisaillement de la colonne de plasma [4].

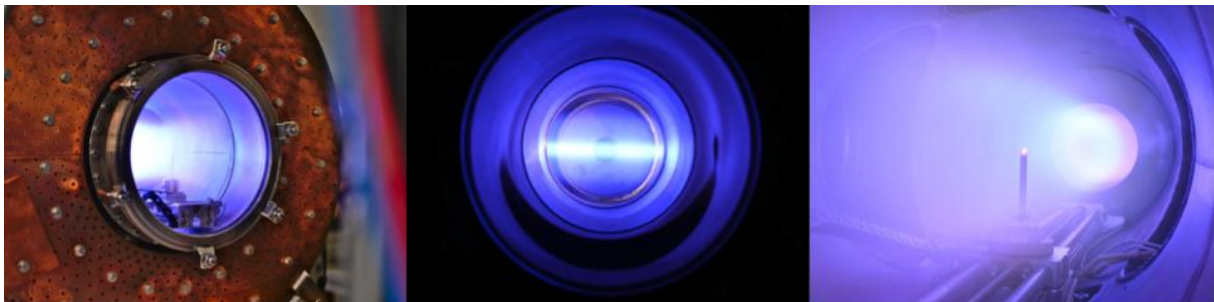


Figure 1 : Photographies du dispositif expérimental Von-Karman-Plasma montrant la colonne de plasma vue (à gauche) de l'extrémité du cylindre, (au centre) depuis le côté du cylindre, et (à droite) détaillant une sonde sur un translateur axial.

Cette présentation détaillera des travaux menés par plusieurs doctorants, et en particulier Victor Désangles (LPENSL), Simon Vincent (LPENSL), Francis Pagaud (LPENSL), Vassili Desages (LPENSL), Baptiste Trotabas (LAPLACE), et en collaboration avec Vincent Dolique (LPENSL) et Renaud Gueroult (LAPLACE).

Références

- [1] N. Plihon *et al.*, *J. Plasma Phys.* **81**, 345810102 (2015)
- [2] V. Désangles *et al.*, *J. Plasma Phys.* **87**, 905870308 (2021)
- [3] F. Pagaud *et al.*, *Plasma Sources Sci. Technol.* **32**, 115019 (2023)
- [4] F. Pagaud *et al.*, *Plasma Sources Sci. Technol.* **34**, 065012 (2025)

Statut : permanent

Décharges à Barrières Diélectriques : plus d'un siècle d'histoire et toujours de nouvelles perspectives ...

A. Belinger, H. Caquineau, S. Dap, N. Gherardi, N. Naudé

Univ Toulouse, Toulouse INP, CNRS, Laplace, Toulouse, France

mél: nicolas.naude@laplace.univ-tlse.fr

Les décharges à barrière diélectrique (DBD) représentent une solution simple et robuste pour éviter la transition vers l'arc à pression atmosphérique et ainsi générer un plasma froid (Figure 1). Introduit dès 1857 par Siemens [1], le principe s'inscrit dans une histoire de plus d'un siècle et demi, mais suscite encore aujourd'hui un fort intérêt scientifique et industriel [2]. La capacité des DBD à maintenir des plasmas hors équilibre dans des conditions de température et de pression ambiantes en fait une technologie de choix pour de nombreuses applications industrielles, parmi lesquelles la production d'ozone, la génération d'UV ou encore le traitement de films polymères.

Au-delà des aspects applicatifs, de nombreuses études portent sur la physique des décharges elles-mêmes, qu'il s'agisse des micro-décharges, des régimes diffus ou encore des décharges RF et nanosecondes [3]. Les DBD sont généralement caractérisées par des diagnostics électriques et optiques (spectroscopie d'émission optique, imagerie résolue en temps, absorption, etc.), auxquels s'ajoutent des analyses chimiques en phase gazeuse (FTIR, spectrométrie de masse, chromatographie en phase gazeuse), des mesures de potentiel de surface, ou encore des diagnostics laser avancés. Ces approches expérimentales sont fréquemment complétées par des modélisations numériques visant à mieux comprendre et prédire le comportement de la décharge.

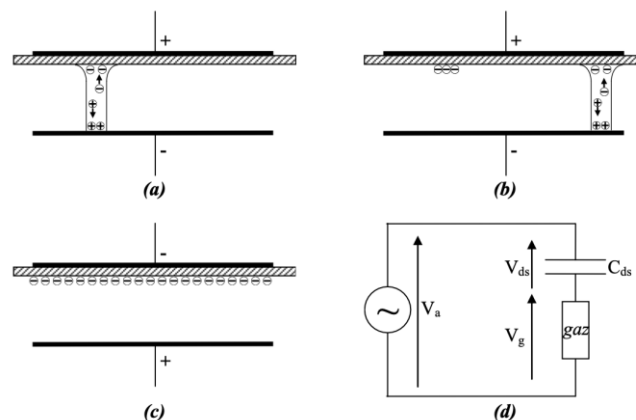


Figure 1 : Schéma de principe d'une Décharge à Barrière Diélectrique [4]

(a) établissement d'une première micro-décharge, (b) extinction de la première micro-décharge et amorçage d'une nouvelle, (c) changement de la polarité appliquée sur les électrodes, (d) schéma électrique équivalent d'une micro-décharge

La présentation mettra en évidence ces différents travaux, en mettant l'accent à la fois sur la compréhension de la physique des DBD et sur leurs applications industrielles.

Références

- [1] Siemens W 1857 Annalen der Physik und Chemie **178**(9) 66–122
- [2] Kogelschatz U, Plasma Chemistry and Plasma Processing **23**, 1–46 (2003)
- [3] Brandenburg R 2017 Plasma Sources Sci. Technol. **26** 053001
- [4] Naudé N *et al.* Plasma et son environnement – Plasmas Froids en France et au Québec, Publications Mission Ressources et Compétences Technologiques, 2012, ISBN 978-2-918701-09-5

Statut :

Diagnosics in situ d'un procédé plasma de dépôt de couches minces nanocomposites par injection d'une solution colloïdale dans un plasma basse pression

A. Granier¹, S. Chouteau^{1,2,3}, J. Chevet, M. Richard-Plouet¹, A. Goullet¹, L. Stafford²

¹ Nantes Université, CNRS, Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel, IMN, F-44000 Nantes

² Département de Physique, Université de Montréal, Québec, Canada

³ Hamaguchi Laboratory, Osaka University, Japan

mél: agnes.granier@cnrs-imn.fr

Les couches minces nanocomposites (NC), constituées de nanoparticules intégrées dans une matrice, suscitent un intérêt croissant en tant que revêtements multifonctionnels avec la possibilité d'ajuster leurs différentes propriétés en jouant sur la composition du nanocomposite.

L'une des voies de synthèse de ces couches minces nanocomposites consiste en l'injection d'une solution colloïdale (contenant les nanoparticules) dans un plasma de PECVD qui permet le dépôt de la matrice simultanément à l'incorporation des nanoparticules [1]. Ce procédé de synthèse de couches nanocomposites est un procédé hybride plasma/aérosol qui conduit à la formation d'un plasma brumeux (misty plasma).

L'objectif de cette présentation est de montrer la potentialité d'associer un diagnostic du plasma par spectroscopie optique d'émission résolue en temps (TROES) à l'analyse du film par ellipsométrie spectroscopique *in situ* pour contrôler et étudier le procédé. Plus précisément, le cas d'une injection pulsée d'une solution colloïdale de nanoparticules d'oxyde (TiO₂ ou ZnO) dans un plasma basse pression de O₂/HMDSO (pour le dépôt d'une matrice de SiO₂) sera retenu [2]. Outre l'étude de la reproductibilité du procédé, l'association de ces deux diagnostics est très riche en informations sur la cinétique du dépôt de la couche nanocomposite, les interactions entre les gouttes de solution colloïdale et le plasma (effet des gouttes sur le plasma et du plasma sur les gouttes), le transport des gouttes dans le plasma, les mécanismes d'évaporation et de fragmentation des gouttes (en plasma basse pression).

En complément seront présentés les résultats d'un modèle collisionnel radiatif (en plasma Argon + injection pulsée de solution colloïdale) couplé à des mesures TROES pour déterminer les variations temporelles des densité et température électroniques ainsi que la densité de métastables d'Ar [3].

Références

- [1] M. Mitronika, A. Granier, A. Goullet, M. Richard-Plouet, SN Applied Sciences 3:665 (2021), <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04642-0>
- [2] F. Fanelli et al., Langmuir 30, 857–865 (2014)
- [3] G. Carnide et al., Advanced Science 10 (2022) 2204929, G. Carnide, L. Cacot et al., Coatings 13, 630 (2023)
- [4] S Chouteau, M Mitronika, A Goullet, M Richard-Plouet, L Stafford and A Granier, J. Phys. D : Appl. Phys 55 505303 (2022) <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ac9ac2A>.
- [5] S. Chouteau, A. Durocher-Jean, A. Granier, M. Richard-Plouet, L. Stafford, Plasma Sources Science and Technology 33, 075016 (2024), <https://doi.org/10.1088/1361-6595/ad5d11>

Novel advanced laser-synthesized nanomaterials for healthcare and energy: design, fabrication and applications

Andrei V. Kabashin

Aix Marseille Univ, CNRS, LP3, 13288, Marseille, France

mél: andrei.kabashin@univ-amu.fr

The presentation will overview our on-going activities on laser ablative synthesis of novel biocompatible colloidal nanomaterials and their testing in biomedical tasks. Our original approach is based on ultra-short (fs) laser ablation from a solid target [1,2] or already formed water-suspended colloids [3] to fabricate “bare” (ligand-free) nanoparticles (NPs) with well-controlled size characteristics, as well as coating of nanomaterials by functional molecules (dextran, PEG etc.) during the ablation process or afterwards [4]. The presentation will describe recently developed approaches to achieve appropriate characteristics of several promising nanostructures, including plasmonic Au [1,3,4], TiN [5], ZrN [6], HfN [7] nanoparticles, Bi nanoparticles [8], B nanoparticles [9], semiconductor Si [10] and Ge [11] nanoparticles, van der Waals nanostructures [12,13], and composite core-satellite (Si@Au [14], Fe₃O₄@Au [15,16]) nanostructures. The presentation will also overview our results on biological assessment of some laser-synthesized nanomaterials [16-18], as well as highlight some biomedical applications of laser-synthesized nanomaterials, including their use as contrast agents in SERS bioidentification [19], non-linear optical [20], photoacoustic [21] and MRI [16] bioimaging, sensitizers of photothermal therapy [5-7, 11, 12, 16], vectors of radionuclides in nuclear medicine [22]. Finally, the presentation will overview some energy applications of laser-synthesized nanomaterials, including their use as electrocatalysts of glucose oxidation [23,24] and thermal nanofluids for solar energy conservation [25].

Références

- [1] A. V. Kabashin, M. Meunier, J. Appl. Phys. **94**, 7941 (2003).
- [2] A. V. Kabashin, M. Meunier, J. Phys.: Conf. Series, **59**, 354 (2006).
- [3] S. Besner, A. V. Kabashin, M. Meunier, Appl. Phys. Lett, **89**, 233121 (2006).
- [4] S. Besner, A. V. Kabashin, F. Winnik, M. Meunier, Appl. Phys. A. **93**, 955 (2008).
- [5] A. A. Popov, et al, Sci. Rep. **9**, 1194 (2019).
- [6] A. I. Pastukhov et al, ACS Appl. Nano Mater. **7**, 18737 (2024).
- [7] A. I. Pastukhov et al, Nanoscale, **16**, 17893 (2024).
- [8] J. C. Bulmahn, et al, Nanomaterials, **10**, 1463 (2020).
- [9] A. I. Pastukhov, et al, Sci. Rep. **12**, 9129 (2022).
- [10] A. V. Kabashin, et al., ACS Nano **13**, 9841 (2019).
- [11] I. B. Belyaev, et al. Advanced Science, **11**, 2307060 (2024).
- [12] G. I. Tselikov et al, PNAS, **119**, e2208830119 (2022)
- [13] G. I. Tselikov et al, ACS Nano, **19**, 25, 22820 (2025)
- [14] A. Al-Kattan, et al., Nanomaterials **11**, 592 (2021).
- [15] A. A. Popov, et al., Nanomaterials **12**, 649 (2022).
- [16] O. Yu. Griaznova, et al, Pharmaceutics **14**, 994 (2022).
- [17] I. V. Zelepukin, et al, Mater. Sci. Eng. C **120**, 111717 (2021).
- [18] I. V. Zelepukin, et al, Chem. Eng. Journal **430**, 132860 (2022).
- [19] M. Kögler, et al, J. Biophoton. **11**, e201700225 (2018).
- [20] A. Kharin, et al, Adv. Opt. Mater. **7**, 1801728 (2019).
- [21] A. Das, et al, Appl. Phys. Lett. **121**, 083701 (2022).
- [22] V. M. Petriev, et al., Sci. Rep. **9**, 2017 (2019).
- [23] S. Hebie, et al, ACS Catalysis **5**, 6489 (2015).
- [24] Y. Holade, et al, Catal. Sci. Tech. **10**, 7955 (2020).
- [25] S. Farooq, et al, Solar Energy Materials and Solar Cells, **252**, 112203 (2023).

Statut : permanent

Production d'ions négatifs d'hydrogène en surface dans des plasmas à basse pression

G. Cartry¹, J.-P. Broude¹, Om Raval¹, J.M. Layet¹, Didier Guyomarc'h¹, M. Minissale¹, R. Magee², J. Dedrick², M. Kellerman-Stunt², T. Gans³, M. Sasao⁴, S. Inoue⁴, Y. Inokuchi⁴, M.-A. Pinault-Thaury⁵, J. Achard⁶

1 Aix-Marseille University, CNRS, PIIM, UMR 7345, F-13013 Marseille, France.

2 York Plasma Institute, University of York, YO10 5DD, UK

3 Faculty of Science and Health, Dublin City University, Dublin, Ireland

4 Doshisha University, Kyotanabe, Kyoto 610-0321, Japan

5 GEMaC-CNRS/UVSQ, Université Paris-Saclay, Versailles, France

6 LSPM, CNRS-UPR 3407 Université Sorbonne Paris Nord, F-93430 Villetaneuse, France

mél: gilles.cartry@univ-amu.fr

Les sources d'ions négatifs à basse pression ont un large éventail d'applications, notamment l'injection de particules dans les accélérateurs linéaires et les cyclotrons, l'analyse de surface par spectrométrie de masse à ions secondaires (SIMS) et l'injection de faisceaux neutres pour la fusion confinée magnétiquement. Ces sources fonctionnent sur la base du processus de production d'ions négatifs en surface, par lequel des ions ou des atomes positifs rétrodiffusés d'une surface en contact avec le plasma capturent un ou deux électrons du matériau, ce qui entraîne la formation d'ions négatifs.

Cette présentation se concentre sur l'étude de ce processus dans les plasmas d'hydrogène à basse pression. La capture d'électrons à la surface dépend fortement de la structure électronique du matériau, qui est souvent considérablement modifiée par l'exposition au plasma. Afin d'étudier ce phénomène, nous avons développé un diagnostic de photoémission in situ capable de suivre les changements dans la structure électronique après traitement au plasma et de corrélérer ces modifications avec les variations du rendement de production d'ions négatifs en surface.

Au cours de cet exposé, nous présenterons les outils expérimentaux conçus pour cette étude, notamment un analyseur d'énergie à champ de retard magnétisé et un spectromètre de masse pour détecter les ions négatifs émis en surface, ainsi que la spectroscopie de rendement de photoémission in situ pour caractériser les propriétés de surface. Nous illustrerons la production d'ions négatifs en surface dans le plasma sur des matériaux sélectionnés tels que le diamant, les métaux à faible travail de sortie et une céramique conductrice.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la Fédération de recherche en fusion par confinement magnétique (FRFCM). Le projet à l'origine de cette publication a bénéficié d'un financement de l'Initiative d'Excellence de l'Université d'Aix-Marseille — A*Midex, programme Investissements d'Avenir AMX-19-IET-013. Ce projet a également été soutenu par la Région Sud PACA dans le cadre de l'Appel à projets recherche Volet exploratoire — projet SARDINE. Cette recherche a été financée par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre du projet « ANR-23-CE30-0001 ».

Sujets d'actualité

UV absorption spectroscopy to study the role of CF radicals during cryogenic etching of Si in CF₄ plasmas

M. Kogelschatz¹, J. Nos², S. Iséni², G. Cunge¹, P. Lefauchaux², R. Dussart², T. Tillocher², E. Despia-Pujo¹

¹ University Grenoble Alpes, CNRS, CEA/LETI-Minatec, Grenoble INP, LTM, 38054 Grenoble, France

² GREMI, Orléans University-CNRS, 14 Rue d'Issoudun BP 6744, 45067 Orléans, France

mél: martin.kogelschatz@univ-grenoble-alpes.fr

Ultraviolet absorption spectroscopy is used to monitor the CF and CF₂ radical densities in CF₄ inductively coupled Si etching plasmas (ICP) as a function of the substrate temperature [1]. Typical spectra are shown in Fig.1. It can be seen from the absorption spectrum of the CF radical in Fig.1(a) that its density decreases dramatically when the wafer temperature is reduced from 20 to -130 °C under identical plasma conditions, demonstrating that the CF surface sticking coefficient increases as the surface temperature is reduced, while the CF₂ density remains nearly unchanged as it can be deduced from the corresponding absorption spectrum. This suggests that a CF₄ plasma could be used to form sidewall passivation layers and perform anisotropic etching at cryogenic temperature, which is impossible at room temperature.

Subsequently, a cyclical Bosch type etching process of silicon was evaluated at -100 °C using CF₄ plasma to passivate the trench sidewalls. Anisotropic etch profiles were obtained with an etch rate of 4.4 µm/min. Compared to a typical Bosch process using highly polymerizing c-C₄F₈ plasma, chamber wall contamination could be significantly reduced, alleviating a major issue of this cyclic process. Furthermore, CF₄ has a 28% lower global warming potential than c-C₄F₈.

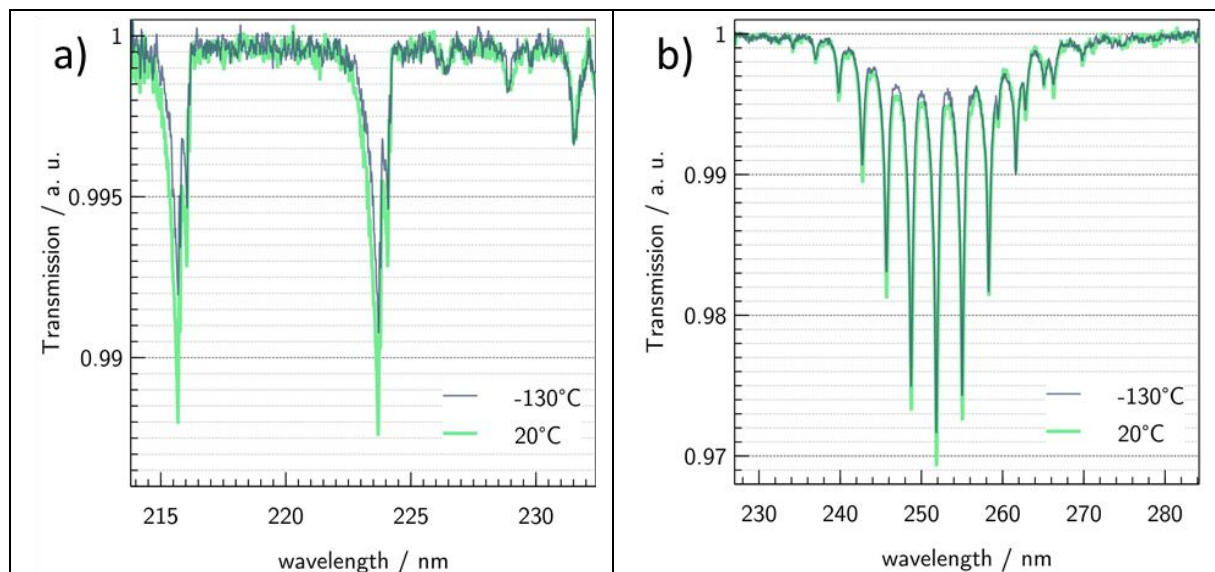


Figure 1 : Absorption spectra measured in a CF₄ plasma (50 sccm, 4 Pa, 1.5 kW ICP power, no bias power) for chuck temperatures of 20 °C and -130 °C. (a) $A^{2\Sigma \leftarrow X^2\Pi}(1,0)$ transition of CF and (b) $A(0, v, 0) \leftarrow X(0, 0, 0)$ transition of CF₂.

We thank J.-P. Booth for discussions. This research project is supported by the CERTeM scientific interest group (GIS) and funded by EU FEDER and ANR PSICRYO project (No. ANR-20-CE24-0014).

Références

[1] J. Nos, S. Iséni, M. Kogelschatz, G. Cunge, P. Lefauchaux, R. Dussart, T. Tillocher, E. Despia-Pujo, APL **126**, 031602 (2025)

Statut : permanent

Procédés plasmas multi-échelle : quelles stratégies pour le dépôt de couches minces nanocomposites ?

K. Makasheva, R. Clergereaux et N. Naudé

Laboratoire Plasma et Conversion d'Énergie (LAPLACE), Université de Toulouse, CNRS, Toulouse
mél: kremena.makasheva@laplace.univ-tlse.fr

Le développement des nanotechnologies ces dernières années a permis la miniaturisation de plusieurs dispositifs. Pour continuer dans cette direction et diversifier les applications, une forte demande de matériaux à fonctionnalités multiples est apparue. Une des réponses à cette demande réside dans l'utilisation de couches nanocomposites. Néanmoins, les méthodes de synthèse de ces couches nanocomposites se doivent d'être adaptées aux fonctionnalités et aux applications prévues. Le dépôt de couches minces par procédés plasmas est une technique largement utilisée dans le domaine de la microélectronique, et cela depuis plusieurs décennies maintenant. La versatilité des procédés plasmas offre de nombreux avantages, tels qu'une très bonne maîtrise de la composition (stœchiométrie), une excellente qualité du dépôt vis-à-vis des fonctionnalités visées et une reproductibilité remarquable. Cela a permis aux autres domaines d'application (optique, génie électrique, aéronautique, spatial, biomédical, etc.) de bénéficier des procédés plasmas pour la synthèse de différents matériaux.

Cette présentation porte sur le développement de nouvelles méthodes de dépôt de couches minces nanocomposites par procédés plasmas. Elle résume les activités menées sur le sujet par l'équipe SciPRA du LAPLACE. Il sera démontré que le choix du procédé plasma se fait sur la base de plusieurs critères, dès l'apport d'énergie pour l'entretien du plasma, en fonction des paramètres du plasma et les mécanismes intervenant en lien avec les précurseurs injectés, jusqu'aux propriétés du dépôt final. Les exemples seront donnés pour des plasmas hybrides entretenus à basse pression¹⁻⁴ et à la pression atmosphérique^{3,4}. Les stratégies plasmas développées sont très variées et complexes mais restent adaptées aux applications des couches nanocomposites synthétisées.

Remerciements

Cette présentation est issue des travaux réalisés dans le cadre des projets ANR BENDIS (ANR-21-CE09-0008), ANR GROWNANO (ANR-21-CE29-0001), ANR LUMINA (ANR-21-CE08-0011-01), ANR PLASSEL (ANR-21-CE08-0038) et l'IRN NMC – Nanomatériaux Multifonctionnels Contrôlés du CNRS.

Références

1. Garofano, V. *et al.* Multi-scale investigation in the frequency domain of Ar/HMDSO dusty plasma with pulsed injection of HMDSO. *Plasma Sources Sci. Technol.* **28**, 055019 (2019).
2. Bérard, R., Garofano, V., Joblin, C., Stafford, L. & Makasheva, K. Layer-by-layer structured nanocomposite deposits from plasma-synthesized organosilicon nanoparticles and organosilicon nanoparticles decorated with Ag nanoparticles by taking advantage of cyclic nanoparticle formation in Ar/HMDSO reactive plasmas. *Front. Nanotechnol.* **6**, 1337571 (2024).
3. Carnide, G. *et al.* Direct Liquid Reactor-Injector of Nanoparticles: A Safer-by-Design Aerosol Injection for Nanocomposite Thin-Film Deposition Adapted to Various Plasma-Assisted Processes. *Coatings* **13**, 630 (2023).
4. Carnide, G. *et al.* Pulsed Aerosol-Assisted Low-Pressure Plasma for Thin-Film Deposition. *Plasma Chem. Plasma Process.* **44**, 1343–1356 (2024).

Statut :

Mesures d'absorption IR et CRDS dans des DBD en CO₂ en régime de Townsend

J-P. Booth¹, S. Bravo¹, G. Carnide², G. Curley¹, N. Naudé², O. Guaitella¹, S. Dap²

¹ Laboratoire de Physique des Plasmas (LPP), CNRS, Sorbonne Université, Université Paris Saclay, École Polytechnique, Institut Polytechnique de Paris, 91128 Palaiseau, France

² LAPLACE, Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS, Toulouse, France

mél: simon.dap@laplace.univ-tlse.fr

Dans cette contribution nous présenterons les résultats préliminaires obtenus lors d'une campagne de mesure réalisée en collaboration entre le LPP et le LAPLACE grâce au soutien du dispositif Arpège du GDR EMILI et du dispositif ITC du réseau Plasma Froids. Ces mesures rentrent dans le cadre de l'étude des Décharges à Barrières Diélectriques à pression atmosphérique en atmosphère de CO₂. Une spécificité forte de ces travaux est d'avoir une décharge diffuse à pression atmosphérique (Townsend). Deux types de mesures ont été réalisés en parallèle, sur deux dispositifs différents.

Premièrement, des mesures d'absorption IR *in-situ* au moyen d'un spectromètre FTIR ont permis de recueillir une grande quantité de données pour une large gamme de conditions expérimentales : variation de pression, mélanges CO₂/O₂, CO₂/argon et CO₂/H₂O. Leur analyse permettra de déterminer les taux de dissociation du CO₂ ainsi que les températures rotationnelles et vibrationnelles.

Deuxièmement, des mesures de CRDS ont été réalisées avec comme objectif initial de déterminer la densité d'atomes d'oxygène produits dans la décharge, cette espèce jouant un rôle clé dans la cinétique de ces plasmas. Malheureusement, aucun signal d'absorption attribuable aux atomes d'oxygène n'a pu être observé, très probablement parce que leur densité est inférieure à la limite de détection de la technique mise en œuvre. Cependant, un signal d'absorption attribué à l'ozone et/ou à des ions négatifs a été détecté, renseignant ainsi sur la cinétique de formation/disparition de ces espèces dans nos conditions.

Les données obtenues durant cette campagne seront ensuite utilisées par T. Silva et V. Guerra pour contraindre les modèles de cinétique chimique qu'ils développent à l'IST Lisbonne et ainsi améliorer la compréhension de la physico-chimie des plasmas de CO₂.

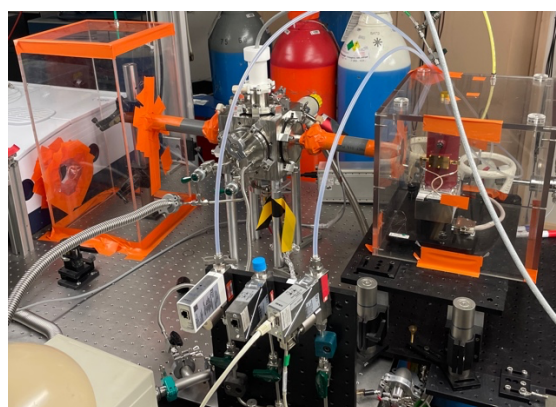
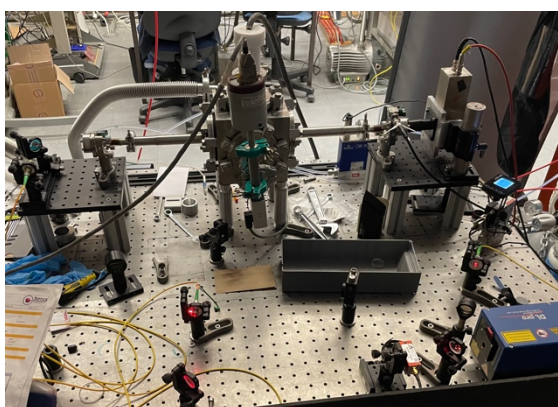


Figure 1 : photographies des dispositifs expérimentaux utilisés (gauche : CRDS, droite : FTIR)

Des fantômes verts dans les farfadets ?

S. Célestin¹

¹LPC2E, OSUC, Université d'Orléans, CNRS, Orléans, France

mél: sebastien.celestin@cnrs-orleans.fr

Les décharges de *sprites* (aussi appelés *farfadets* en français) au-dessus des orages sont étudiées depuis plus de 35 ans, et pourtant, la découverte d'émissions lumineuses vertes de longue durée provenant du sommet des sprites, appelées « fantômes verts » (ou Green Ghosts), n'a été faite que récemment par des observateurs amateurs utilisant des appareils photo numériques commerciaux. Dans cette étude, nous explorons la physique et la chimie sous-jacentes à ces émissions vertes. Nos résultats suggèrent que les fantômes verts sont causés par l'émission optique d'atomes d'oxygène excités à haute altitude, par les décharges filamenteuses dans les sprites. Nous identifions deux voies chimiques clés responsables de la génération de ces nouveaux phénomènes.

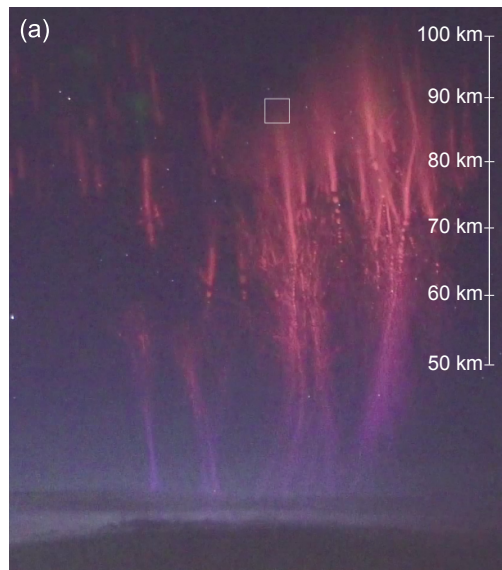


Figure 1 : Exemple d'une décharge sprite accompagnée d'un événement « fantôme vert » capturé par Paul Smith (observateur amateur) à une distance de 217 km de l'éclair parent. Une échelle d'altitude est indiquée en blanc. Elle est calculée dans un plan vertical à l'éclair parent grâce à l'identification des étoiles dans les champs vidéo.

Statut :

Évolution temporelle des fonctions de distribution des ions sous l'action des instabilités du plasma : application au propulseur de Hall

Q. Delavière--Delion¹, F. Gaboriau², G. Fubiani² & L. Garrigues²

¹ ONERA - DPHY, 6 Chemin de la Vauve aux Granges, Palaiseau

² LAPLACE - Laboratoire PLASma et Conversion d'Énergie, Université Paul Sabatier, CNRS, INP, Toulouse

mél: quentin.delaviere@onera.fr

Les plasmas magnétisés, comme ceux rencontrés dans les propulseurs de Hall, constituent un environnement particulièrement favorable à l'apparition d'un large éventail d'instabilités [1]. Parmi celles-ci, les oscillations de temps de transit des ions (ITTO) sont considérées comme ayant un impact majeur sur le comportement des ions. Des travaux antérieurs [2,3] ont montré que les ITTO se manifestent par la propagation d'ondes électrostatiques transversales au champ magnétique et parallèles au champ électrique. Ce mécanisme crée une modulation spatiale et temporelle du potentiel électrique dans le plasma, entraînant une accélération différenciée des ions : certains, en phase avec l'onde, "surfer" sur sa crête et acquièrent ainsi une énergie cinétique supérieure, tandis que d'autres, moins bien synchronisés, subissent une accélération moindre. Toutefois, leur étude, et plus spécifiquement le suivi temporel des fonctions de distribution en énergie des ions (FDI), reste complexe en raison de leur nature irrégulière et intermittente. En effet, dans les plasmas des propulseurs de Hall, les ITTO se superposent à d'autres instabilités ayant des périodes temporelles plus longues, ce qui rend leur isolement et leur caractérisation particulièrement difficiles.

Pour contourner cette difficulté, une approche originale a été développée, basée sur l'appariement des motifs d'oscillations les plus similaires. En combinant les mesures du courant de décharge avec celles obtenues par un Retarding Potential Analyser (RPA), il a été possible de révéler que dans certains cas l'évolution temporelle des FDI s'opère selon deux échelles de temps distinctes. La première correspond au mode de respiration (breathing mode), tandis que la seconde est associée aux ITTO. Cette analyse a aussi permis de mettre en évidence un phénomène d'accélération des ions se produisant spécifiquement sur l'échelle de temps des ITTO.

Le propulseur utilisé dans l'étude, dont les résultats seront présentés lors du séminaire, est le PPS-FLEX, un propulseur de Hall expérimental [4]. Celui-ci se distingue par l'utilisation de bobines magnétiques segmentées, offrant une grande flexibilité dans le réglage du champ magnétique. Grâce à cette caractéristique, le point de fonctionnement a été sélectionné de manière à accentuer les instabilités de type ITTO et à maximiser la stabilité des oscillations de la décharge. Dans un propulseur de Hall, le champ magnétique remplit deux fonctions principales : Augmenter le temps de résidence des électrons dans la décharge, favorisant ainsi un taux d'ionisation élevé (l'intensité du champ magnétique restant suffisamment faible pour ne pas magnétiser les ions). Et localiser le champ électrique dans une zone restreinte du canal de décharge, en piégeant localement les électrons (ce qui réduit fortement la conductivité axiale). Ce champ électrique est généré par l'application d'une différence de potentiel entre : une anode ; située au fond d'un canal annulaire, au niveau de l'injection de gaz et une cathode émissive ; placée à l'extérieur du propulseur, dont le rôle est triple : initier et maintenir le plasma, ainsi que neutraliser le faisceau d'ions extrait du canal par le champ électrique (se sont ces ions qui génèrent la poussée).

Références

- [1] E. Y. Choueiri, Plasma oscillations in Hall thrusters, *Physics of Plasmas* (2001).
- [2] Bareilles, Hagelaar, Garrigues, Boniface, Boeuf, Gascon, Critical Assessment of a Two-Dimensional Hybrid Hall Thruster Model: Comparisons with Experiments, *Physics of Plasmas* (2004).
- [3] Petronio, Charoy, Alvarez Laguna, Bourdon, Chabert, Two-Dimensional Effects on Electrostatic Instabilities in Hall Thrusters. II. Comparison of Particle-in-Cell Simulation Results with Linear Theory Dispersion Relations, *Physics of Plasmas* (2023).
- [4] Garrigues, Mazouffre, Hénaux, Vilamot, Rossi, Harribey, Bourgeois, Vaudolon, Zurbach, Design and First Test Campaign Results with a New Flexible Magnetic Circuit for a Hall Thruster, 33rd IEPC, **2013-250** (2013).

Statut : post-doc

Plasmas produits par filamentation laser dans l'air : dernières avancées et nouveaux challenges

Aurélien HOUARD¹

¹ *Laboratoire d'Optique Appliquée, ENSTA, Ecole Polytechnique, CNRS, IP Paris, Palaiseau*
mél: aurelien.houard@ensta.fr

Lorsqu'une impulsion laser ultrabrève de quelques gigawatts de puissance crête se propage dans l'air, elle va spontanément s'auto-focaliser pour former de longs canaux de lumière intense appelés filaments. Ce phénomène est lié à différents effets optiques nonlinéaires qui apparaissent en présence d'un champ laser intense. Les filaments laissent dans leur sillage un plasma faiblement ionisés (10^{16} - 10^{17} e⁻/cm³) dont les rayonnements secondaires et l'évolution hydrodynamique peuvent être mis à profit pour de nombreuses applications.

Ainsi, un filament court et intense peut générer un rayonnement cohérent et très large bande dans le domaine térahertz [1], utile pour de la spectroscopie THz. De même, les molécules d'azote ionisées ou excitées du plasma peuvent émettre et amplifier un rayonnement laser UV dans l'axe du filament [2] et leur fluorescence peut être utilisée pour mesurer des champs de vitesses dans des écoulements réactifs (technique FLEET) [3]. A plus grande échelle, les filaments permettent de déclencher et de guider des décharges électriques. Une récente expérience a ainsi démontré qu'ils pouvaient guider des décharges de foudre sur plus de 60 m [4].

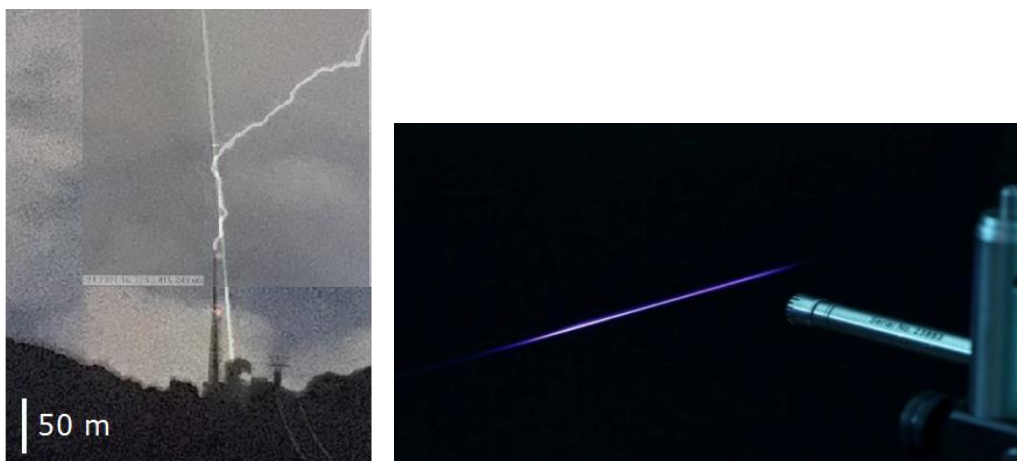


Figure 1 : A gauche : image d'une décharge de foudre guidée par laser [4]. A droite : photo d'un filament de 5 cm produit en focalisant dans l'air un laser de quelques GW avec une lentille $f = 1$ m.

L'atout de la filamentation femtoseconde réside dans sa capacité à concentrer naturellement l'énergie laser pour générer de minces canaux de plasma homogènes, même à des distances kilométriques [5]. Mais pour passer d'une preuve de concept en laboratoire à une application atmosphérique, le challenge consiste aujourd'hui à contrôler précisément les paramètres du plasma créé, notamment en organisant spatialement les filaments [6] ou en prolongeant la durée de vie du plasma.

Références

- [1] C. D'Amico, *et al.* Phys. Rev. Lett. **98**, 235002 (2007) ;
- [2] G. Point, *et al.* Opt. Lett. **39**, 1725 (2014)
- [3] L. Bernadot, *et al.* Laser Diagnostics in Energy and Reacting Flows, Jun 2025, Les Diablerets, Switzerland.
- [4] A. Houard, *et al.* Laser-guided lightning, Nature Photonics **17**, 231 (2023)
- [5] M. Durand, *et al.* Opt. Express **21**, 26836 (2013)
- [6] S Fu, *et al.* Phys. Rev. Lett. **134** (4), 045001 (2025) ; S Fu, *et al.* Opt. Lett. **49** (13), 3540-3543 (2024)

Permanent

Oraux - Entrants

Photo-induced plasma confinement in ultrashort laser-excited nanostructures

A. Rudenko¹

¹*Laboratoire Hubert Curien, UMR 5516 CNRS, Université Jean-Monnet, 42000 Saint-Etienne, France*
mél: anton.rudenko@univ-st-etienne.fr

Intense ultrashort lasers modify transient optical properties of transparent materials, converting them into cold plasma non-equilibrium state of matter. This electron-hole plasma can be confined to subwavelength nanoscale dimensions by tightly focused laser beams but remains challenging to control due to complexity of ultrashort pulse propagation in nonlinear medium and is mainly associated with laser material damage in laser processing [1]. Subwavelength nanostructures and their periodic planar arrangements (metasurfaces) enable not only plasma confinement on record nanoscales by ultrashort laser excitation [2] but also better control over the nonlinear optical response while resisting to material damage [3], which is promising for new-generation optical devices for light manipulation and modulation.

Modeling of the involved physical processes remains challenging, as it requires coupling non-paraxial full-vector light propagation in nonlinear medium with a comprehensive model for electronic excitation and material ionization at high intensities. Laser interaction with subwavelength nanostructures is discussed in the frame of 3D plasma fluid model coupled with nonlinear Maxwell propagation solver. Simulation results elucidate the spatio-temporal aspects of the electron-hole plasmas and their influence on ultrashort pulse propagation and harmonic generation.

Apart from numerous applications relying on transient optical properties, plasma nanoconfinement in nanostructured transparent materials opens new opportunities for controlling thermal gradients, melt flow, and ablation at the nanoscale, with the ultimate objective to develop new strategies for nanofabrication and adjustment of metasurfaces.

Références

- [1] A. Rudenko, J. V. Moloney, and P. Polynkin, *Phys. Rev. Appl.*, Vol. 20, 064035 (2023)
- [2] A. Rudenko, K. Ladutenko, S. Makarov, and T. E. Itina, *Adv. Opt. Mater.*, Vol. 7, 12306 (2018)
- [3] A. Rudenko, A. Han, and J. V. Moloney, *Adv. Opt. Mater.*, Vol. 11, 2, 2201654 (2023)

Statut : permanent (CNRS)

Parcours d'un IR : de la thèse sur les plasmas froids aux diagnostics laser avancés

L. Invernizzi¹

¹ *Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux, LSPM, CNRS, Université Sorbonne Paris Nord, UPR3407, F-93430 Villetaneuse, France*
Adresse mél: laurent.invernizzi@lspm.cnrs.fr

The study of collisional non-thermal plasmas (NTPs) has gained significant momentum in recent decades, fueled by advances in high-resolution diagnostic techniques. Among these, laser absorption and optical emission spectroscopy stand out for their exceptional sensitivity and spatio-temporal precision.

The **Laser and Spectroscopy Diagnostics in PlasMas (LaSPM)** platform was established to address these challenges, providing advanced tools including ns and ps lasers for LIF (Laser-Induced Fluorescence) and TALIF (Two-Photon Absorption LIF) diagnostics. These allow precise determination of atomic and molecular densities as well as gas temperatures at ns and ps timescales. Hosted at the **LSPM laboratory (CNRS UPR3407)**, the platform is open to national and international collaborations. To date, it has supported around a dozen research groups working on a wide range of plasmas, from weakly to strongly collisional, generated in gases such as He, Ar/N₂, O₂, and air, using continuous, pulsed, sinusoidal, RF, or microwave sources, see **Figure 1** [1,2]. LaSPM operates two complementary laser systems: a ns laser with PMT detection and a ps laser with streak camera detection, ensuring optimized TALIF measurements and high-precision plasma diagnostics. A dedicated team of researchers, engineers, and technical staff supports visiting teams throughout their projects—from experiment design to data analysis and interpretation, and ultimately publication.

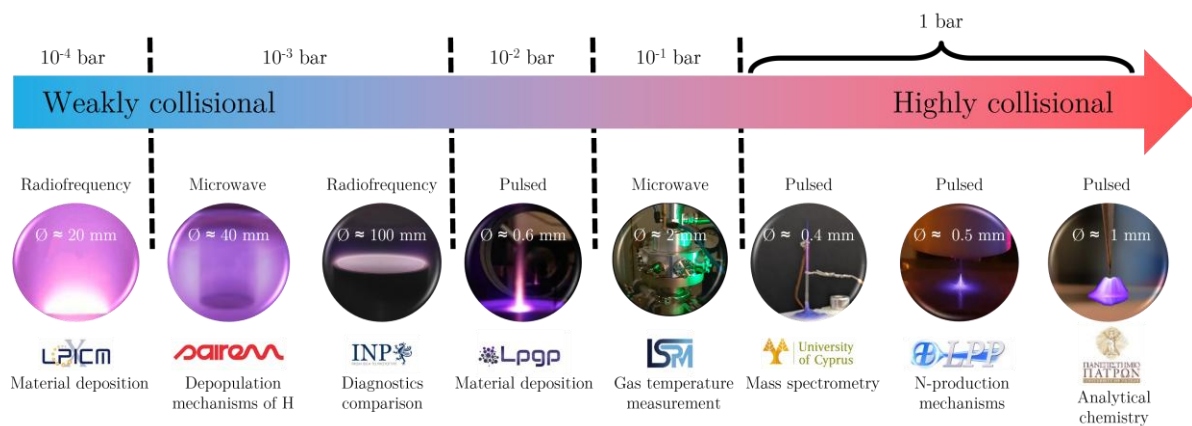


Figure 1: A selection of plasmas investigated using the TALIF technique within the LaSPM platform.

I will present my career path, starting with my PhD dedicated to the study of atmospheric-pressure cold plasmas, followed by several postdoctoral experiences, and leading to my current position as a research engineer. I will highlight my involvement in the creation and development of the LaSPM platform.

Références

- [1] Srinivasan L, et al., Appl. Phys. Lett. 124 104101 (2024)
- [2] Wubs J R, et al., Appl. Phys. Lett. 123 081107 (2023)

Statut : Permanent

Développement des microplasmas réactifs pour la synthèse des nanoparticules dans la phase gazeuse : mécanismes de production et optimisation du procédé

A. EL FARSY

¹*Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux (LSPM), CNRS, UPR 3407, Université Sorbonne Paris Nord, 99 Avenue J.B. Clement, 93430 Villetaneuse, France*

mél: abderzak.el-farsy@lspm.cnrs.fr

Tout d'abord, dans cette présentation, je vais revenir sur mon parcours universitaire, mes expériences post-doctorat et les activités transverses dont j'ai été impliquées.

Ensuite je présenterai les résultats de recherche obtenus les plus marquant. Cela concerne :

- la caractérisation de décharge réactive magnétron pulsée haute puissance (r-HiPIMS) par la fluorescence induite par diode laser et la spectrométrie de masse résolues en énergie et en temps,
- l'étude de l'interaction du faisceau d'e- haute énergie (~60 keV) avec la poudre métallique en procédé de fabrication additive par spectroscopie d'absorption et sonde électrostatique,
- et la caractérisation d'une décharge DBD confinée dans un système micro fluidique.

Enfin mon projet de recherche au LSPM sera brièvement introduit.

Modification de matériaux semi-transparents par lasers à impulsions ultra-brèves

P. Sopeña¹

¹Laboratoire LP3 (UMR7341), CNRS, Aix-Marseille Université, 13009 Marseille, France
mél: pol.sopena-martinez@univ-amu.fr

Le traitement laser ultrarapide constitue une méthode puissante et largement exploitée pour modifier les propriétés structurales des matériaux. L'intensité intrinsèquement élevée des impulsions femtosecondes focalisées permet d'altérer aussi bien la surface que le volume de matériaux transparents par absorption multiphotonique. Dans ce cadre, de nombreuses avancées ont été réalisées, telles que le stockage optique 5D dans la silice, la fabrication d'éléments optiques et de guides d'ondes dans le saphir, le soudage laser par transmission ou encore l'élaboration 3D de microstructures polymères [1]. Cependant, la transposition de ces capacités à d'autres matériaux d'intérêt présentant une étroite bande interdite ou une structure interne hétérogène demeure particulièrement complexe, la modification sous-surface étant rarement atteignable. D'une part, la bande interdite étroite (1,12 eV) et l'indice de réfraction élevé (~3,5) des semi-conducteurs tels que le silicium entraînent une délocalisation de la lumière, marquée par des distorsions linéaires et non linéaires ainsi qu'un écran préfocal plasma, limitant ainsi la délivrance d'énergie au foyer [2]. D'autre part, les matériaux hétérogènes (polymères granulaires, céramiques polycristallines ou composites) présentent une structure qui complique la formation d'un foyer sous la surface en raison de la diffusion et la diffraction [3]. Dans ce contexte, je propose plusieurs approches pour compenser ces effets de propagation indésirables afin de permettre une modification volumique dans les semi-conducteurs et les matériaux diffusants. Une telle avancée ouvrirait non seulement de nouvelles possibilités pour l'usinage laser, mais également pour le développement d'applications innovantes en microélectronique, microfluidique ou biomédecine.

Plus précisément, mes recherches passées et actuelles se sont concentrées sur des stratégies de mise en forme temporelle visant à induire des modifications volumiques dans les semi-conducteurs. Ces approches incluent : l'utilisation de trains d'impulsions THz ultracourtes pour le découpage du GaAs [4], d'impulsions nanosecondes pour le soudage par transmission [5], de longueurs d'onde dans l'infrarouge moyen pour le traitement étendu des semi-conducteurs [6], ainsi que de techniques d'optique plasma à double impulsion pour accroître la résolution et la reconfigurabilité des puces en Si [7]. En parallèle, j'ai initié des travaux sur le traitement de matériaux diffusants à l'aide de faisceaux non diffractifs. L'emploi de faisceaux de Bessel personnalisés a notamment démontré son efficacité pour améliorer le perçage de circuits imprimés composites en compensant la diffusion interne [8]. Les perspectives de recherche incluent désormais l'exploration d'approches actives de mise en forme de faisceaux dédiées au soudage laser de céramiques polycristallines.

Références

- [1] K. Sugioka, Y. Cheng, Y. Light: Science & Applications **3**(4), e149–e149 (2014)
- [2] M. Chambonneau, D. Grojo, O. Tokel, F.Ö. Ilday, S. Tzortzakis, S. Nolte, Laser & Photonics Reviews **15**(11), 2100140 (2021)
- [3] S. Gigan, et al. Journal of Physics: Photonics **4**, 042501 (2022)
- [4] A. Wang, P. Sopeña, D. Grojo, International Journal of Extreme Manufacturing **4**(4), 045001 (2022)
- [5] P. Sopeña, A. Wang, A. Mouskeftaras, D. Grojo, Laser & Photonics Reviews **16**(11), 2200208 (2022)
- [6] P. Sopeña, N. Ganguly, G. Spühler, A. Selivanau, D. Grojo, Optics & Laser Technology **179**, 111419 (2024)
- [7] A. Wang, A. Das, V.Y. Fedorov, P. Sopeña, S. Tzortzakis, D. Grojo, Nature Communications, **16**(1), 6733 (2025)
- [8] P. Sopeña, N. Sanner, Optics & Laser Technology, under review (2025)

Statut : permanent

Plasma – liquid interaction for water activation and decontamination

Nguyễn Trường Sơn¹, Thierry Belmonte¹, Gérard Henrion¹, Thomas Gries¹, Cédric Noel¹, Gregory Marcos¹

¹Université de Lorraine, CNRS, IJL, F-54000 Nancy, France

Email : truong-son.nguyen@univ-lorraine.fr

Climate change, water contamination, and the growing demand for food caused by urbanization, industrialization, and population growth are among the most pressing challenges facing humanity today. Meeting these challenges requires the development of advanced technologies that can reduce the harmful impact of polluted water sources while at the same time supporting agricultural practices that are both productive and sustainable. The main goal of my work is to investigate the potential of non-thermal plasma as an environmentally friendly alternative to conventional approaches, with particular attention to two areas of application: the treatment of contaminated water and the activation of water for agricultural use.

Non-thermal plasma offers several promising advantages that make it an attractive candidate for these purposes. In agriculture it has the potential to improve productivity by enhancing plant growth, increasing resilience to stress, and raising yields, while reducing reliance on chemical fertilizers and pesticides. In the field of water treatment its strong oxidative properties enable the breakdown of pollutants, the inactivation of pathogens, and the restoration of water quality at a time when natural sources are increasingly threatened by human activities. By integrating these two dimensions, my research aims to show that plasma-based processes can contribute meaningfully to sustainable practices that balance food production with environmental protection.

Achieving this goal requires more than practical demonstrations. It also depends on a deeper understanding of the fundamental mechanisms that govern plasma–liquid interactions, including the formation of reactive species, their behavior in aqueous environments, and their influence on biological systems. Careful evaluation of energy efficiency is essential to determine whether these processes can be viable at larger scales. Equally important is strict adherence to safety standards, since the responsible implementation of plasma technologies in industrial and agricultural contexts must ensure both human and environmental well-being.

Because of the complexity of these challenges, my work places strong emphasis on interdisciplinary collaboration. It draws knowledge from plasma physics, chemistry, environmental science, biology, and agronomy in order to establish a solid scientific foundation for both current applications and future possibilities. My broader ambition is that this research will contribute to the emergence of a new scientific field that directly addresses environmental and agricultural concerns through plasma technology. By encouraging dialogue between scientific communities and promoting the responsible use of innovative methods, I hope my work will help define pathways toward practices that preserve natural resources, strengthen food security, and support global sustainability in the long term.

Les plasmas induits par laser pour la quantification d'éléments légers en rétention dans les métaux – applications nucléaires

A. Favre¹, A. Bultel¹, E. Bernard², F. Montupet-Leblond², S. Peillon³, F. Gensdarmes³

¹ CORIA, UMR 6614, CNRS, URN & INSA Rouen, 76801 Saint-Etienne du Rouvray Cedex, France

² CEA, IRFM, F-13108, Saint Paul-lez-Durance, France

³ IRSN, PSN-RES/SCA/LPMA, Saclay, Gif-sur-Yvette, 91192, France

mél: aurelien.favre@coria.fr

Les plasmas induits par laser peuvent être utilisés pour déterminer la composition multi-élémentaire d'échantillons solides, liquides ou gazeux. Éclairé par une impulsion laser focalisée, l'échantillon accède localement à des niveaux de température très élevés (quelques 10^4 K) permettant la production d'un plasma dont les niveaux de pression sont également très élevés (quelques GPa). Durant sa phase de recombinaison (quelques μ s), un continuum est d'abord émis, qui fait ensuite place à de l'émission de raies ioniques puis atomiques. L'analyse de ce rayonnement peut conduire à la composition du plasma ainsi qu'à celle de l'échantillon si des hypothèses fondamentales sont remplies : parmi elles, l'équilibre thermodynamique local (ETL). Ce diagnostic est appelé « *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy* » (LIBS). Lorsque la composition est déterminée par simulation du rayonnement observé sans utilisation d'étalons préalables, on parle de *Calibration Free-LIBS* (CF-LIBS).

Dans le cadre de cette communication, nous présentons d'abord la validation du code MERLIN qui permet la simulation de l'émission de n'importe quel mélange tant que les conditions thermodynamiques de ce dernier sont compatibles avec l'ETL (Fig. 1) [1]. Nous détaillons ensuite les capacités analytiques de ce code couplé aux méthodes de *machine learning* [2]. Enfin, nous discutons de ses performances pour la quantification du tritium en rétention solide [3][4] ou du deutérium en rétention dans des particules en suspension (aérosol) [5].

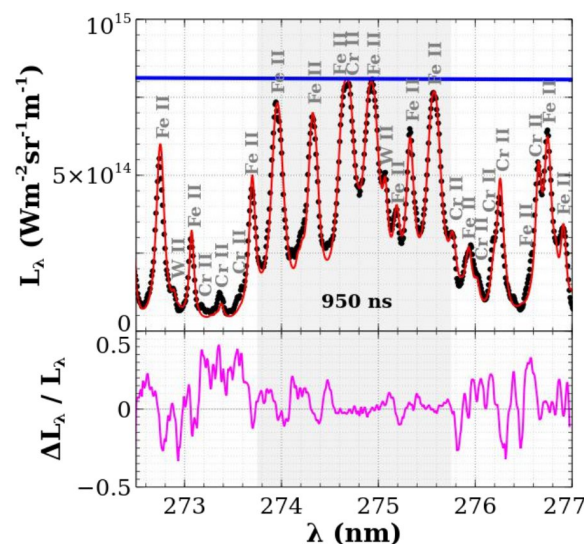


Figure 1 : Comparaison de l'émission expérimentale (en noir) et simulée par MERLIN (en rouge) d'un plasma induit par laser d'Eurofer97 en environnement d'Ar. La luminance spectrale du corps noir est indiquée en bleu.

Références

- [1] A. Favre *et al.*, J. Quant. Spectro. Rad. Transf. **330**, 109222 (2025)
- [2] A. Favre *et al.*, Spectrochim. Acta B **224**, 107082 (2025)
- [3] A. Favre *et al.*, J. Nucl. Mat. **591**, 154924 (2024)
- [4] A. Favre *et al.*, Phys. Scr. **99**, 035609 (2024)
- [5] A. Favre *et al.*, ASNR internal report No2025-00104 (2025)

Statut :

Oraux - Jeunes

Modeling Plasma–Dust Interactions in Argon CCRF Discharges

G. Saab¹, C. Lahoud², S. Youssef¹, M. Mikikian³.

¹ Faculty of Engineering and Architecture, Saint Joseph University of Beirut, Beirut, Lebanon

² University of Balamand, Faculty of Engineering, Al Koura Campus, P.O. Box 100 Tripoli, Lebanon

³ GREMI, UMR 7344, CNRS - Université d'Orléans, 14 rue d'Issoudun, BP6744, 45067 Orléans Cedex 2

Mél : ghinab.saab@gmail.com

Plasmas that contain dust, known as dusty plasma, are made up of electrons, ions, and charged solid particles. The dust can vary in size from nanometers to millimeters. These plasmas exist in nature, such as in space and planetary environments, and are also used in nanotechnology, microelectronics, and fusion devices.

The objective of this work is to study the effect of nanoparticles within plasma under different conditions. To achieve this, we will integrate the nanoparticles into the model, taking into consideration the fact that these particles become electrically charged within the plasma. This charge depends on the plasma parameters and, in turn, influences the surrounding plasma, resulting in a strong coupling of the equations.

To simulate a dusty radio-frequency argon discharge within a CCP reactor with dimensions following the PKE-Nefedov configuration [1], we will employ a one-dimensional fluid model using the Comsol 6.3 Software [2]. In this model, we will figure out the effect of dust nanoparticles on electron density, temperature, electric potential, and the dust charge number at different dust radius ranges. The results are compared to the findings from home-made simulations by Akdim et al [1]. Remarkably, a high level of agreement exists between the two sets of results.

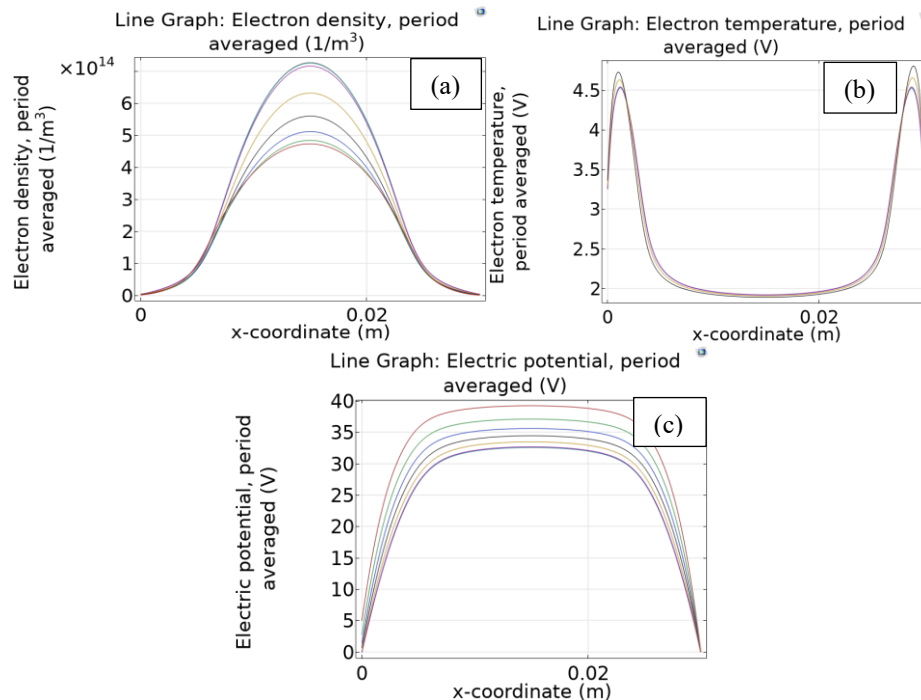


Figure 1 : Electron density (a), temperature (b), and electric potential (c) variations for several values of dust density at radius $rd=100$ nm

Références

- [1] M.R. Akdim , and W.J. Goedheer, "Modelling of voids in colloidal plasma", Phys. Rev. E., 65, 015401 (R) (2002)
- [2] COMSOL Multiphysics, v.6.3, COMSOL AB, Stockholm,Sweden

Statut: doc3

Alternative plasmonic nanomaterials based on transition metal nitrides: laser-ablative fabrication and appealing prospects for biophotonic applications

Andrei Pastukhov, Andrei V. Kabashin

Aix Marseille Univ, CNRS, LP3, 13288, Marseille, France

mél: andrei.pastukhov@univ-amu.fr

This presentation will overview results of our on-going activities on laser-ablative synthesis of nanomaterials of alternative plasmonics based on transition metal nitrides (TiN, ZrN, HfN) using femtosecond laser ablation in liquids. It will show how these nanostructures provide plasmonic resonances shifted into the biological transparency window, together with excellent stability, scalability, and biocompatibility, thus overcoming key limitations of noble metals. The presentation will describe TiN nanoparticles as sensitizers of photothermal therapy [1] and contrast agents in photoacoustic imaging [2]. It will also highlight ZrN nanoparticles that combine strong plasmonic absorption with near-field enhancement, enabling both highly efficient photothermal therapy and sensitive SERS-based bioimaging [3]. Special attention will be given to HfN nanoparticles, which were synthesized in ultrapure form and exhibited exceptional photothermal conversion efficiency (~62%) along with theranostic potential linked to the high atomic number of hafnium, opening perspectives for combined photothermal and radiological applications [4]. The presentation will emphasize that all these nanomaterials are ligand-free, ultraclean, and colloidally stable, ensuring low cytotoxicity and reliable biological performance. In vitro experiments confirmed their excellent compatibility with living systems, while surface modifications such as PEGylation further extended their biomedical usability. Taken together, these studies demonstrate that transition metal nitride nanoparticles represent a new generation of plasmonic nanomaterials with broad prospects for cancer phototherapy, multimodal imaging, biosensing, and advanced nanomedicine.

Références

- [1] A. A. Popov, et al, Sci. Rep. **9**, 1194 (2019).
- [2] A. Das, et al, Appl. Phys. Lett. **121**, 083701 (2022).
- [4] A. I. Pastukhov et al, ACS Appl. Nano Mater. **7**, 18737 (2024)
- [5] A. I. Pastukhov et al, Nanoscale, **16**, 17893 (2024).

Statut : post-doc

Claquage aux distances sub-micrométrique : si Paschen avait su

B. Disson,¹ N. Bonifaci,² R. Dussart,¹ O. Lesaint,² C. Poulain,³ and S. Iseni¹

¹ GREMI, UMR 7344 CNRS / Université d'Orléans, Orléans, FRANCE

² G2ELab UMR 5269 CNRS, Univ. Grenoble Alpes, Grenoble INP, Grenoble, FRANCE

³ Université Grenoble Alpes, CEA, Leti, Grenoble, France

mél: baptiste.disson@univ-orleans.fr

La tension de claquage d'un gaz peut être prédit en bonne approximation par l'intermédiaire de la loi empirique de Paschen. Cette approche décrit les processus d'ionisation de Townsend et suggère que la tension de claquage (V_b) devrait augmenter pour un faible écart entre les électrodes.

Cependant, de nombreuses études expérimentales et de simulations ont montré une chute de V_b pour des distances inter-électrodes, inférieures à 1 micromètre [1]. Cela remet en question les capacités d'isolation des gaz pour de faibles distances inter-électrodes : c'est donc une problématique majeure compte tenu de la miniaturisation des systèmes électroniques [2].

Ces travaux expérimentaux introduisent une nouvelle méthode pour d'étudier les déviations par rapport à la loi de Paschen : l'approche et l'analyse statistique. V_b est mesurée pour des décharges dans l'argon à différentes pressions (0,5 - 2 bar) entre des électrodes en or espacées de 100 ± 25 nm à $6,0 \mu\text{m}$.

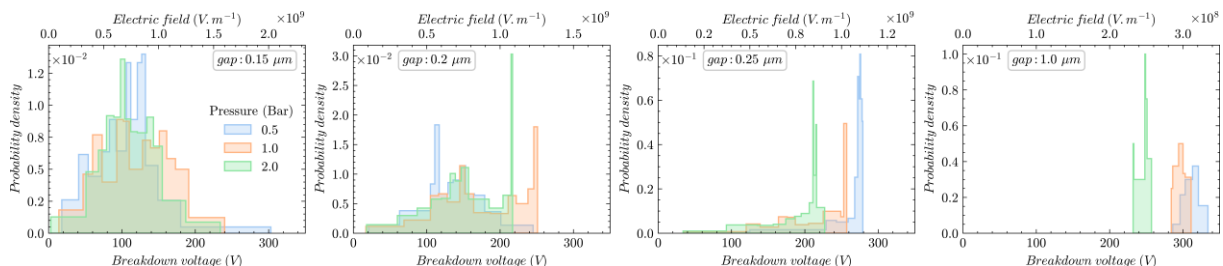


Figure 1 : Histogramme des tensions de claquage dans l'argon pour des distances allant de $0.15 \mu\text{m}$ à $1 \mu\text{m}$

En s'assurant de la répétabilité de l'expérience, faire un grand nombre de mesure de la tension de claquage permet d'estimer la fonction de densité de probabilité. Cette dernière met en évidence deux populations et donc une compétition entre deux mécanismes. L'une des populations dépend de la phase gazeuse semblant suivre la théorie de Paschen, l'autre se produit toujours à la même valeur de champs électrique cohérente avec celle attendu pour des émissions de champ.

Les résultats de cette étude sont disponibles dans [3]

Remerciements

Cette recherche a été entièrement soutenue par l'Agence nationale de la recherche française (ANR) dans le cadre du projet MIDICODE (ANR-22CE51-0022-01).

Références

- [1] D B Go and A Venkattraman 2014 J.Phys.D:Appl.Phys. 47 503001
- [2] C H Chen, J Andrew Yeh and P J Wang 2006 J. Micromech. Microeng. 16 1366–1373
- [3] J. Croyé, A.T. Mesur, A. Larache, J. Optimistic Exp. **96**, 69 (2018)
- [4] B. Disson, N. Bonifaci, O. Lesaint, C. Poulain, R. Dussart and S. Iséni, 2025, Phys. Rev. E, accepted

Statut : doc3

Diagnostic de plasmas d'arc en courant continu en conditions aéronautiques : application à la détection

A. Hellé¹, R. Hugon¹, F. Brochard¹ et G. Marcos¹

¹ Université de Lorraine, CNRS, Institut Jean Lamour UMR 7198, Nancy, France

mél: arthur.helle@univ-lorraine.fr

La détection des défauts d'arc électrique constitue un défi majeur pour l'électrification des systèmes de transport, en particulier dans le secteur aéronautique, ainsi que pour l'adoption généralisée des systèmes d'alimentation en courant continu (DC). Pour répondre à cette problématique, des méthodes de détection prometteuses exploitent l'apprentissage automatique afin d'identifier la formation de plasma d'arc au sein de réseaux de câbles complexes. Toutefois, ces méthodes reposent sur de vastes bases de données difficiles à constituer et à valider. Le renforcement de la fiabilité de ces bases de données, grâce à une compréhension physique plus approfondie du comportement des arcs est donc essentiel.

Notre approche repose sur l'analyse des fortes perturbations observées dans les mesures électriques après l'amorçage du plasma d'arc [1]. En employant des techniques avancées de diagnostic du plasma, incluant la stéréoscopie par caméra rapide, la spectroscopie d'émission optique et les mesures électriques, nous visons à affiner la compréhension du comportement du plasma d'arc dans des conditions de défaut aéronautiques. Cela permettra d'identifier des descripteurs clés et leur corrélation avec la dynamique du plasma, conduisant ainsi à des méthodes de détection des défauts d'arc plus précises et plus robustes.

Cette approche permet déjà de corréler les fluctuations électriques avec les phénomènes d'interaction plasma-surface. La surface des matériaux en contact avec le pied d'arc subit un échange d'énergie intense. L'interface entre le plasma d'arc et l'électrode est principalement composée de métal liquide qui peut être libéré dans le plasma. La corrélation entre l'éjection de gouttelettes et les pics de courant sera discutée, ainsi qu'une compréhension approfondie de ce phénomène obtenue grâce à des méthodes de suivi d'objets. La signature des explosions de bulles de métal liquide a également été identifiée, et nous démontrerons comment elle pourrait être utilisée pour la détection de défauts d'arc dans des conditions aéronautiques, au moyen d'une première approche de détection automatique [1].

Afin d'étudier la dynamique de la formation des bulles et son lien avec les interactions plasma-électrode, le comportement du plasma d'arc a enfin été analysé par stéréoscopie ultra rapide permettant une reconstruction 3D (Figure 1). Ces mesures apportent des informations précieuses sur les interactions plasma-électrode en étudiant le mouvement du pied d'arc ainsi que la déformation de la colonne de plasma.

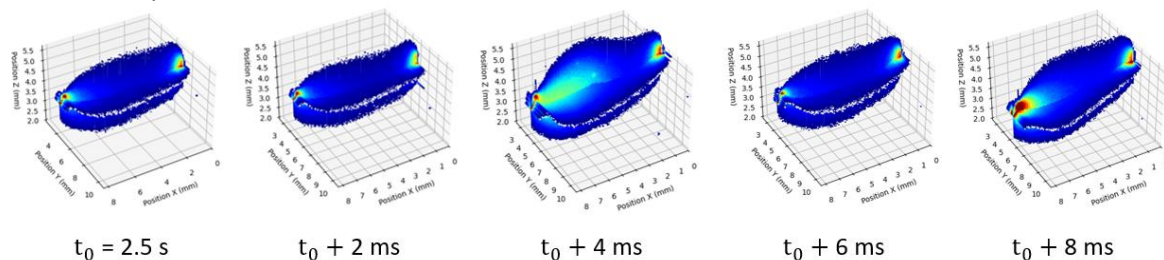


Figure 1 : Evolution au cours du temps d'un plasma d'arc reconstruit en 3 dimensions à partir d'un montage de stéréoscopie ultra rapide

Référence

[1] A. Hellé, R. Hugon, F. Brochard, G. Marcos, Journal of Physics D: Applied Physics **57**, 425201 (2024)

Statut: doc3

Posters

Atomistic investigation of the oxidation and laser synthesis of nickel nanoparticles

A. Toulil¹, E. Kachan¹, YG. Yingling², TE. Itina¹

¹ UJM-Saint-Etienne, CNRS, Laboratoire Hubert Curien UMR5516CNRS, F-42000, Saint-Etienne, Loire, France.

² Department of Materials Science and Engineering, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina 27695, United States.

mél: abderrazak.toulil@univ-st-etienne.fr

Nickel nanoparticles (NiNPs) exhibit unique magnetic and chemical properties that make them attractive for applications in catalysis, sensing, and nanotechnology. In this study, reactive molecular dynamics simulations were used to investigate the oxidation behavior of NiNPs in oxygen-rich environments, focusing on the roles of particle size, temperature, and pulsed thermal excitation. The results reveal that oxidation proceeds via a surface-limited mechanism, with reaction rates increasing systematically with nanoparticle diameter and temperature. Simulated pulsed heating, designed to mimic femtosecond laser excitation, significantly enhances oxidation by inducing transient high-temperature conditions that promote irreversible surface reactions. These findings provide fundamental insight into the size- and temperature-dependent oxidation dynamics of NiNPs and underscore the importance of laser-induced thermal histories in controlling their reactivity during laser-based processing or synthesis.

Keywords : Nanoparticles, Laser, Oxidation, Molecular Dynamics.

Statut : doc1

Characterization of Nanoparticle Growth and Plasma Chemistry in Methane/Argon Capacitively Coupled RF Plasma

A.R Daher¹, L. Gimenez¹, I. Géraud-Grenier², A. Caillard¹, M. Mikikian¹

¹ GREMI - UMR7344, CNRS / Université d'Orléans, 14 rue d'Issoudun, 45067 Orléans, France.

² GREMI - UMR7344, CNRS / Université d'Orléans, 63 rue de Lattre de Tassigny, 18020 Bourges, France

mail: abdel-rahman.daher@univ-orleans.fr

Reactive plasmas based on hydrocarbon gases are pivotal in the synthesis of carbon-based nanomaterials, with applications spanning optoelectronics, microelectronics, and energy storage. A critical challenge in plasma research is the precise control of nanoparticle growth and transport dynamics to optimize their functional properties [1]. In this study, we investigate methane reactivity in a low-pressure, capacitively coupled radio-frequency plasma using multiple diagnostic techniques. We characterize nanoparticle growth dynamics during cyclic growth processes using scanning electron microscopy, quartz crystal microbalance, and discharge current measurements. Additionally, we analyze plasma chemistry by tracking the temporal evolution of key neutral and ionic species via mass spectrometry (MS) [2]. Results indicate that nanoparticle size increases nearly linearly, reaching a critical diameter of approximately 150 nm by the end of a growth cycle (Figure 1-a). MS data reveal that C_2H^+ ions are produced during nanoparticle growth (Figure 1-b), while no C_2H^+ formation is observed under dust-free plasma conditions (Figure 1-c). This suggests that C_2H^+ plays a critical role in the mechanisms driving NP formation.

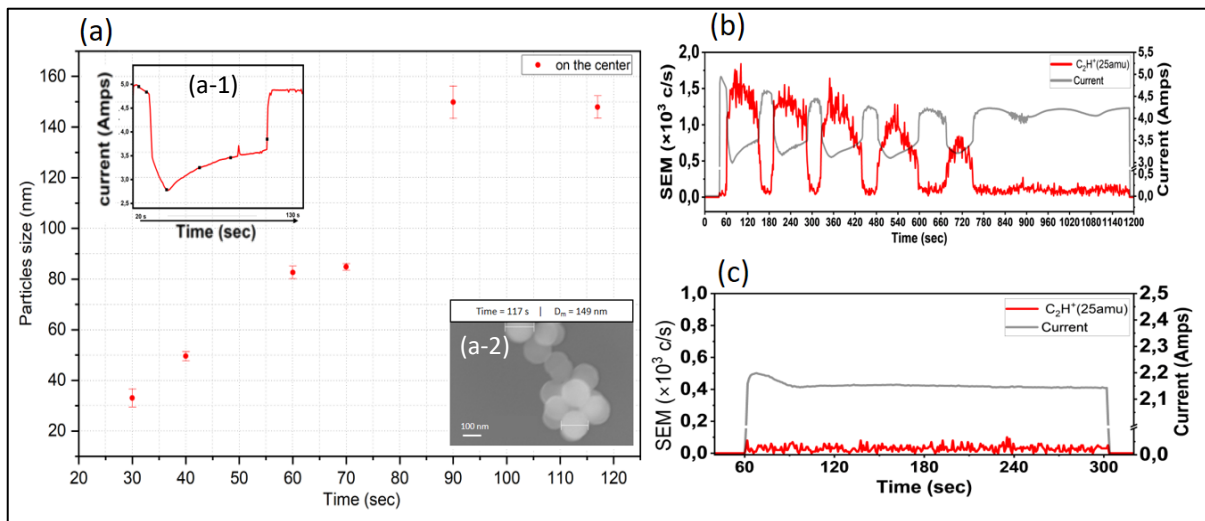


Figure 1. (a) Nanoparticle growth during a generation cycle: (a-1) discharge current indicating measurement points; (a-2) SEM image at the end of the cycle at 117 s showing spherical morphology and particle size. Temporal evolution of C_2H^+ ions in (b) dusty plasma and (c) dust-free plasma conditions.

Références

- [1] Z. Marvi, E. von Wahl, T. Trottenberg, and H. Kersten, "Spatiotemporal sampling of growing nanoparticles in an acetylene plasma," J. Appl. Phys., vol. 127, no. 17, p. 173301, (2020).
- [2] C. Deschenaux, A. Affolter, D. Magni, C. Hollenstein, and P. Fayet, "Investigations of CH_4 , C_2H_2 , and C_2H_4 dusty RF plasmas by means of FTIR absorption spectroscopy and mass spectrometry," J. Phys. D, Appl. Phys., vol. 32, no. 15, pp. 1876–1886, (1999).

Statut : doc 2

Characterization of the liquid surface deformation resulting from a pin-water discharge using free-surface synthetic Schlieren

F. Dyson¹, E. Moreau¹, T. Orriere¹

¹ Institut PPrime, Université de Poitiers, ISAE ENSMA, CNRS, UPR 3346, Poitiers, France

mél: fredric.dyson@univ-poitiers.fr

This study deals with a three-dimensional measurement of the water surface during pin-water plasma interaction. Different discharge regimes are studied, from onset corona to stable glow by applying a slow triangle waveform. The effect of different liquid conductivities on the deformation of the liquid electrode is also studied.

Plasma discharges in contact with liquids generate reactive species which drive a wide range of useful chemistries for relatively low energy input. Thus, plasma-liquid interactions have gathered a lot of attention in many areas of research [1]. The reactive species created in the gas phase must react with the liquid phase before they recombine and no longer contribute to the desired chemistry. Understanding the interface could provide useful insight for optimizing this. The liquid electrode in many configurations is deformed, by the electric field, ionic wind or other phenomena, which will modify the electric field and the discharge. Few papers have studied experimentally the shape of the interface. Using the free-surface synthetic Schlieren (FS-SS) method detailed in [2], it is possible to measure the shape of the liquid electrode in three dimensions.

Our reactor consists of a tungsten needle ($r = 100 \mu\text{m}$) placed 2 mm above the centre of the water contained in a cubic glass cuvette ($30 \times 30 \times 30 \text{ mm}^3$). A platinum wire is placed in the water for grounding and a slow triangular wave is applied to the pin. The conductivity of the solution is varied from 0.2 to 10.0 mS.cm^{-1} by adding KCl. For the FS-SS measurements, light is shone through a motif situated above the water and reaches the lens of the camera placed below the cuvette. Shown in figure 1 is the height of the free-surface with a conductivity of 1 mS.cm^{-1} at 1.7 kV.

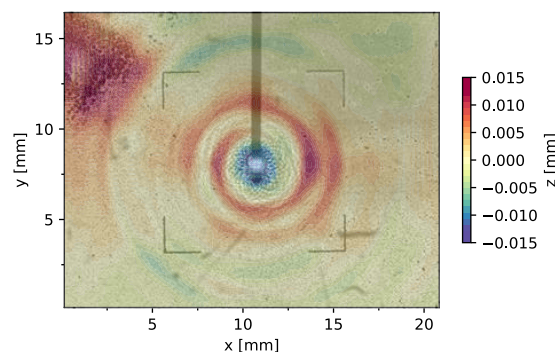


Figure 1: Height map of the water surface during unstable glow of 1 mS.cm^{-1} at 1.7 kV and 2.5 mA.

Capillary waves originate from the centre and propagate outwards with a wavelength of approximately 1.8 mm. In the top left corner, bubbles formed from electrolysis perturb the measurement. Omitting this, the surface reaches a maximum height of $13 \mu\text{m}$ and a minimum of $12 \mu\text{m}$. During the positive half cycle, a Taylor cone appears at onset voltage, but soon after the surface is pushed inwards due to the presence of ionic wind. During the negative half cycle, the surface is pushed down with a wider depression than during positive voltage.

[1] Bruggeman, P. J. et al. Plasma Sources Sci. Technol., **25**, 053002 (2016).

[2] Moisy, F., Rabaud, M. & Salsac, K. Exp Fluids, **46**, 1021–1036 (2009).

Statut : doc2

Guide d'onde plasma généré par filamentation laser dans l'air

N. Cantonnet-Paloque¹, T. Clark¹, M. R. Edwards², V. Perez-Ramirez², D. S. Singh², A. Houard¹

¹Laboratoire d'Optique Appliquée, ENSTA, CNRS, École Polytechnique, Institut Polytechnique de Paris, 181 Chemin de la Hunière, 91120 Palaiseau, France

²SAPPHIRE Laboratory, Stanford University, 418 Panama Mall, CA 94305, Stanford, United States of America
Email : nicolas.cantonnet@ensta.fr

Les rayonnements térahertz sont utiles pour de nombreuses applications [1-2] mais leur propagation dans l'air reste limitée en raison de leur forte divergence. Une solution pourrait résider dans l'utilisation d'optiques plasma, et plus spécifiquement de guides d'onde plasma générés dans l'air. Parce que leur fréquence de Langmuir se situe dans le domaine THz, ces plasmas atmosphériques peuvent induire de fortes variations d'indices à ces longueurs d'onde, permettant de réaliser l'équivalent de fibres creuses ou de fibres à saut-d'indice [3].

Dans cette étude, nous proposons d'étudier le guidage de rayonnements térahertz dans un guide d'onde plasma cylindrique généré par un puissant laser. Ce guide repose sur la capacité des impulsions laser ultra-courtes à créer des canaux plasma de plusieurs mètres de long par filamentation [4-7]. La première étape consiste à étudier numériquement les paramètres optimaux du guide plasma, avant l'étude expérimentale (prévue en 2026).

Pour optimiser les paramètres du guidage, deux codes de simulation ont été utilisés. Le premier permet de modéliser les modes d'ondes pouvant se propager dans les guides d'ondes et ainsi d'étudier les caractéristiques idéales du plasma et ses dimensions afin d'obtenir la plus grande distance d'atténuation des térahertz dans un contexte expérimentalement réalisable [8]. En parallèle, un second code plus lourd a été utilisé afin d'analyser plus finement la propagation des térahertz dans ces guides [9], fournissant des estimations précises des longueurs d'atténuation.

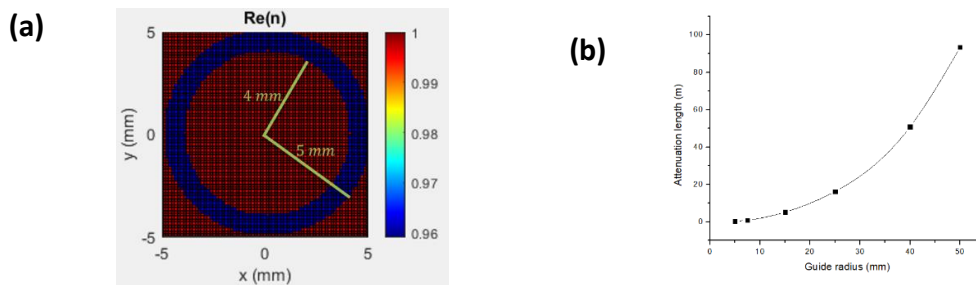


Figure 1 : (a) Carte 2D de la partie réelle de l'indice de réfraction calculée par le code. (b) Evolution de la longueur d'atténuation des térahertz dans le guide en fonction de son rayon.

References:

1. V.P. Wallace *et al.* Faraday Discuss **126**, 255 (2004).
2. H. H Nguyen Pham, *et al.* APL Photonics **2**, 056106 (2017).
3. Musin *et al.*, Appl. Opt. **46**, 5593 (2007).
4. A. Couaïron, and A. Mysyrowicz, Phys. Rep. **441**, 47-189 (2007).
5. S. Fu, B. Mahieu, A. Mysyrowicz, A. Houard, Opt. Lett. **47**, 5228 (2022).
6. M. Alshershby, *et al.* J. Phys. D: Appl. Phys. **45**, 265401 (2012).
7. M. Châteauneuf, Appl. Phys. Lett. **92**, 091104 (2008).
8. A. Mendoza-Suarez, *et al.* J. Opt. Soc. Am. A **18**, 961-965 (2001).
9. A. Couaïron, *et al.* The European Physical Journal Special Topics **199**, 5 (2011).

Graine de farfanet (sprite): le streamer à deux têtes s'invite au labo

B. Disson¹, G. B. Sretenović², V. V. Kovačević², N. Bonifaci³, C. Pichard⁴, C. Cachoncinlle¹, A. Khacef¹ et S. Iséni¹

¹ Groupe de Recherches sur l'Énergétique des Milieux Ionisés (GREMI)-UMR7344 CNRS / Université d'Orléans, 45067 Orléans, FRANCE

² Faculty of Physics, University of Belgrade, PO Box 44, 11000 Belgrade, SERBIE

³ Laboratoire de Génie Électrique de Grenoble (G2Elab) -UMR5269 CNRS / Grenoble INP / Université Grenoble Alpes, 38042 Grenoble, FRANCE

⁴ Polytech Orléans, Université d'Orléans, 45067 Orléans, FRANCE

mél: sylvain.iseni@univ-orleans.fr

Si l'origine de la foudre et autres phénomènes lumineux transitoires de la haute atmosphère terrestre font toujours l'objet de discussions, les hypothèses visant à mieux comprendre les conditions de leur existence s'affinent petit-à-petit. La présence d'une particule solide chargée (e.g. hydrométéore, poussière,...) est souvent considérée comme élément déclencheur de phénomènes électriques atmosphériques, rendant l'air soudainement conducteur avec le passage d'un courant électrique croissant : c'est le claquage du gaz. Cependant, des résultats issus de modélisations numériques –et publiés en 2012 [1], ont montré qu'il serait effectivement réaliste d'amorcer un phénomène de même nature par un autre mécanisme ; Ceci directement dans l'air –et donc sans la contribution d'une particule solide chargée– moyennant des conditions d'ionisations initialement réunies. La phase embryonnaire des Sprites, Elfes et autres farfadets (décharges atmosphériques naturelles) serait alors un streamer à double-tête. Ce concept a été initialement étudié théoriquement, servant de base à l'élaboration de modèles numériques pour simuler les décharges de type streamer à polarité positive et négative. En revanche, il semble qu'à l'évidence, aucun travail expérimental n'a pu jusqu'alors valider les conditions réelles de son existence. Notre étude présente la première expérience en laboratoire de streamer à double-tête visant à recréer un phénomène élémentaire observé dans la nature dès la fin des années 90 [2]. Ainsi, nous avons été en mesure de produire, un streamer à double-tête avec une grande reproductibilité et stabilité. Notre étude apporte à ce sujet multidisciplinaire une compréhension plus approfondie des processus physiques élémentaires pour soutenir la communauté des sciences de l'atmosphère au moyen d'un modèle expérimental.

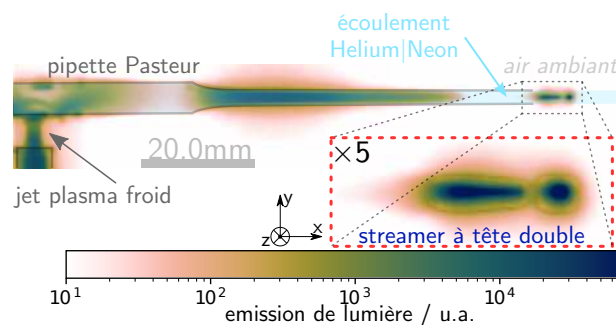


Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental permettant, à partir d'un jet de plasma froid et d'une pipette Pasteur, de reproduire le phénomène élémentaire de streamer à tête double sans électrode. Ce dernier prend naissance dans un écoulement de gaz rare fendant l'air ambiant et permettant d'assurer la formation d'une colonne pré-ionisée, favorable à la création du phénomène.

Références

- [1] N. Liu, B. Kosar, S. Sadighi, J. R. Dwyer, H. K. Rassoul, Phys. Rev. Lett. 109, 025002 (2012).
- [2] S. Iséni et al., Phys. Rev. E. 111, L023202 (2025).

Statut :Doctorant 3^e année

Meter-scale streamer discharges assisted by femtosecond laser filamentation

Thomas Clark, Quentin Gutierrez, Leonid Arantchouk, Magali Lozano, and Aurelien Houard

Laboratoire d'Optique Appliquée, ENSTA, Ecole Polytechnique, CNRS, Institut Polytechnique de Paris,
828 Boulevard des Maréchaux, 91762 Palaiseau Cedex, France
Email: Thomas.clark@ensta.fr

The advent of intense ultrashort laser systems ($P > 5$ GW, $\tau < 1$ ps) has demonstrated their ability to generate weakly ionized plasma columns in the atmosphere [1]. Known as femtosecond laser filamentation, this phenomenon has provided new tools for the control of high-voltage (HV) discharges. Laser filamentation has been actively investigated for triggering HV devices [2–4], generating plasma antennas [5], and controlling lightning [6, 7].

We used filaments induced by a femtosecond terawatt laser to control the propagation of a streamer discharge in air, over a distance of 1 m. This process gives rise to laser-guided spark discharges characterized by a straight geometry. A triggered Tesla voltage generator delivering voltage pulses up to 300 kV is used to produce the spark.

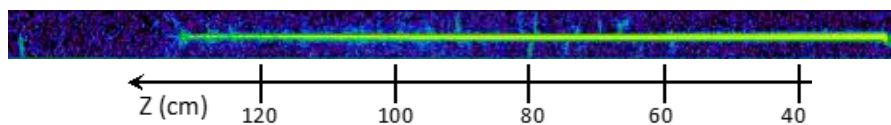


Figure 1: Fast camera image of a meter scale guided discharge

Using a fast camera and electric diagnostics we studied the development of the laser-guided discharges. We found that the presence of the filament modifies the characteristics of the streamers, a feature that remains poorly understood.

To investigate this guided streamer phase, we employed a drift–diffusion code called Chombo-Discharge [10] simulating the collisional front of the streamer in the presence of a laser filament. Preliminary results are presented here.

References

1. A. Couairon and A. Mysyrowicz, Phys. Rep. **441**, 47 (2007).
2. H. Pépin, et al., Phys. Plasmas **8**, 2532 (2001).
3. M. Rodriguez, et al., Opt. Lett. **27**, 772 (2002)
4. L. Arantchouk, et al., Appl. Phys. Letters **104**, 103506 (2014).
5. Y. Brelet, et al. Applied Physics Letters **101** (26), pp.264106 (2012).
6. J.-C. Diels, et al. Sci. Am. **277**, 50–55 (1997).
7. A. Houard, et al. Nat. Photon. **17**, 231–235 (2023).
8. R. Marskar, Journal of Open-Source Software, **8**(85), 5335 (2023).

Première caractérisation d'un propulseur ECRA alimenté à l'iode

V. Désangles¹, Q. Delavière--Delion¹, S. Carere^{1,2}, D. Packan¹, F. Boni¹, P.Q. Elias¹

¹ ONERA-DPHY, Université Paris-Saclay, 91123 Palaiseau, France

² Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Torino, 10129 Torino, Italy

mél: quentin.delaviere@onera.fr

La propulsion électrique des satellites, traditionnellement dépendante du xénon, est aujourd'hui confrontée à une hausse des coûts et à des difficultés d'approvisionnement. L'iode (I_2), abondant et économique, émerge comme une alternative crédible, offrant des performances comparables au xénon [1,2]. Avec une masse atomique similaire mais une énergie d'ionisation plus faible (à la fois pour ses formes moléculaire et atomique), l'iode présente un avantage majeur : il peut être stocké sous forme solide, éliminant ainsi le besoin de systèmes haute pression, contrairement au xénon gazeux. Cependant, son utilisation impose deux défis : un chauffage préalable pour le transformer en gaz plasmagène, et une corrosivité qui limite le choix des matériaux, posant notamment problème pour l'adaptation des cathodes dans les propulseurs de Hall et à grilles de moyenne et haute puissance [1,3].

Pour contourner ces obstacles, nous explorons l'utilisation d'un propulseur sans cathode neutralisatrice de type propulseur à résonance cyclotronique des électrons (ECRT) avec le prototype ECRA développé à l'ONERA [4]. Ce système, basé sur une décharge plasma micro-ondes pour l'ionisation et le chauffage des électrons et une tuyère magnétique pour l'accélération des ions, a déjà démontré des performances prometteuses avec le xénon [2]. Avec l'iode, notre objectif est d'analyser la composition du plasma (ions I_2^+ , I^+ , I^-) et son impact sur les performances du propulseur dans des conditions encore assez méconnues pour les plasmas d'iodes avec des basses pressions ($\sim 10^{-5}$ mbar) et des hautes températures électroniques (~ 30 eV). Un banc d'essai dédié, équipé d'un système d'injection d'iode et d'un pompage cryogénique, a permis de réaliser des tests stables du propulseur ECRA sur plusieurs dizaines d'heures, sans dégradation visible du propulseur ou des équipements (figure 1, photographie de droite). Pour une analyse approfondie, le banc a été instrumenté avec des sondes de Faraday, de Langmuir, un RPA et une curling probe, afin de mesurer le flux ionique, la densité et la température électronique, ainsi que l'énergie des ions. Une ligne de spectroscopie d'émission optique complète ces diagnostics.



Figure 1 : Propulseur ECRA en fonctionnement, de gauche à droite, avec de l'azote, du xénon et de l'iode.

Les résultats préliminaires révèlent des performances similaires entre l'iode et le xénon, suggérant une faible électronégativité du plasma d'iode. Ces observations ouvrent la voie à une étude plus intensive de la dynamique de l'iode dans les propulseurs ECRT.

Références

- [1] D. Rafalskyi, J. M. Martínez, L. Hahl, et al., Nature, 599, 7885, [doi](#), (2021),
- [2] J. Szabo, B. Pote, S. Paintal, et al., Journal of Propulsion and Power, vol. 28, no. 4, [doi](#), (2012).
- [3] P.S. Becke, N. G. Kottke, M. Vaupel et al., Journal of Electric Propulsion, 3, 1, [doi](#), (2024)
- [4] V. Désangles, D. Packan, J. Jarrige, S. Peterschmitt et al., Journal of Electric Propulsion, 2, 1, [doi](#), (2023)

Statut : post-doc

Study of filamentation phenomenon in an atmospheric pressure microwave plasma jet.

B. J. Ganleu Monte¹, C. Chazelas¹, C. Dublanche-Tixier¹, P. Tristant¹, T. Belmonte²

¹ *Université de Limoges, CNRS, IRCER, UMR 7315, F-87000 Limoges, France*

² *Université de Lorraine, CNRS, IJL, UMR 7198, F-54000 Nancy, France*

mail: brice.ganleu_monte@unilim.fr

The TIA (Torche à Injection Axiale) is a microwave plasma torch that generates microwave plasmas at atmospheric pressure in ambient air over a wide input power range (220 W to 1000 W). It is suitable for various applications including atmospheric pressure plasma enhanced chemical vapour deposition (AP-PECVD) processes [1]. In the present study, the TIA is employed for the deposition of titanium oxide thin films (TiO₂) from titanium tetraisopropoxide (TTIP) vapor and argon as plasma gas for photovoltaic and photocatalytic applications [2-3]. It has been shown that the microstructure of the thin films depends not only on operating conditions, but also on the nature of the substrate and on its position along the discharge axis.

The plasma jet is described as being cone-like [4]. The lateral and radial profiles of the plasma parameters obtained by optical emission spectroscopy (OES) present off-axis maxima close to the nozzle and becomes Gaussian-like as we move away from the nozzle. This can be attributed to a filamentation phenomenon which occurs in the plasma as a result of the skin effect of the microwave field in the plasma [5].

The study of the plasma by fast camera imaging (at a record rate of 10 000 fps and exposure time of 100 μ s) reveals that the filamentation phenomenon depends not only on the operating conditions but also on the presence and nature of a substrate. The number of filaments observed increases as the substrate is moved closer to the nozzle. It also modifies the diameter and light intensity of the plasma.

References

- [1] Y. Gazal, C. Dublanche-Tixier, C. Chazelas, M. Colas, P. Carles, P. Tristant, *Thin Solid Films*, 600, 43-52, (2016).
- [2] A. Perraudieu, C. Dublanche-Tixier, P. Tristant, C. Chazelas, S. Vedraïne, B. Ratier, *EPJ Photovolt.* 10, 5 (2019).
- [3] L. Renoux, Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2022.
- [4] J. Jonkers, A. Hartgers, L. J. M. Selen, J. A. M. van der Mullen, D. C. Schram, *Plasma Sources Sci. Technol.* 8, 49 -57 (1999).
- [5] Y. Kabouzi, M. Moisan, *IEEE Trans. Plasma Sci.* 33, 292 (2005).

Status : doc3

Transition H-W déclenchée par injection de courant électronique

V. Desages¹, N. Plihon¹, V. Dolique¹, F. Pagaud¹

¹ Univ Lyon, ENS de Lyon, CNRS, Laboratoire de Physique, F-69342 Lyon, France

mél: vassili.desages@ens-lyon.fr

Ce travail expérimental porte sur une colonne de plasma froid dans un champ magnétique axial homogène de 180 G. Une antenne demie-hélice permet d'ioniser de l'argon à 0,13 Pa [1]. La nature du couplage entre le plasma et l'antenne dépend de la puissance RF P_{rf} fournie à cette dernière à 13,56 MHz. A basse puissance, le couplage est capacitif (E), puis inductif (H) à plus forte puissance. Passé une puissance seuil P_s , des ondes hélicons (W) stationnaires sont excitées dans la cavité, et le taux d'ionisation augmente d'un ordre de grandeur par rapport aux couplages à $P_{rf} < P_s$. Sans injection de courant électronique (courbe verte à droite), $P_s = 1100$ W. Une fois le seuil franchit, une forte hystérésis est observée et des modes hélicons naturels de la cavité sont successivement excités lorsque P_{rf} est diminuée [2] (courbe pointillée à droite).

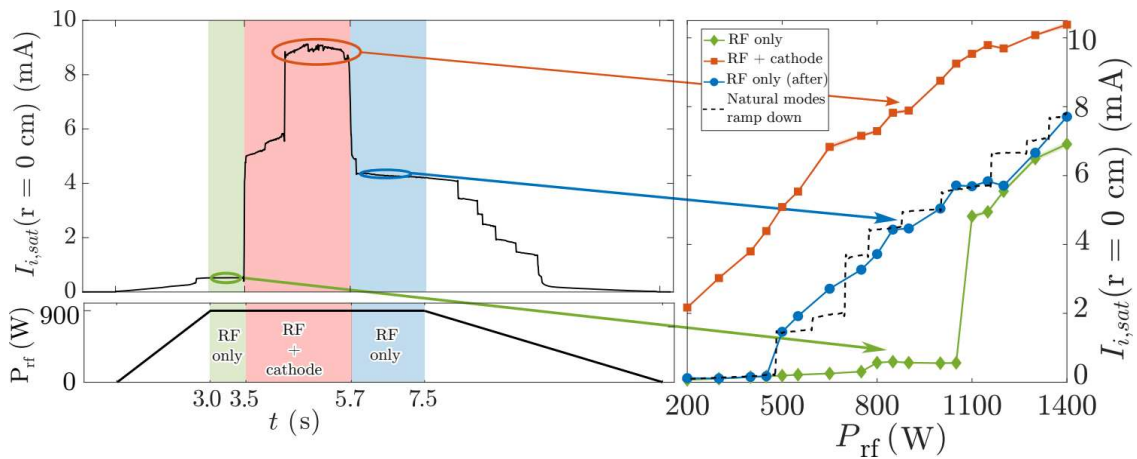


Figure 1: Densité au centre et P_{rf} en fonction du temps (gauche). Densité en fonction de P_{rf} (droite).

L'évolution temporelle à gauche montre l'effet d'une injection transitoire de courant (à $3,5 < t < 5,7$ s) pour une puissance RF de 900 W. En présence d'injection de courant (courbe rouge à droite), la densité augmente très fortement, pour une puissance injectée par la cathode de l'ordre de 10 W. Après l'injection, la densité reste élevée (courbe bleue), et des mesures de sonde magnétique ont confirmé que ce régime correspond aux modes hélicons naturels obtenus lors de l'hystérésis sans injection. Pour le présent régime d'injection, le seuil d'excitation du mode hélicon est réduit à 500 W.

L'utilisation du code HELIC [4], qui résout les équations de Maxwell avec conditions aux limites pour un profil de densité donné en géométrie cylindrique, et donc les structures des modes hélicons de la cavité, a permis de fournir une interprétation. L'injection de courant augmente localement la densité au centre. Ceci modifie la puissance absorbée par le plasma P_{abs} , sans modifier la puissance perdue aux bords de la colonne P_{loss} . Les points de fonctionnements en régime stationnaire ($P_{abs} = P_{loss}$) prédits avec injection sont des modes hélicons de plus hautes densités que ceux sans injection. Lorsque l'injection est stoppée, la densité élevée dans la cavité permet de maintenir les modes propres naturels.

Références

- [1] Pagaud, F., PhD thesis, ENS de Lyon (2024). <https://theses.hal.science/tel-04679798>
- [2] Shinohara, S. (2022). High-Density Heliconplasma science. Dunod.
- [3] Pagaud, F., Dolique, V., Claire, N. and Plihon, N. (2023). Plasma Sources Science and Technology, 32(11):115019.
- [4] Arnush, D. (2000). Physics of Plasmas, 7(7):3042–3050.

Statut : doc1

Achieving diffuse propagation of cathode-directed surface ionization waves at atmospheric pressure, over liquid water

A. Brisset¹, P. Tardiveau²

¹EM2C, Université Paris-Saclay, CNRS, CentraleSupélec, Gif-sur-Yvette, France

²LPGP, Université Paris-Saclay, CNRS, Gif-sur-Yvette, France

mél: alexandra.brisset@centralesupelec.fr

Diffuse propagation of a surface ionization wave over water is achieved at atmospheric pressure, in positive polarity, using high-voltage nanosecond pulses with ultra-fast rise times (20 kV/ns). The discharges are generated in a pin-to-surface configuration and can cover several cm² across a wide range of water conductivities (5-900 μ S/cm). Under moderate voltage rise rate (4 kV/ns) the discharge follows the usual 3 development stages ending with the formation of multiple streamers emerging simultaneously from an initial planar wave front (ionization instability) [1]. At higher voltage rise rates (20 kV/ns), the planar wave does not destabilize, and the discharge continues to propagate as a uniform, circular ring until the voltage drops. Conductivity variations (5–900 μ S/cm) do not prevent the diffuse propagation, however they influence propagation length, speed, and energy deposition. These findings suggest that high-voltage nanosecond pulses with steep rise times enable controlled, uniform SIW propagation at atmospheric pressure, over diverse dielectrics and in electronegative gases, using simple electrode setups. The authors know only one other work that achieved uniform propagation of cathode-directed nanosecond discharge at atmospheric pressure, by using a very specific bilayer material Si-SiO₂ [2]. In the present work, greater versatility of surface conditions is achieved.

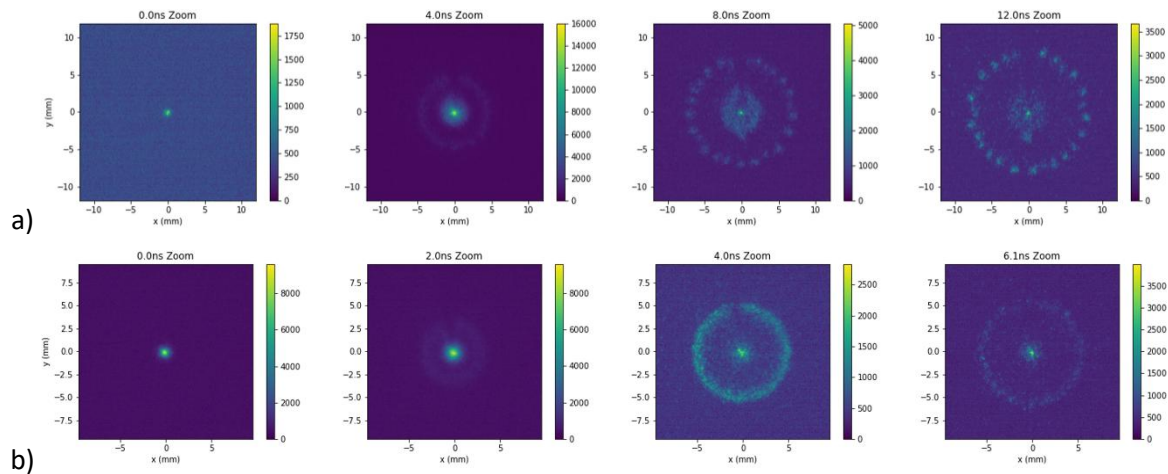


Figure 1 : Optical emission of the surface discharge generated in ambient air over water 5 μ S/cm (a) 20 kV - 1 ns rise time - 4 ns duration, (b) 20 kV - 5 ns rise time - 15 ns duration. Gate width 500 ps. Time 0 corresponds to the time when light emission starts to be detected at the pin.

Remerciements :

The authors are thankful to T. Darny for fruitful discussions.

Références

- [1] Herrmann et al. Plasma Sources Sci. Technol. 34 (2025) 015004
- [2] Darny T. et al Plasma Sources Sci. Technol. 29 (2020) 065012

Statut : Permanent

Étude de l'effet de vent ionique généré entre deux plaques dans l'air à pression atmosphérique par vélocimétrie par images de particules

T.Orrière

Institut PPrime, Université de Poitiers-ENSMA, CNRS, UPR 3346, Poitiers, France

mél: thomas.orriere@univ-poitiers.fr

Cette étude s'intéresse à la génération et à la caractérisation du vent ionique produit entre deux plaques parallèles à l'aide d'un microplasma pulsé nanoseconde répétitif. Le microplasma est généré au sein d'une cavité située sur l'une des plaques, tandis qu'un champ électrique continu est appliqué entre les deux plaques. Dans cette configuration, des écoulements gazeux atteignant des vitesses de l'ordre de 4 m.s^{-1} ont été observés et analysés par vélocimétrie par images de particules (PIV) bidimensionnelle à deux composantes, à une fréquence d'échantillonnage de 10 kHz. Les mesures simultanées de tension, de courant et de courant continu traversant les plaques ont permis de corrélérer les données de courant enregistrées avec les accélérations gazeuses obtenues par PIV haute vitesse, afin de déterminer les propriétés de transport des espèces chargées migrant du microplasma vers la plaque opposée.

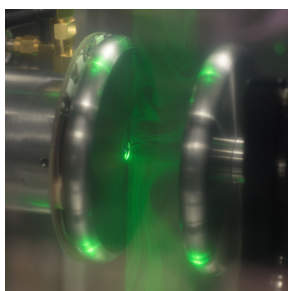


Figure 1 : dispositif expérimental

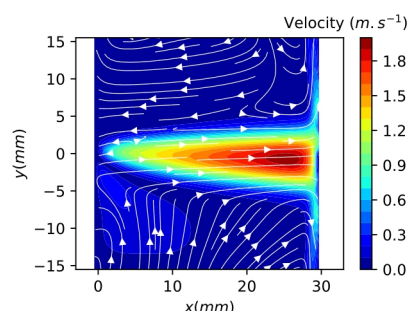


Figure 2 : Champ de vitesse du vent ionique généré à 1 kHz entre deux plaques

Le dispositif expérimental, illustré sur la figure 1, consiste en une plaque de 80 mm de diamètre, percée d'une cavité de 1 mm de diamètre, dans laquelle est généré le microplasma. Une seconde plaque, également de 80 mm de diamètre et polarisée à une haute tension de 40 kV, est placée à 30 mm de distance. Le microplasma est produit entre une électrode en forme de tige de 0,5 mm de diamètre, alimentée par des impulsions de 6 kV à une fréquence de 1 kHz, et la plaque mise à la masse. Dans ces conditions, les mesures PIV révèlent la formation d'un écoulement de type jet impactant, avec une vitesse maximale d'environ 2 m.s^{-1} à proximité de la plaque haute tension, comme le montre la figure 2. Les mesures résolues en temps permettent d'évaluer les propriétés de transport des espèces chargées. Cette étude s'appuie sur un concept introduit dans des travaux antérieurs [2]. Les résultats obtenus permettent de mieux comprendre les mécanismes de génération du vent ionique et d'optimiser les dispositifs pour des applications industrielles et technologiques.

Références

- [1] Johnson, M. J., & Go, D. B. (2017). Recent advances in electrohydrodynamic pumps operated by ionic winds: a review. *PSST*, 26(10), 103002.
- [2] Orrière, T., Moreau, É., & Pai, D. Z. (2019). Electric wind generation by nanosecond repetitively pulsed microplasmas. *J. Phys. D*, 52(46), 464002.

Statut : Permanent

Liste des auteurs

B

Belinger Antoine	20
Belmonte Thierry	56
Bernard Elodie	40
Bonifaci Nelly	45, 53
Booth Jean-Paul	15, 29
Bravo Sophie	29
Brisset Alexandra	58
Brochard Frédéric	46
Bultel Arnaud	40

C

Cachoncinlle Christophe	53
Caillard Amaël	50
Cantonnet-Paloque Nicolas	52
Caquineau Hubert	20
Carnide Guillaume	29
Cartry Gilles	23
Celestin Sebastien	30
Chazelas Christophe	56
Chevet Julien	21
Chouteau Simon	21
Clark Thomas	54
Clergereaux Richard	28
Curley Garrett	29

D

Daher Abdel Rahman	50
Dap Simon	20, 29
Delavière-Delion Quentin	31, 55
Desages Vassili	57
Disson Baptiste	45, 53
Dolique Vincent	57
Dozias Sebastien	16
Dublanche-Tixier Christelle	56
Dussart Rémi	45
Dyson Fredric	51
Désangles Victor	55

E

El Farsy Abderzak	37
-------------------	----

F

Favre Aurélien	40
----------------	----

G

Ganleu Monte Brice Jordan	56
Gensdarmes Francois	40
Gherardi Nicolas	20
Gimenez Loic	50
Gouillet Antoine	21

Granier Agnès	21
Guaitella Olivier	29

H

Hellé Arthur	46
Houard Aurélien	32
Hugon Robert	46

I

Invernizzi Laurent	36
Iseni Sylvain	53
Iséni Sylvain	45
Itina Tatiana	49

K

Kabashin Andrei	22, 44
Kachan Elena	49
Khacef Ahmed	53
Kogelschatz Martin	27
Kovačević Vesna	53

L

Lahoud Chawki	43
Lesaint Olivier	45

M

Makasheva Kremena	28
Marcos Gregory	46
Mikikian Maxime	43, 50
Montupet-Leblond Floriane	40
Moreau Eric	51

N

Naude Nicolas	20, 28, 29
Nguyen Truong Son	39

O

Orriere Thomas	51, 59
----------------	--------

P

Packan Denis	55
Pagaud Francis	57
Pastukhov Andrei	44
Peillon Samuel	40
Pichard Cecile	53
Plihon Nicolas	19, 57
Poulain Christophe	45

R

Richard-Plouet Mireille	21
Robert Eric	16
Rudenko Anton	35

S

Saab Ghina	43
Sopeña Pol	38
Sretenovic Goran	53
Stafford Luc	21

T

Tardiveau Pierre	58
------------------------	----

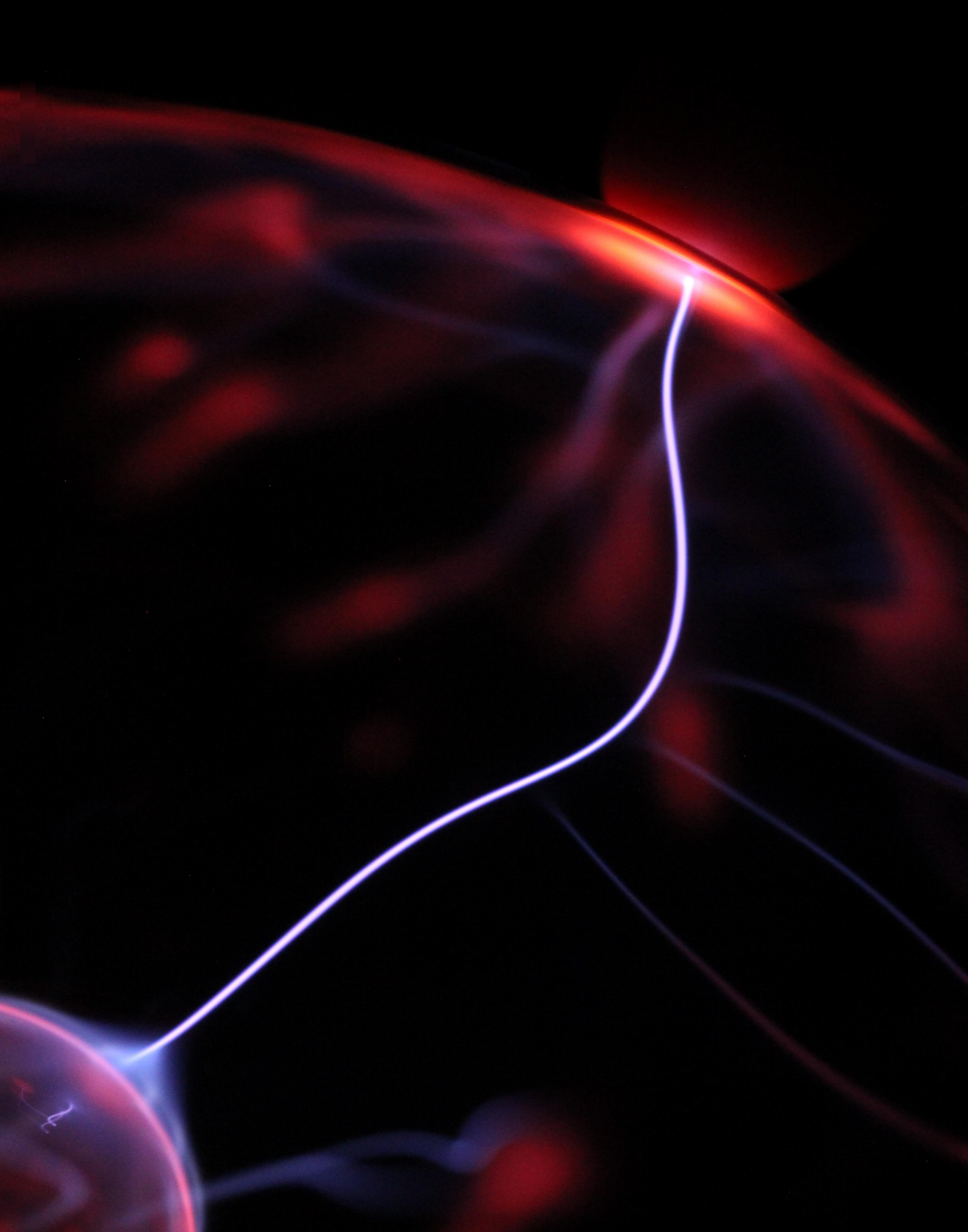
Toulil Abderrazak	49
-------------------------	----

Tristant Pascal	56
-----------------------	----

Y

Yingling Yaroslava	49
--------------------------	----

Youssef Sami	43
--------------------	----



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