

Compte rendu 32th ICPIG 2015

International **C**onference on **P**henomena in **I**onized **G**as
Iasi (Roumanie)

Frais d'inscription : **400€** (200€ étudiants)

309 participants enregistrés

261 participants scientifiques

295 papiers soumis (**248** posters)

36 pays

Anciennes conférences

2009 (Cancun, Mexico)

2011 (Belfast, UK)

2013 (Granada, Spain)



<http://www.icpig2015.net/>

Informations

4 catégories de présentations : General, Topical, Special Session, Poster

17 topics

10 General Lectures (45', **2** qui traitent abordent les arcs, 0 en 2013)

24 Topical Lectures (30', **1** qui aborde les arcs, 2 topical en 2013)

4 sessions poster (**249** posters, **30** abordent les arcs - 8%, 22 posters en 2013)

2 Sessions spéciales

- **Plasma Produced by Interaction of High Power Laser Beam with Mater : 4 prés.**
- **Plasma and Life Sciences : 4 prés.**

Thématiques

A. FUNDAMENTALS

- T1: Elementary processes and fundamental data (**24 posters**)
- T2: Thermodynamics and transport phenomena (**1 poster**)
- T3: Plasma wall interactions, electrode and surface effects (**6 posters**)
- T4: Collective and nonlinear phenomena (**5 posters**)

B. MODELLING, SIMULATION AND DIAGNOSTICS

- T5: Modeling and simulation techniques (**24 posters**)
- T6: Plasma diagnostic methods (**35 posters**)

C. PLASMA SOURCES AND DISCHARGE REGIMES

- T7: Astrophysical, geophysical and other natural plasmas (**4 posters**)
- T8: Low pressure plasmas (**19 posters**)
- T9: High frequency discharges (**13 posters**)
- T10: Non-equilibrium plasmas and microplasmas at high pressures (**31 posters**)
- T11: Thermal plasmas (8 posters)**
- T12: Complex and dusty plasmas, ion-ion plasmas, mixed phase plasmas (**15 posters**)

D. APPLICATIONS

- T13: Plasma processing of surfaces and particles (**35 posters**)
- T14: High pressure and thermal plasma processing (3 posters)**
- T15: Plasma lamps and radiation sources (**2 posters**)
- T16: Medical, biological, environmental and aeronautical applications (**19 posters**)
- T17: Plasma power and pulsed power technology, particle sources (**5 posters**)

MASSIMILIANO (Italie) : Instabilities and turbulence in magnetized plasmas with a single sign of charge

J.SCHEIN (Allemagne) : Plasma diagnostics of arc welding

W.LU (Chine) : The physics of plasma based acceleration: a personal perspective

R.SHARAFUTDINOV (Russie) : Gas Jet Electron Beam Plasma CVD and CVR Method and Applications

M.KEIDAR (USA) : Plasma application for cancer therapy

J-P.BOEUF (France) : Rotating structures in low temperature magnetized plasma devices : spokes, electron vortices and others

M.NAGATSU (Japon) : Plasma surface modifications of nano-structured materials and their applications to virus detection system

V.GUERRA (Portugal) : Modelling heterogeneous molecule formation

F.FAUPEL (Allemagne) : Plasma Deposition of Functional Nanocomposites

L.SIRGHI (Roumanie) : Plasma synthesis of photocatalytic materials

Objectif : histoire de l'art sur les techniques de mesures pour montrer que la méthode de diagnostic Thomson Scattering est une solution pour remonter à de nombreuses informations.

- **petite introduction sur le welding**, le nombre d'années d'études, la part de marché dans le monde, chute des coûts, chute de l'énergie injectée, augmentation de l'efficacité, augmentation de la vitesse, présentation des différentes technologies;
- **présentation de différentes techniques de diagnostics** pour remonter aux caractéristiques de l'arc (complexe car présence du plasma, de gouttelettes, agglomération, accumulation...):
 - mesure du rayonnement pour obtenir le profil de températures et densités
 - mesure de la pression
 - mesure du courant avec des capteurs à effet Hall pour remonter profil de densité de courant (la résolution spatiale doit être très fine)
- **présentation d'un TIG Burner** : Binzel MT500W (GTAW)
 - importance de la préparation de la pièce sur les mesures de courant-tension :
 - température de la cathode est indépendante de la surface de l'anode ($U_{\text{cathode}} = \text{Cste}$)
 - la tension de l'anode change (ca dépend du matériau, de sa granulité variant de 75 μm -1400 μm)

- **certains phénomènes restent inexpliqués**

- quid des nouveaux matériaux
- quand apparaissent les vapeurs métalliques?
- Comment contrôler la taille des gouttelettes?
- Quelle est la température de surface

- Comment mesurer les oscillations, la tension de surface, le decay time, la viscosité pour remonter à la température

- Comment étudier Wire and droplet geometry en bloquant le rayonnement

- Comment étudier le rayonnement du plasma: enregistrement images pour reconstruire la forme de l'arc avec filtres (un exemple de profil de température : grosse chute de T proche axe de 14kK à 9kK)

- Utiliser Thomson scattering comme méthode de diagnostic mais il faut prendre des précautions : où doit-on disposer correctement les outils de mesure, surtout pour le courant et la tension.

Exemple: Welding GMAW

- Etudes des phénomènes transitoires
- Etude du transfert de matière,
- Caractérisation du plasma
- Caractérisation du transfert d'énergie dans la workpiece
- Dynamique moléculaire
- Pyrométrie
- Laser scattering
- Mesure du champ B

Nouvelle méthode non intrusive pour mesurer la distribution de courant

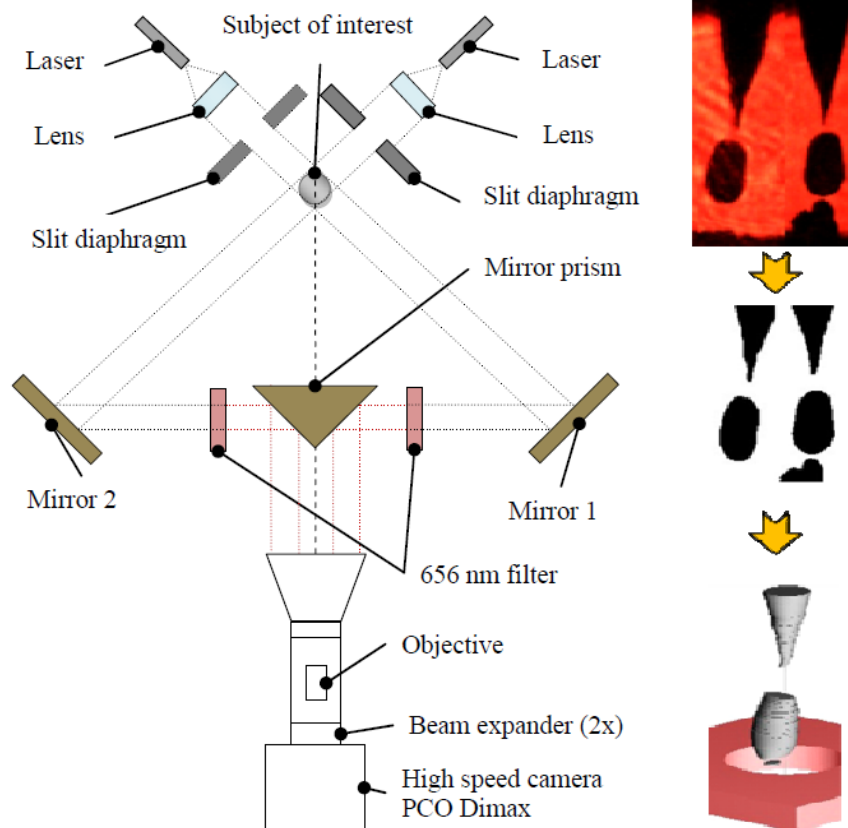


Fig. 3: Principle setup of dual imaging using a single camera. Either 3D information or two-wavelength information can be obtained

(1) Transfert de matière:

- Etude du transfert gouttelettes de la tuyere vers la workpiece

* *Problèmes* :

- si $T_g > T_{workpiece}$, la goutte reste en surface,
- si $T_g < T_{workpiece}$, la goutte se « mélange »

* *Etudes*:

Théoriques: Mise en place de la dynamique moléculaire pour modéliser l'interaction gouttelette - workpiece, vitesse de chute $\sim 1.4\text{m/s}$

Expérimentales: pyrométrie 2 couleurs, camera rapide PCO Dimax

* *Résultat modèle*:

La T° de la gouttelette joue sur le comportement

T° gouttelettes $\sim 2500\text{K}$
 $T_e \sim 15000\text{K}$

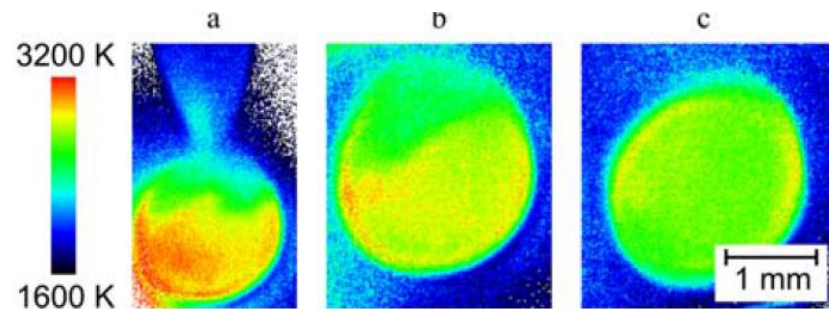


Fig. 4: Temperature distribution of the droplet surface while traveling to the workpiece, before detachment (a), after detachment (b), at height of cathode (workpiece) (c)

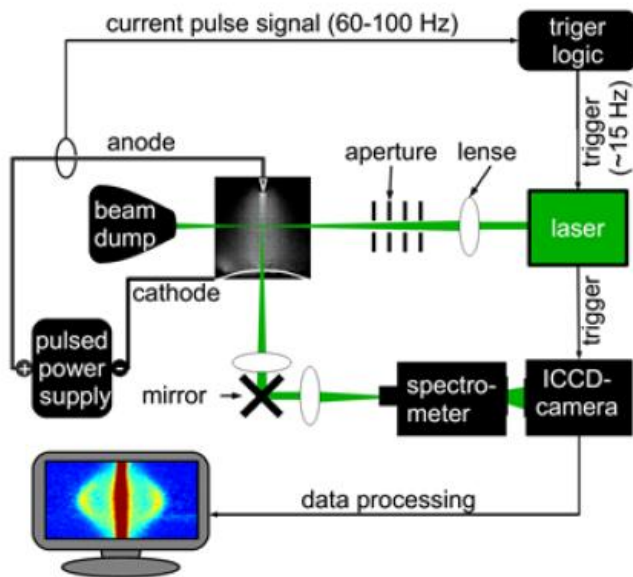
* Résultats expérience:

Si plasma est stationnaire: Camera + filtre pour trouver la T° et Ni

Si plasma est instable: filtre + miroir synchronisé à 2 longueurs d'onde + camera rapide

Reconstruction de la forme de l'arc temporellement

Hypothèse de symétrie axiale



TS setup for investigation of GMAW process

Problème:

- Problème avec les vapeurs
- Symétrie axiale mise en défaut
- Pas de LTE

Solution:

- High Speed Thomson Scattering (TS) pour remonter à Ne, Te, Ni et Ti (+ dur à avoir).
- Il faut de long temps d'intégration (difficile)
- Plusieurs pulses 60-100Hz (1 droplet détachée/pulse)
intégration sur 5 pulses laser si I fort, 20 pulses si I faible)

T° droplet est obtenue, TS efficace mais encore du travail sur la résolution temporelle.

$1800K < T_{gouttelle} < 3200K$ durant le trajet de la tuyère à la workpiece

(2) Transfert d'énergie:

- Mieux comprendre le melting et comment l'énergie est injectée dans la workpiece
- Remonter à la densité de courant

* *Problème:*

- la technique « Split Anode Methode » utilisée en TIG ne marche pas en GMAW

* *Solution:*

Mesure du champ magnétique B , « mais correctement ».

Capteur sensibles, méthodes inverses, mesures non intrusives.

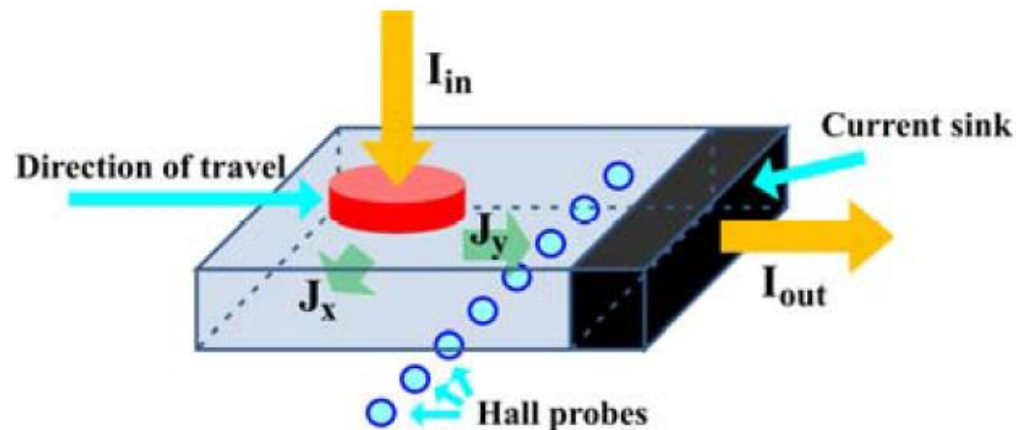


Fig. 8: Principle of B -field evaluation underneath workpiece (dotted line). Current input (magenta circle)

S.BAALRUD (USA) : Influence of Streaming Instabilities on Transport Near Plasma Boundaries

U.EBERT (Pays-Bas) : Cosmic-Ray-Induced Air Showers in Thunderstorms: A probe of the local electric field and a trigger of lightning activity

H.PECSELI (Norvege) : Drift wave turbulence in laboratory and space plasmas

T.HODER (Rep. Tchèque) : Sub-nanosecond optical diagnostics of streamer discharges

J.BECKERS (Pays-Bas) : EUV photons induced plasma

T.K. POPOV (Bulgarie) : Langmuir probe diagnostics of the plasma potential and electron energy distribution function in magnetized plasma

V.ANTONI (Italie) : The status of negative ions R&D for fusion application

L.STAFFORD (Canada) : Diagnostics of microwave plasmas at atmospheric pressure applied to the growth of organosilicon nanopowders

A.LIFSCHITZ (France) : Modeling transport and extraction of negative ions (H-) for injection in ITER

P.ALMEIDA (Portugal) : Modelling spot patterns on cathodes of DC glow discharges

J.J.RASMUSSEN (Danemark) : Plasma transport in the Scrape-off-Layer of magnetically confined plasma and the plasma exhaust

A.GANGULI (Inde) : Study plasma formation in regions away from resonance in ECR discharges using a compact ECR Plasma Source

J.SULLIVAN (Australie) : Positrons for modelling PET processes and analysing plasma damage

M.DORS(Pologne) : Liquid fuel reforming using microwave plasma at atmospheric pressure

S.MUHL (Mexique) : Hollow Cathode Discharges

B.OBRADOVIC (Serbie) : Dielectric barrier discharge in contact with liquids: Diagnostics and Applications

J.TEUNISSEN (Pays-Bas) : 3D Models for nanosecond pulsed discharges: with new codes to quantitative understanding

K.SASAKI (Japon) : Diagnostics of premixed burner flame with the superposition of dielectric barrier discharge

M.MERINO (Espagne) : Modelling the expansion of magnetized plasma jets in electric propulsion

K.HENSEL (Slovaquie) : Discharge propagation in ceramic foams and capillary tubes

A-L.THOMANN (France) : Thin film deposition by magnetron sputtering using energy flux diagnostics

A.PALMERO (Espagne) : Design of materials in the nanoscale: Taming the plasma

D.RAFALSKYI (France) : Plasma propulsion using novel concepts

A.SOBOTA (Pays-Bas) : Properties of plasma bullets and the dynamics of the interaction of atmospheric pressure plasma jets with surfaces

Etudes expérimentales – Généralités

(P2.27) Argon plasma cathode binding in arc discharge

M.Kh. Gadzhiev, M.A. Sargsyan, D.V. Tereshonok, A.S. Tyuftyayev

(P1.38) Talbot Interferometry for Imaging Two-Dimensional Electron Density Distribution over Vacuum Arc Discharge

Y. Inada, T. Kamiya, S. Matsuoka, A. Kumada, H. Ikeda, K. Hidaka

(P3.02) Electric arc plasma source: spectroscopy and MoO₃ crystal formation

A. Lebid, A. Veklich, V. Boretskij, S. Savenok, O. Andreev

(P1.41) Spectral investigation of atmospheric pressure helium arc plasma parameters

A.G. Ageev, S.V. Goryachev, D.L. Kavyrshin, M.A. Sargsyan, V.F. Chinnov

Objectif:

Détermination de la densité de courant J_{em}

Dispositif

Torche de 200A, argon, 1atm

Cathode en tungstène

Electrode en cuivre, 70° d'angle

Diagnostic

Camera phantom Miro M110

Lentille Hlios-40-2

Avaspec 3648 (200-1100nm)

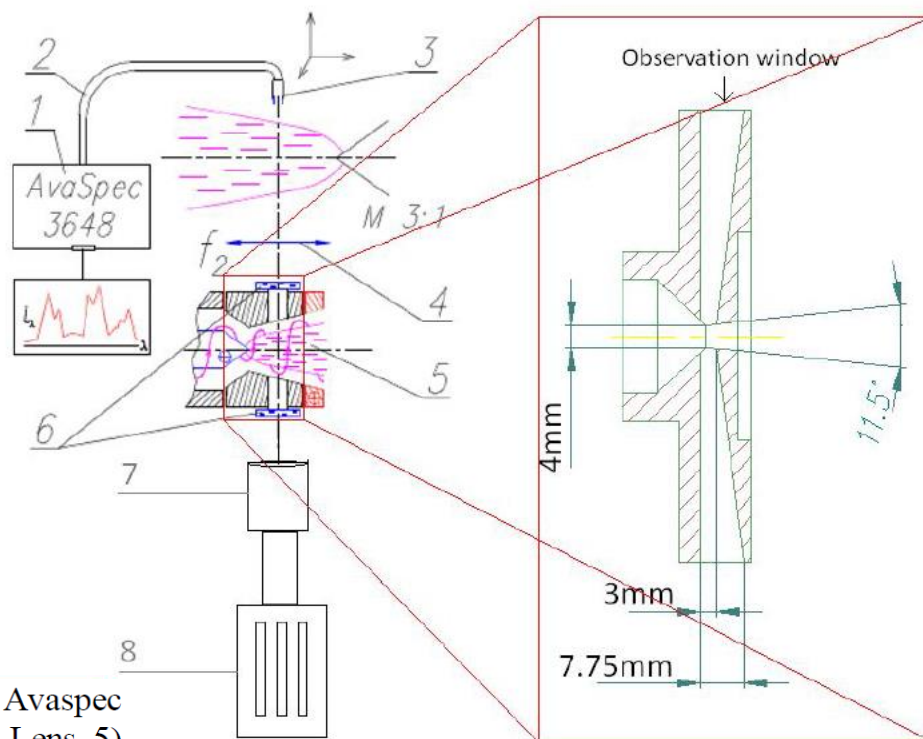


Fig.1. Experimental setup. 1) Spectrometer Avaspec 2048 2) Fibre optics 3) Focusing lens 4) Lens 5) Argon plasma 6) Quartz observation windows 7) Focusing lens "Helios-40-2" 8) Coloured camera "Phantom".

Expérimentalement

T° de surface: Mesure de la T° de surface par pyrométrie

T° source: Camera 3 couleurs, 25 μ résolution, étalonnage lampe tungstène 2400K

Température déterminée par les raies ArII (327nm) ArIII (332nm)

Densité électronique déterminée par Stark ArII (373.79nm) et ArII (329.36nm)

Comparaison théorie-expérience de la densité de courant électronique

Théoriquement

Calcul des temps caractéristiques τ_{ii} , τ_{ee} , τ_{ei} , τ_{ie} , τ_{ion}

Calcul des longueurs caractéristiques τ_{rec} , l_{ee} , l_{ii} , l_{ei} , l_{ion} , l_{rec}

Résultats:

Coefficient de diffusion $D_i \sim 100 \text{ cm}^2/\text{s}$, rayon plasma $\sim 0.1 \text{ cm}$, tps diffusion $\sim 10^{-5} \text{ s}$

$T_e \sim 2 \text{ eV}$, $n_e \sim 10^{23} \text{ m}^{-3}$

T° max surface $\sim 2800 \text{ K}$

$J_{em} = 2.0 \cdot 10^3 \text{ A/cm}^2$

$E_k = 5.6 \cdot 10^6 \text{ V/cm}$

Objectif: trouver une alternative à la technique de diagnostic Shack-Hartmann laser pour déterminer Ne en 2D pour des arcs dans le vide.

Travaux précédents : technique de diagnostic Shack-Hartmann type laser utilisée pour remonter à Ne en 2D mais **les microlentilles nécessaires ont de longues focales** (~400mm), leur prix de fabrication par photolithographie est très élevé et de **nombreux phénomènes de diffraction existent.**

Nouvelles solution: technique de diagnostic Talbot type laser capteurs basés sur l'effet Talbot (étude de la diffraction).

Dispositif:

- Deux diodes laser à $\lambda=784\text{nm}$ et $\lambda=408\text{nm}$.
- ICCD camera, résolution en temps de $2\ \mu\text{s}$.
- Circuit électrique composé d'une capacité de $0.6\ \mu\text{F}$ chargée à 32kV (courant limité par $40\ \Omega$)
- décharge positive générée entre deux électrodes séparées de $d=3\text{mm}$ (75%Cu-25%Cr) et de diamètre $\phi=1\text{mm}$.
- Mesure du courant (Rogowski coil) et de la tension. Pic de courant à 0.8kA après $24\ \mu\text{s}$.

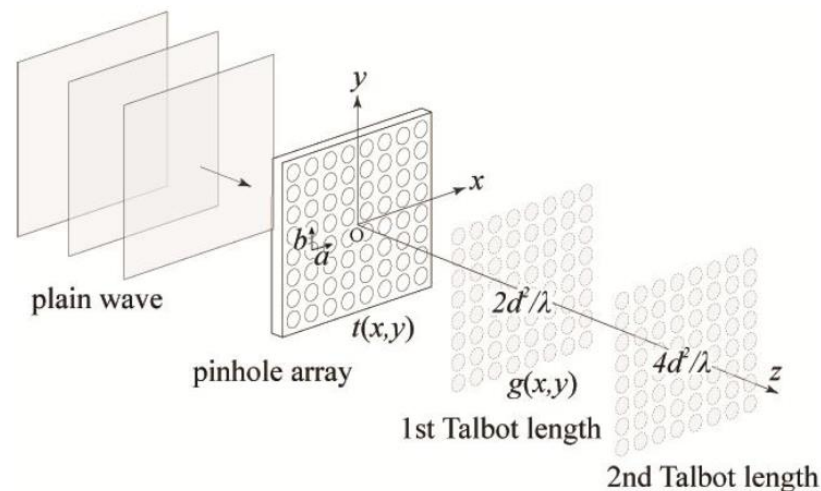
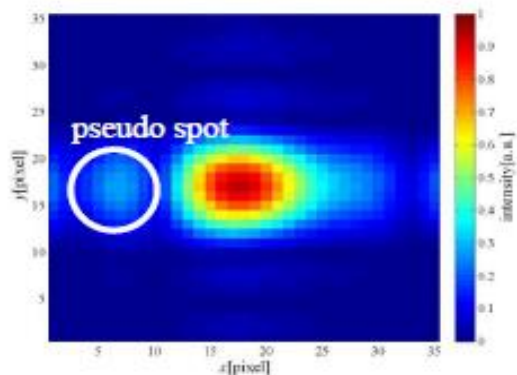
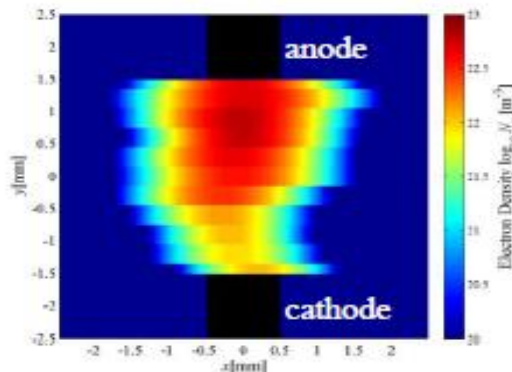


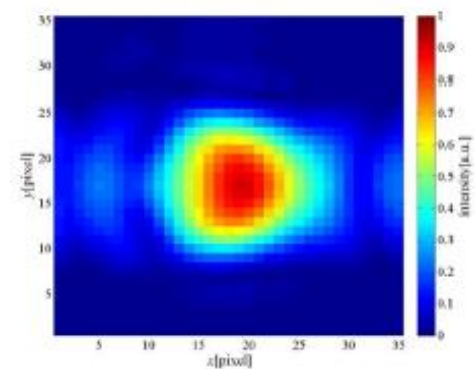
Fig.1 Talbot effect of pinhole array with lattice formation



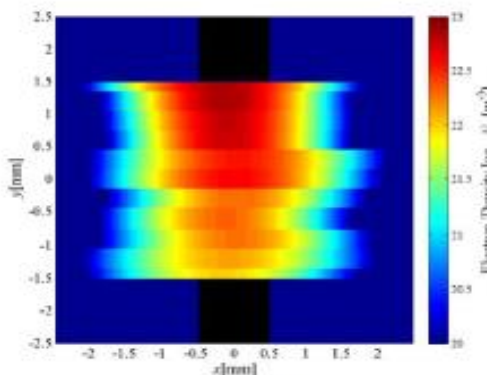
(a) $D=100\mu\text{m}$



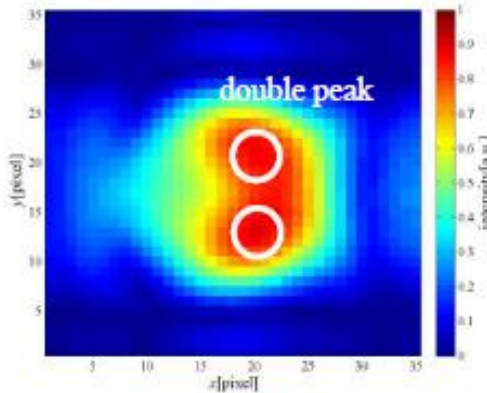
(a) Shack-Hartmann



(b) $D=150\mu\text{m}$

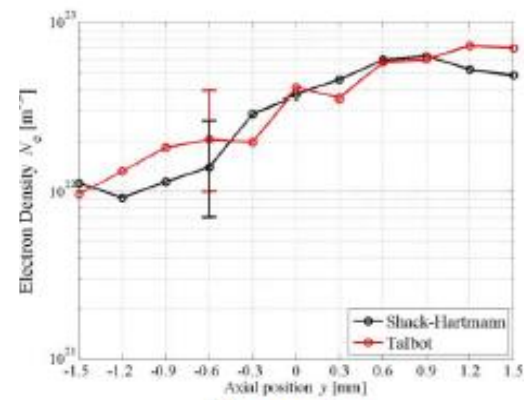


(b) Talbot



(c) $D=200\mu\text{m}$

Fig.5 Optical spot intensity distribution for 784-nm laser



(c) comparison

Fig.7 Electron density distribution over vacuum arc discharge

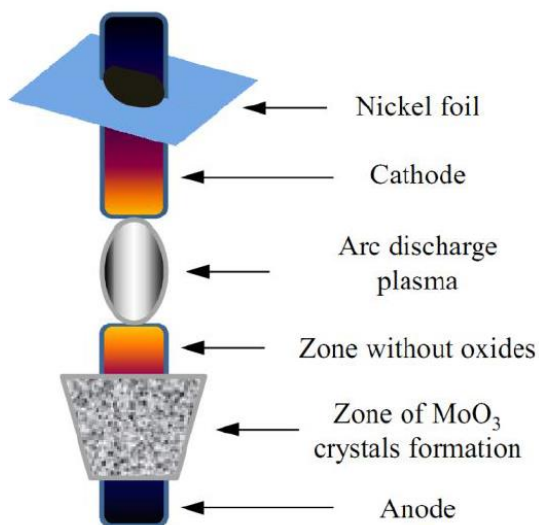
Résultats

La simulation a démontré que des « pinhole arrays » de $300\mu\text{m}$ de diamètre $150\mu\text{m}$ étaient les plus appropriés pour réaliser des mesures avec une bonne résolution spatiales dans le cas d'arcs dans le vide.

Objectif: former des cristaux de MoO₃ par vaporisation d'électrodes en Molybdène par arc électrique. Analyse de la forme, de la structure et de la taille des cristaux.

Intérêt du MoO₃: propriétés utilisées dans les batteries, écrans, catalyseurs, capteurs... Bonne reproductibilité de la méthode, bonne qualité des produits, autoformation des cristaux

Principe: Oxydation de la surface, évaporation de oxyde layers, transport des vapeurs par convection, croissance du cristal.



Dispositif

Arc dans air libre

$I_{DC}=3.5A$

Electrodes Mo avec $d=8mm$, $\phi=6mm$

Analyse du plasma par OES (400-660nm)

Etude de la structure par microscopie

Analyse des raies MoI

(473.1, 476, 550.6, 553.3, 557 et 603nm)

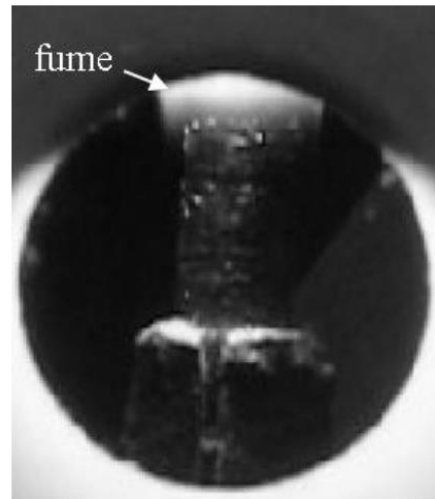


Résultats (1)

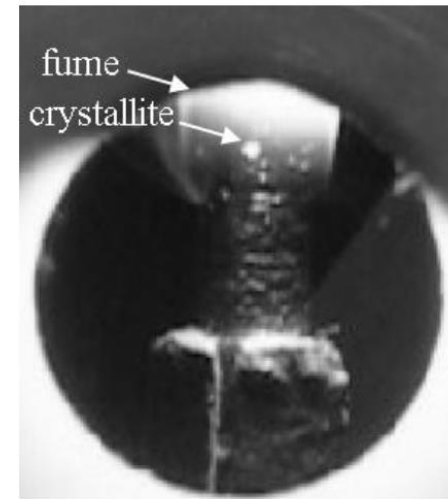
- 1) $T_{milieu} \sim 8000K$
- 2) Fumées blanches apparaissent autour des électrodes après qqes secondes (oxydation du molybdene), la température de l'électrode augmente.
- 3) Couche totalement évaporée quand $T \sim 1150^{\circ}C$ expliquant pourquoi on voit rien au bout de l'électrode. Formation de cristaux MoO₃ en arrière de l'électrode (convection) sur la surface de l'anode à 3-5mm du bout.
- 4) Fin cristallisation 2min après début (la séparation des couches s'arrêtent).



a



b



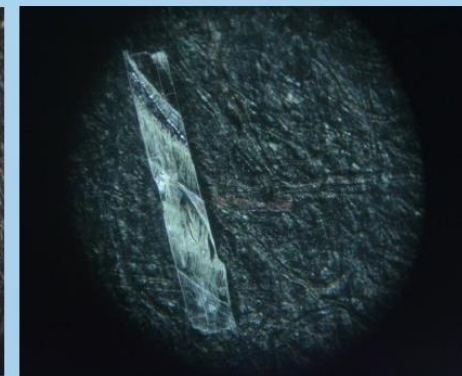
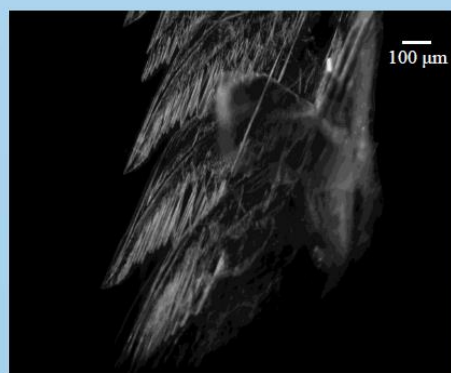
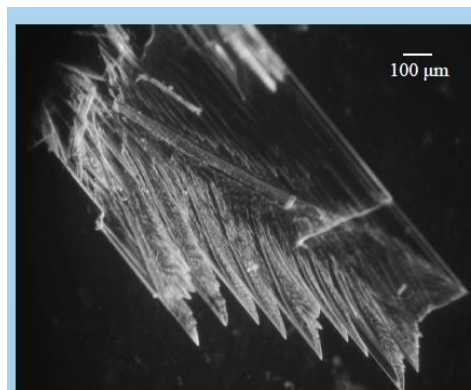
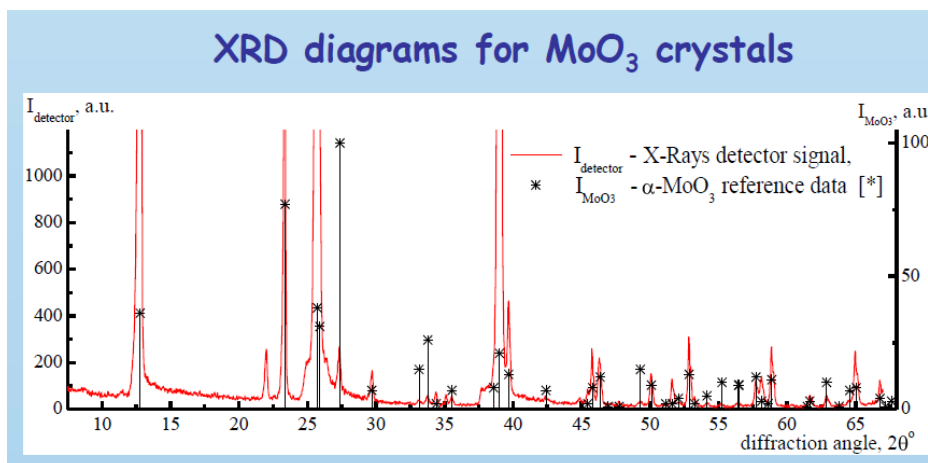
c

Fig. 5. View of anode at different process stages. Initial view - 7 s after arc ignition (a), appearance of white fume at 17 s (b), formation of MoO₃ crystallites at 25 s (c)

Résultats (2)

Analyse par Xray diffraction (XRD) de la structure cristalline

Observation de 2 phases (un phase α -MoO₃ avec beaucoup de formes orthorhombic, une phase β -MoO₃ » avec peu de formes monoclinic).



Objectif: Etude expérimentale (mesures optiques) d'un plasma d'hélium
détermination de la densité électronique dans des conditions non-LTE

Dispositif:

Gaz : hélium à 0.2g/s, à la pression atmosphérique, $T \sim 2-2.5\text{eV}$ estimée

Arc DC plasmatron $d=0.5\text{mm}$ + vortex

Cathode en tungstène, $I=250-400\text{A}$

Mesures du rayonnement par spectromètre Avaspec + camera Andor (pixel $25\mu\text{m}$),
résolution 0.25nm , mesures effectuées à 1.3mm de la tuyère

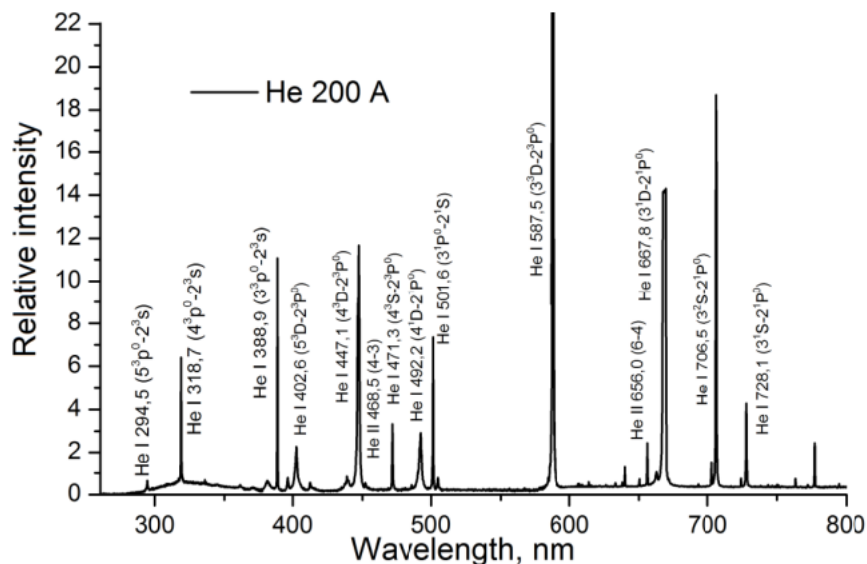


Fig. 1. A typical spectrum obtained with AvaSpec spectrometer.

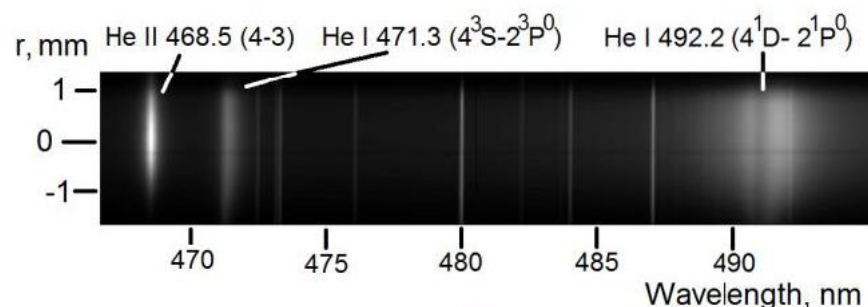


Fig. 2. A typical spectrum obtained with the Andor camera and DFS-452 spectrograph.

Méthode:

Ne déterminée à partir d'une méthode diffusion.

Estimation d'un facteur χ qui représente la différence entre la distribution réelle et celle donnée par Boltzmann à l'équilibre.

Observations:

Plusieurs relevés de spectres He sont fournis

Les spectres continus de HeI varie peu avec l'intensité.

Les spectres de la raie HeII (468.6nm) donne Ne à partir de $\delta_{\text{stark_quad}}$ et $\delta_{\text{stark_lin}}$

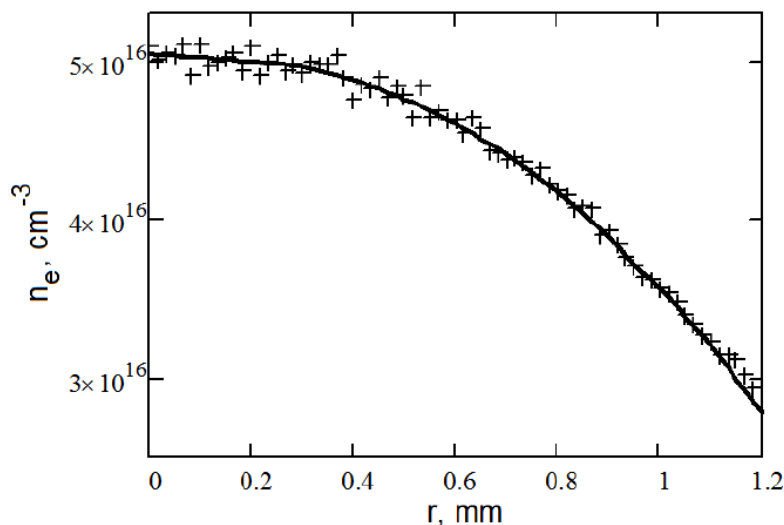


Fig. 3. Radial distribution of electron concentration n_e .
+ – calculated points, the line shows the approximation function.

Conclusions

Les états $n < 5$ sont en déséquilibre

les états $n > 5$ sont en équilibre

(justifié par une énergie d'ionisation, une conductivité thermique et des coefficients de diffusion élevés de l'hélium).

Pour $I=250A$, ils trouvent $T_e \sim 2.2eV$

Etudes expérimentales - Welding

(P1.56) Temporally and spatially resolved electron density measurements in a pulsed GMAW process by means of Stark broadening of $H\alpha$ line

M. Kühn-Kauffeldt, UJ.-L. Marqués, J. Schein

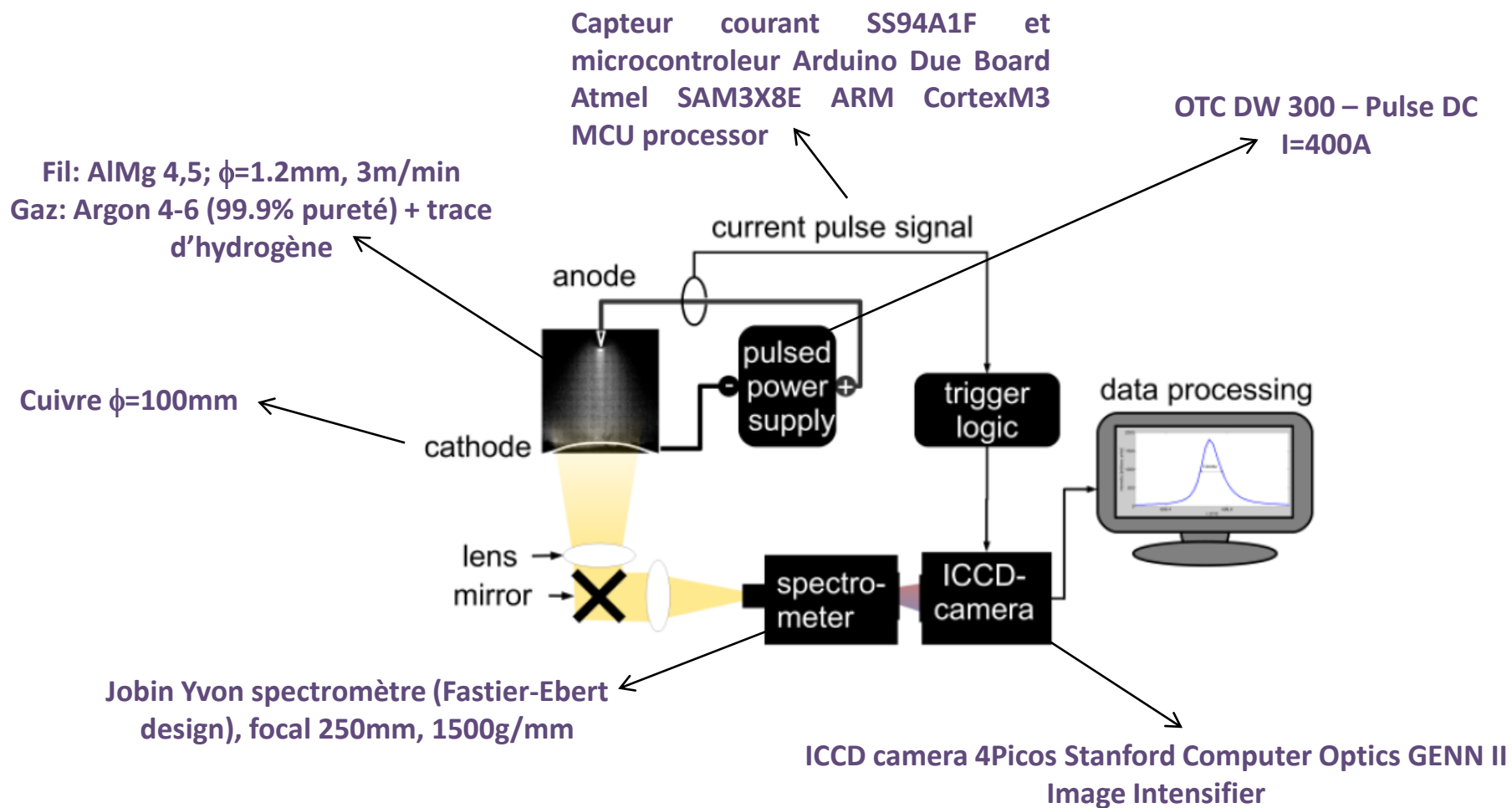
(P3.06) Study of modifications of metal transfer mode in GMAW with different shielding gas mixtures: cases of Ar-CO₂ and Ar-O₂

Q. Castillon, N. Pellerin, S. Pellerin, M. Wartel, J.-P. Planckaert, F. Briand, F. Faubert, F. Valensi, D.G. Astanei

(P1.56) Investigation of local thermodynamic equilibrium in laser-induced argon plasma using optical emission spectroscopy and Thomson scattering

A. Farah-Sougueh, A. Mendys, T. Pięta, K. Dzierżęga, S. Pellerin, B. Pokrzywka, J. Hermann, D.G. Astanei

Objectif: Etude de l'influence des vapeurs métalliques + gouttelettes sur Ne
 Mesure de Ne dans un GMAW par raies H α Stark



Etude:

Hypothèse $T_e = T_i$ pour remonter à Ne

Exposition temps 140ns, résolution spatiale de 0.28mm et temporelle

Mesure raie H α à 5.5 mm de la surface de la cathode

Déconvolution et inversion d'Abel.

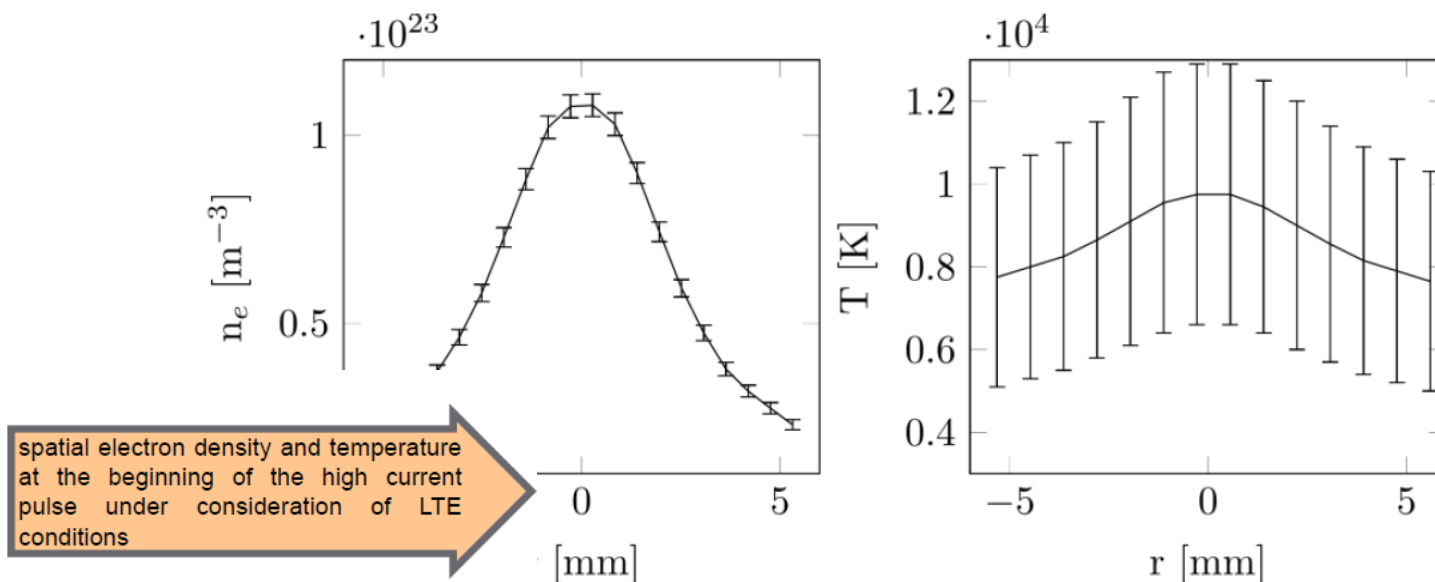


Figure 4: Evaluation of electron density and temperature at $t_{\text{trig}} = 0.25$ ms under consideration of LTE from the H α line for $\mu = 1$.

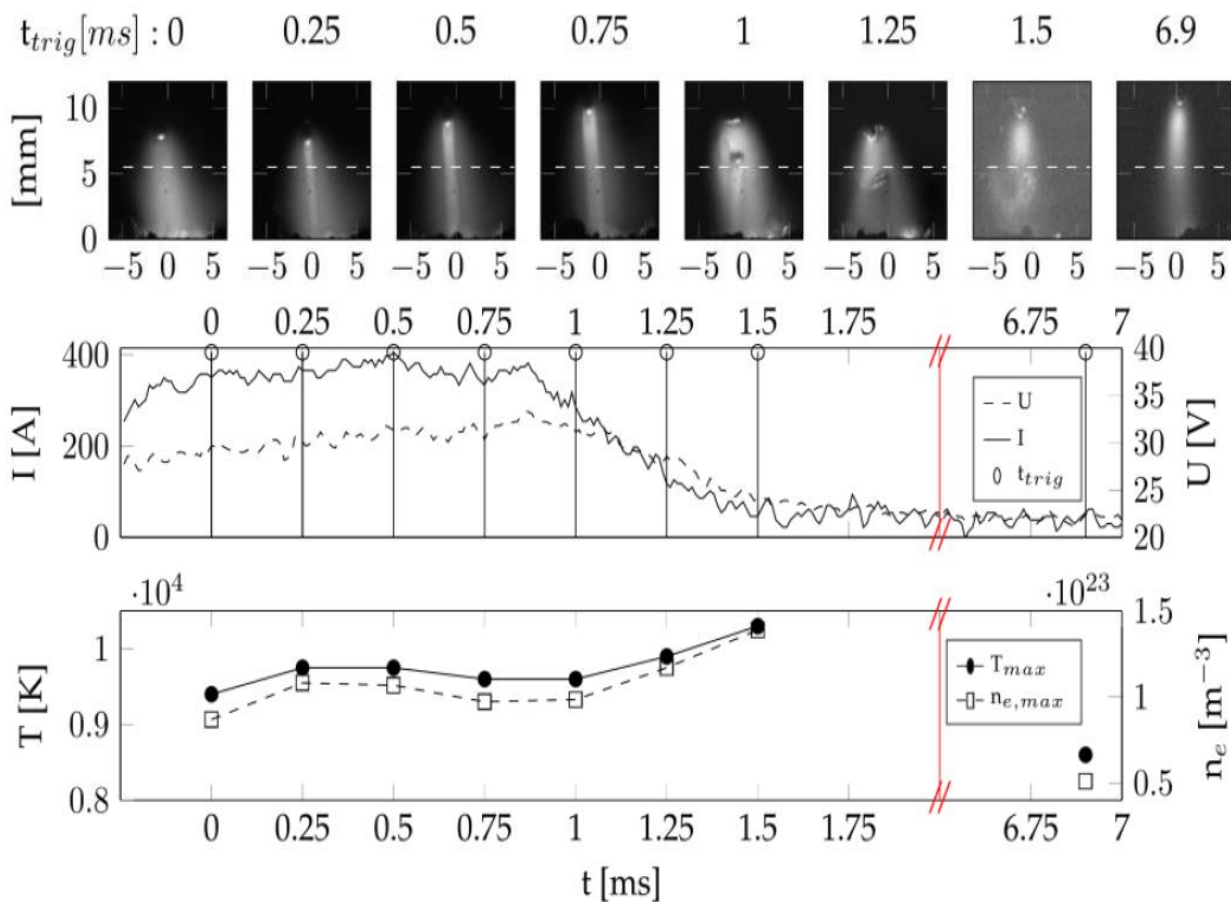
Résultats:

Augmentation de la concentration des vapeurs métalliques issues des gouttelettes et modification forte de la raie H α par les vapeurs métalliques.

arc images: position of droplets relative to the measurement volume (white dashed line)

arc current and voltage signals together with the trigger time (vertical bars)

maximal electron density and temperature evaluated at a particular trigger time



Objectifs:

- Détermination de la température
- Etude de l'influence du gaz sur le transfert de métal
- Etude expérimentale de la structure du fil car présence d'oxyde de fer (microscopie de la structure selon O₂/CO₂).

- * Te obtenue par méthode «Sola» indépendante de LTE (δ_{stark} des raies de Fe et Ar)
- * Ne déterminée par méthode classique « Boltzmann plot » sur 3 raies de Fe

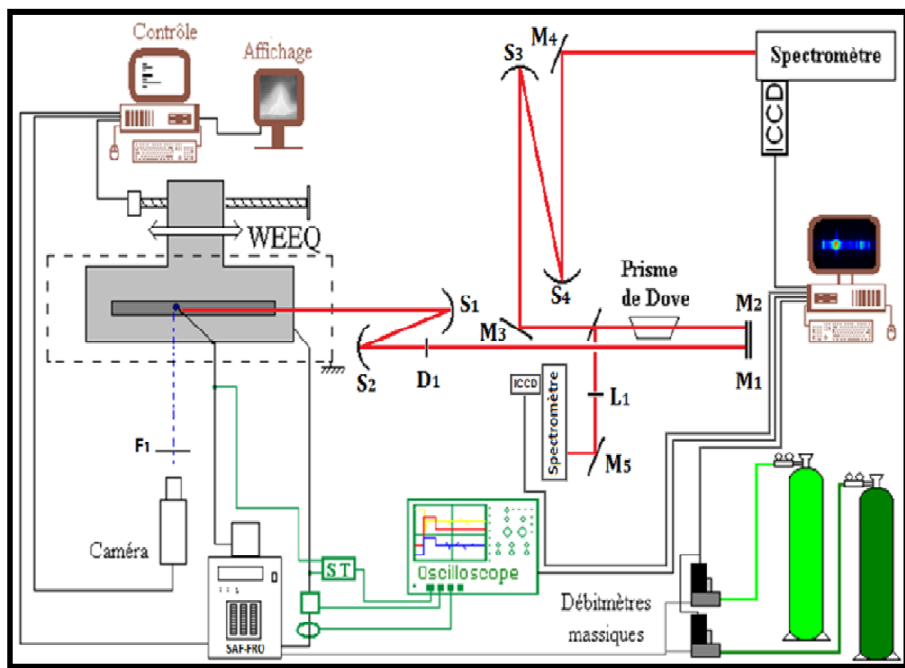


Figure 1 : Experimental set-up

Dispositif

Gaz Ar/O₂ ou Ar/CO₂
 Machine Digiwave 500
 Filtre centré en 469nm
 2 spectro (Acton et Sopra pour l'argon ArI 696.5nm et pour le fer FeI 538.3nm)

Analyse:

High speed camera pour la forme de l'arc
 OES pour les profils de ne et T(r)
 Abel inversion
 Microscopie pour la structure du fil

Résultats: profils de température

- Avec O₂ ou CO₂, beaucoup de vapeurs métalliques
- T° quasi identiques (avec 5%O₂ ou 5%CO₂)
- Par EOS, pas de vraies différences sur le profil T(r)

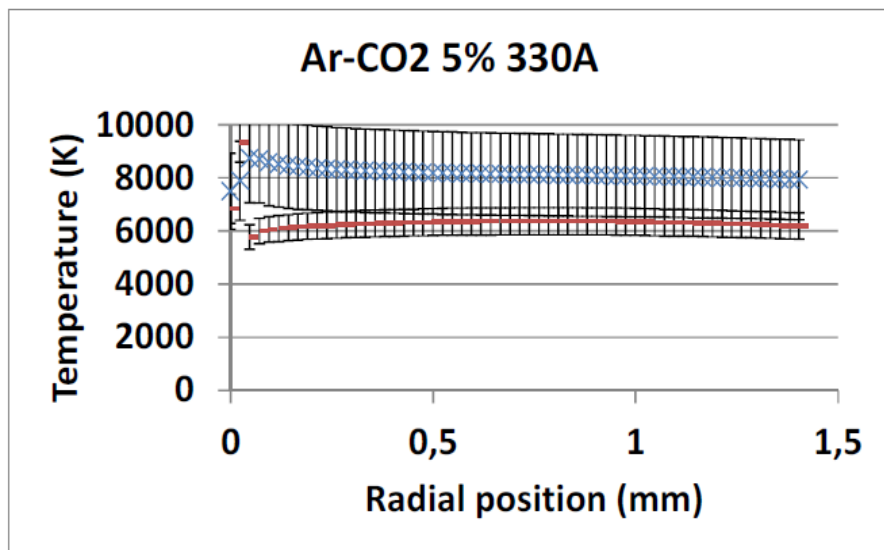


Figure 4: Electron temperature distribution [5% CO₂ at h = 11mm above the cathode]

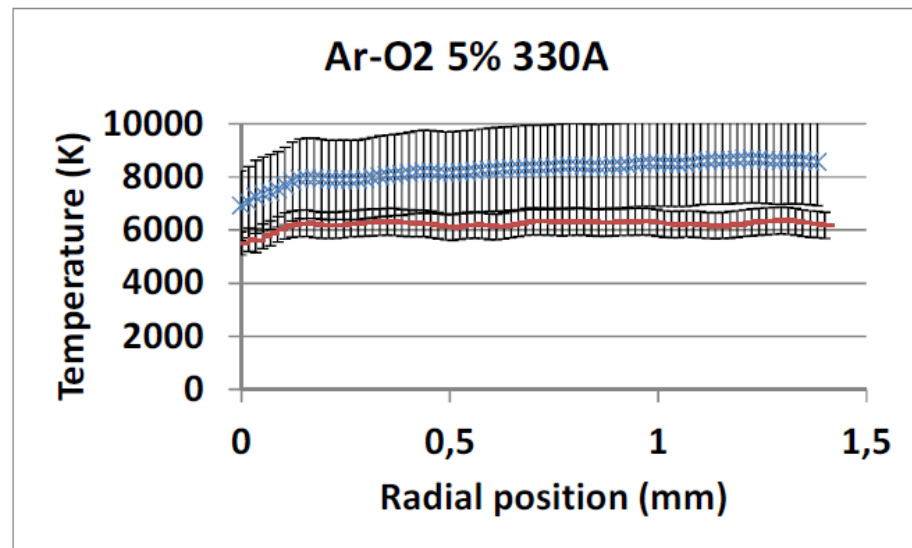


Figure 5: Electron temperature distribution [5% O₂ at h = 11mm above the cathode]

Résultats : transfert du métal (mode)

Dans Ar/O₂, le mode spray est plus présent, gangue est 20x plus grande et + de pores larges

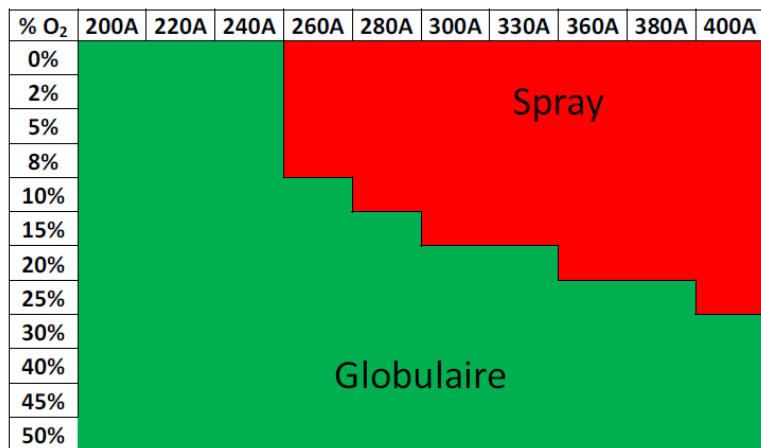


Table 2: Metal transfer in Ar-O₂

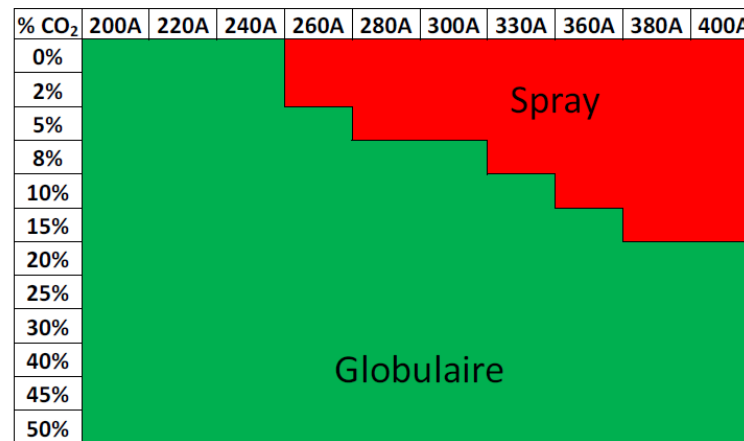


Table 1: Metal transfer in Ar-CO₂

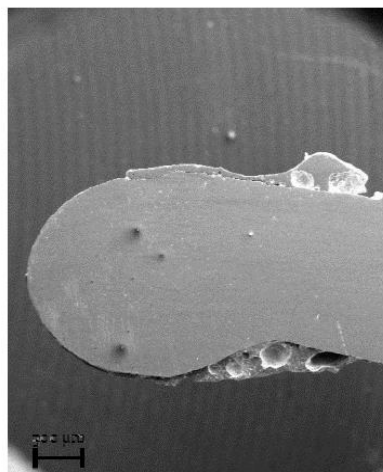


Figure 3: Globular mode 30% O₂ 300A [×25]

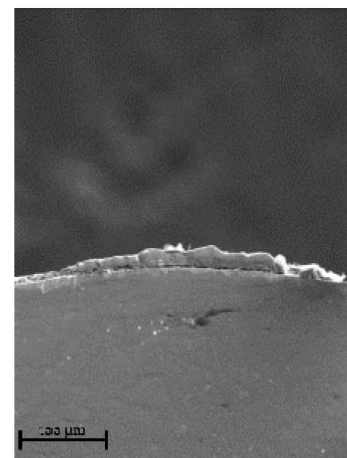


Figure 2 : Globular mode 30% CO₂ 240A [×150]

Etudes expérimentales – Torches de projection

(P3.01) Interpretation of temperatures from emission spectra in thermal arc plasmas
A. Mašláni, V. Sember

Etudes expérimentales – Arcs dans le vide

(P3.03) Evaluation of vacuum contactor testing facility by optical and spectroscopic investigations
C. Vitelaru, UA. Radulian, N. Mocioi, V. Braic

Etudes expérimentales – Disjoncteurs

(P2.31) An Experimental Study of the Photoelectron Work Function Change of Silver-Based Contacts Induced by Arcing in Air
M. Akbi

(P2.03) Electron swarm parameter measurements of perfluorobut-2-ene (2-C₄F₈)
A. Chachereau, UC. M. Franck

(P3.65) Speckle imaging of circuit breaker arcs—toward tomographic imaging
P. C. Stoller, J. Carstensen, L. Theodoulou, E. Panousis

(P3.60) Study of the Feasibility of CF₃I/CO₂ Substituting SF₆ in GIS by Partial Discharge Experiment
Song Xiao, Xiaoxing Zhang, Yann Cressault

Objectifs:

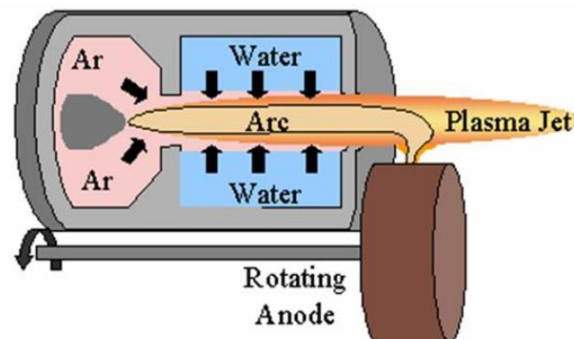
Utilisation des spectres d'émission pour remonter aux températures d'un plasma

Les difficultés:

- calibration du système spectroscopique
- Perturbation des signaux (bruits...) sur l'observation des spectres de raies
- Connaissance imprécise des constantes spectroscopiques
- Intégration des profils de raies, non symétrie, inversion d'Abel remise en question
- Forts gradients de températures pour des petits volumes plasma
- Présence d'écarts à l'équilibre thermiques et chimiques

Etude proposée:

Détermination de la température pour une torche plasma hybride Ar-H₂O



Dispositifs:

Torche ArH₂O, gaz Ar (8slm-40slm), vortex H₂O

Evaporation de l'eau 0.3g/s

I=300-600A, V=250-300V, P=70-160kW

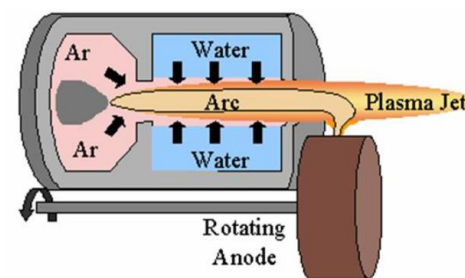
Anode disques cuivre de 16mm, $\phi=180$ mm, rotation 50Hz, érosion uniforme

Anode à 2mm de la tuyère (horizontalement et verticalement)

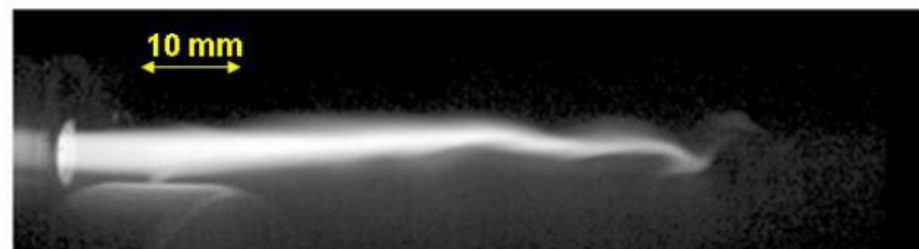
Tuyère de $\phi=5-6$ mm

Monochromateur Jobin Yvon Triax 550 + ICCD (1024x256)

Mesure de la T° à différents endroits par OES



I=500A, argon 12slm
Camera Canon EOS 450D, texp=1ms

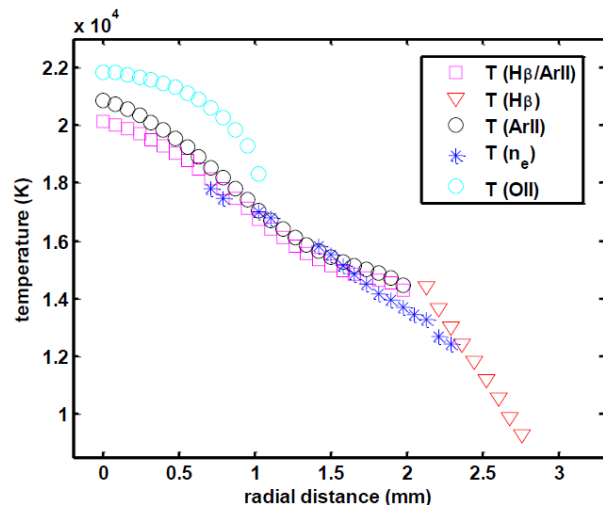


Camera High Speed Photron, Texp=0.29micros

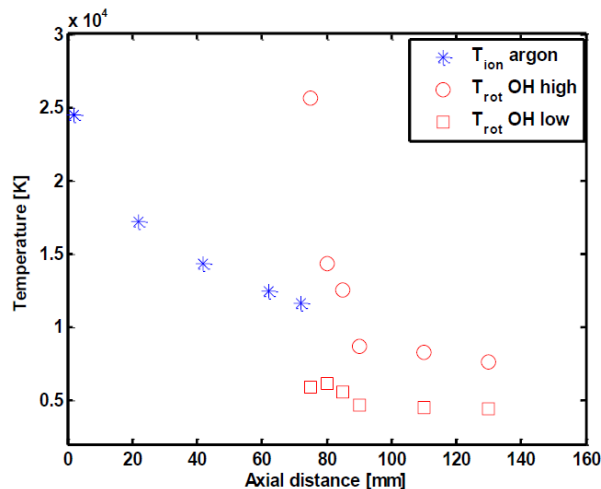
Exemples de résultats pour 200A/400A

Distance axiale de 0 à 160mm, Ar=12.5slm

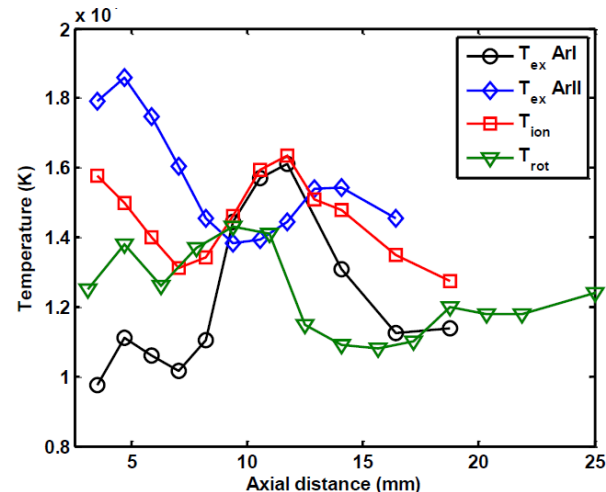
T° obtenues par H β , Ar $^{++}$, O $^{++}$, Ne, raies rotation OH (pour distances 70mm-130mm)



**(400A) Arc proche anode,
Meilleure résolution spatiale nécessaire**



**Désaccord entre T° axiale (400A)
dédiuite par Ar et OH.**



Différences sur les T° axiale (200A)

Causes possibles:

Jet plasma turbulent qui rend l'utilisation des raies moléculaires de OH impossible, transformée d'Abel?
jet supersonic? pressions environnantes faibles? raies des neutres/ions pas optiquement minces (autoabsorption?), position de l'anode qui rend asymétrique la géométrie du plasma, compétition entre raies et continuum (raies peu visibles dans certaines régions), grands gradients de T° du centre vers les bords (nécessité de traiter plusieurs).

Arc dans le vide

- Mesures par OES
- Etude temporelle et spatiale par camera rapide
- Corrélation mesures électriques avec déplacement électrodes mobiles

Problème: il peut y avoir passage par zéro du courant à des intensités différentes dues aux instabilités de l'arc: surtension, passage par zéro avant $i(t)=0$

Dispositif:

Arcs dans le vide, $I=1\text{kA}$, pulse de 100A max, 50Hz

Contacts : WC(60%)/Ag(40%), ouverture $t=7\text{ms}$

Pression de 10^{-7} mbar

Analyse optique:

Ocean Optics USB20000 spectromètre sur 200-900 nm

Motion Pro X3 camera rapide (1000fps, 1024x1280, max 64000fps)

OES: observation des raies W (I et II) et un peu de Ag (I)

Conclusions Caméra

(t=0.9ms) Ejection de beaucoup de microparticules

(t=19ms) présence de microarcs de faible intensité et peu de microparticules

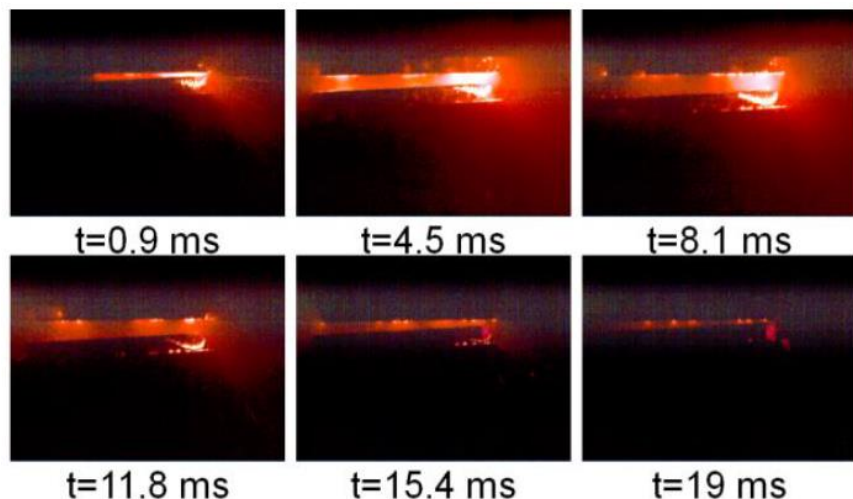


Fig3. Images of the discharge between two WC/Ag electrodes under high current conditions (1.26 kA), at various time intervals

Mouvement électrode non uniforme

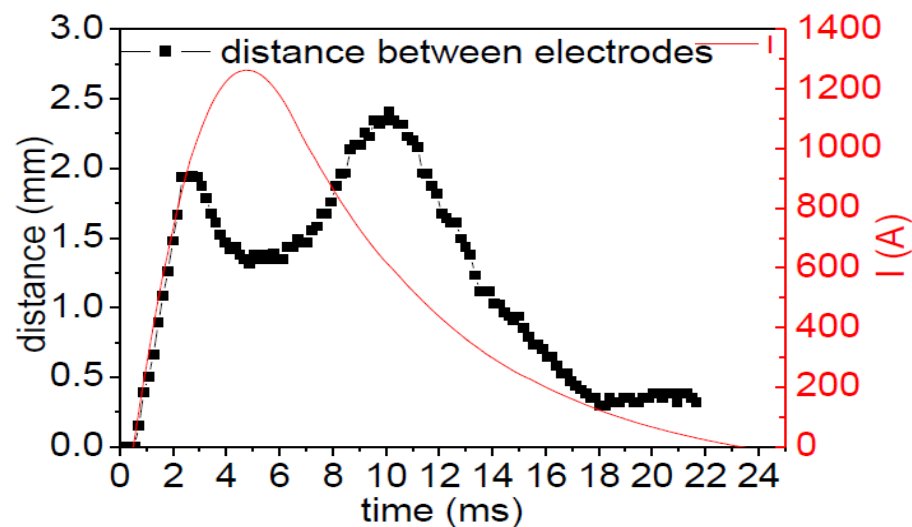


Fig 4. Time evolution of distance between electrodes and current intensity, when opening WC/Ag contact in high current regime (electrode forming)

Conclusions:

inhomogénéité du plasma , évaporation localisée

technique non intrusive

identification et description des microparticules (trajectoire, vitesse et distribution)

Passage par Zero non reproductible

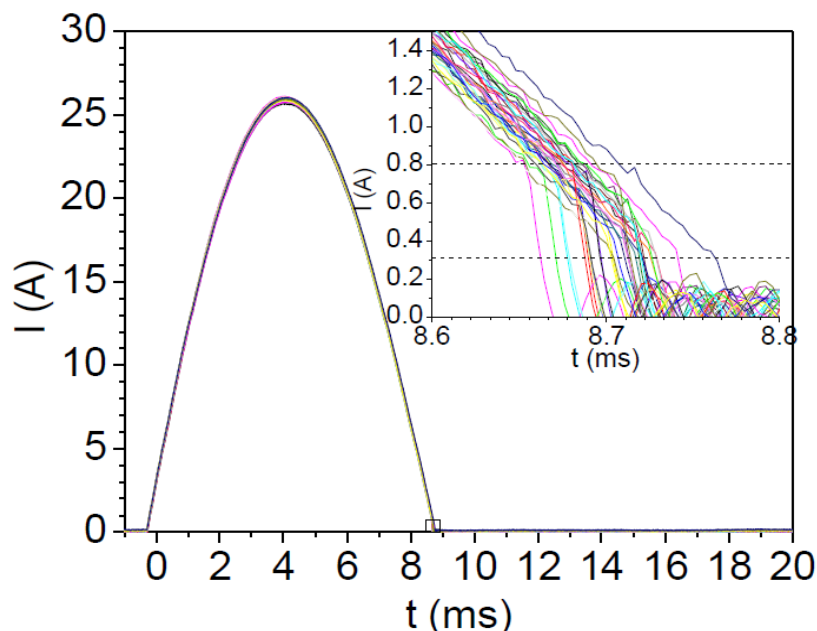


Fig.5 Time evolution of current intensity when opening the WC/Ag contacts, for typical conditions of measuring the chopping current ($I_{max}=25$ A)

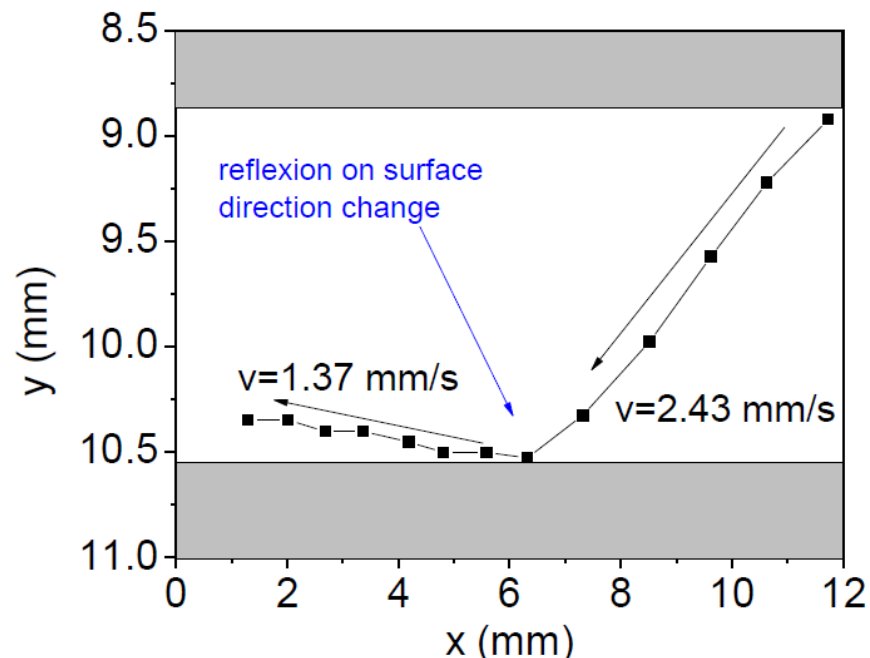


Fig 6. Real trajectory of the micro-particle identified by

Objectif: Etude du travail de sortie des électrons (EWF) en fonction de la composition de l'électrode, dans le cas des disjoncteurs basse-tension. Mesures de la photoémission électronique pour des électrodes Ag et AgNi (60/40) + morphologie des contacts.

Dispositif:

Electrodes: Ag, Ag-CdO, AgZnO, AgSnO₂, AgNi et AgW car forte conductivité et résistance contre la corrosion et la fusion

Energie extraction de Ni $\sim 4.3\text{eV}$ donc il faut $\lambda < 290\text{nm}$ (UV light)



Fig. 2 Experimental contactor

Experimental Contactor

Distance inter-électrodes: 5mm

Durée : $4 \cdot 10^{-3}\text{s}$

Nombre d'arcs : 1-500

Courant : 36A à 12A (variation linéaire)

Tension: 12V à 35V (variation linéaire)

Vitesse ouverture : 1m/s

Air, pression atmosphérique

Chambre UHV à 19^{-9} mbar

I mesuré: sonde Keithley picoamp (n°486)

Objectif: Etude du travail de sortie des électrons (EWF) en fonction de la composition de l'électrode, dans le cas des disjoncteurs basse-tension. Mesures de la photoémission électronique pour des électrodes Ag et AgNi (60/40) + morphologie des contacts.

Dispositif:

Electrodes: Ag, Ag-CdO, AgZnO, AgSnO₂, AgNi et AgW car forte conductivité et résistance contre la corrosion et la fusion

Energie extraction de Ni $\sim 4.3\text{eV}$ donc il faut $\lambda < 290\text{nm}$ (UV light)

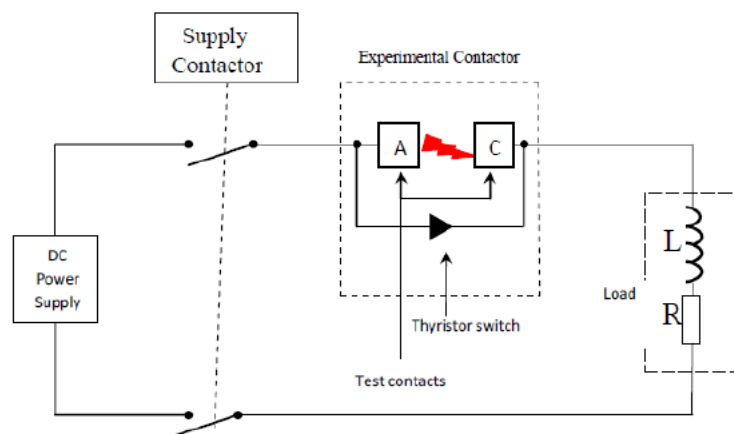


Fig. 3 Schematic diagram of the experimental contactor

Experimental Contactor

Distance inter-électrodes: 5mm

Durée : $4 \cdot 10^{-3}\text{s}$

Nombre d'arcs : 1-500

Courant : 36A à 12A (variation linéaire)

Tension: 12V à 35V (variation linéaire)

Vitesse ouverture : 1m/s

Air, pression atmosphérique

Chambre UHV à 19^{-9} mbar

I mesuré: sonde Keithley picoamp (n°486)

Conclusion:

Même comportement émissif, augmentation de EWF à cause de la formation d'oxydes dus à Ni. L'ouverture répétée des contacts modifie la microstructure, la rugosité et le travail de sortie.

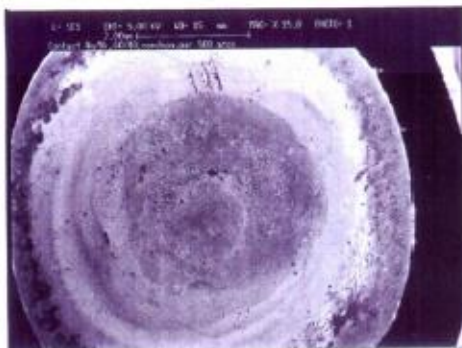
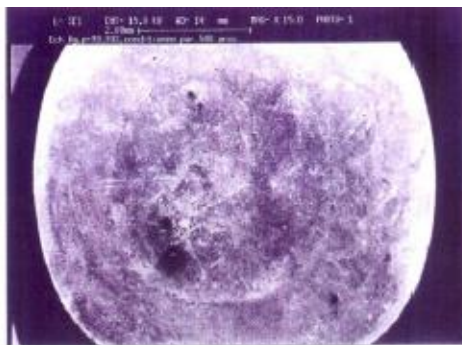


Fig. 6 Micrographs of arced electrical contacts, SEM magnification x15, Ag (99.99%) and Ag-Ni(60/40), respectively.

Première ouverture:

K forte, E faible

EWF $\sim 4.26\text{eV}$ (Ag) et 4.33eV (60Ag/40Ni)

Après 500 arcs:

Ajouts d'effets (thermique, hydrodynamiques...)

Les propriétés des contacts ont changé: conductivité électrique élevée, K bonne, bonne résistance à l'érosion et/ou la friction, faible résistance de contact avec une bonne stabilité.

EWF $\sim 4.50\text{ eV}$ (Ag) et 4.38eV (60Ar/40Ni)

Cause: augmentation de EWF due à l'oxydation de la surface érodée (avec Ni, oxydation de Ni en surface qui constitue une couche négative, EWF augmente). Arc après arc, les oxydes se décomposent et absorbent l'énergie, donc l'érosion décroît.

Conclusion:

Même comportement émissif, augmentation de EWF à cause de la formation d'oxydes dus à Ni. L'ouverture répétée des contacts modifie la microstructure, la rugosité et le travail de sortie.

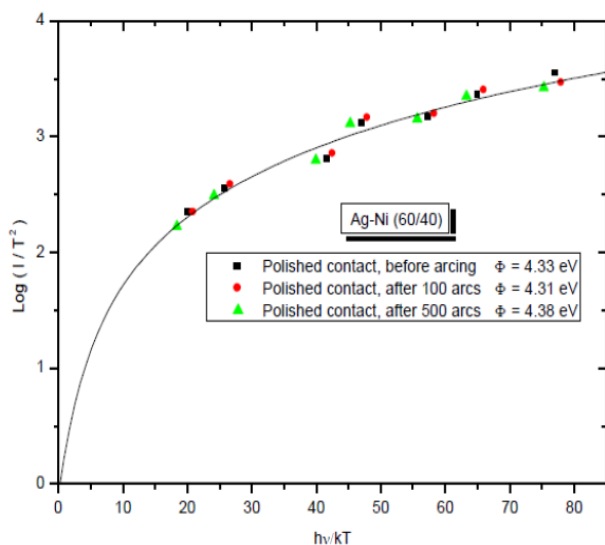


Fig. 5 Fowler isothermal curve for silver-nickel contacts before and after arcing

Première ouverture:

K forte, E faible

EWF ~ 4.26eV (Ag) et 4.33eV (60Ag/40Ni)

Après 500 arcs:

Ajouts d'effets (thermique, hydrodynamiques...)

Les propriétés des contacts ont changé: conductivité électrique élevée, K bonne, bonne résistance à l'érosion et/ou la friction, faible résistance de contact avec une bonne stabilité.

EWF ~ 4.50 eV(Ag) et 4.38eV (60Ar/40Ni)

Cause: augmentation de EWF due à l'oxydation de la surface érodée (avec Ni, oxydation de Ni en surface qui constitue une couche négative, EWF augmente). Arc après arc, les oxydes se décomposent et absorbent l'énergie, donc l'érosion décroît.

Objectifs:

- Recherche d'un mélange pour substituer le SF₆ dans les disjoncteurs
- Etude du 2-C₄F₈ qui semble avoir une « electric strength » 1.6 fois celui du SF₆
- Mesure du « electron swarm parameter » dans une décharge pulsée

Caractéristiques:

Etude d'un mélange Ar-2-C₄F₈ / N₂-2-C₄F₇ / CO₂-2-C₄F₈ avec % de 2-C₄F₈ < 0.04%

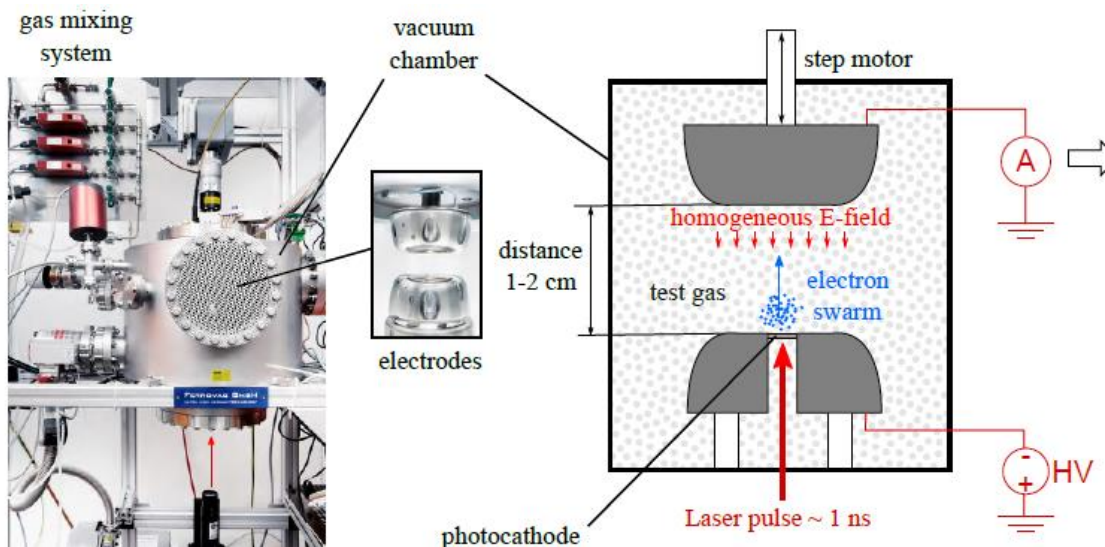
Etude de la structure chimique de 2-C₄F₈

P=30-100mbar, d=12-19mm, E/N=2-130Td, T° ~ 298K

Laser ~ 266nm, durée ~ 1.5ns, répétition 20Hz, ~ 2x10⁷ électrons



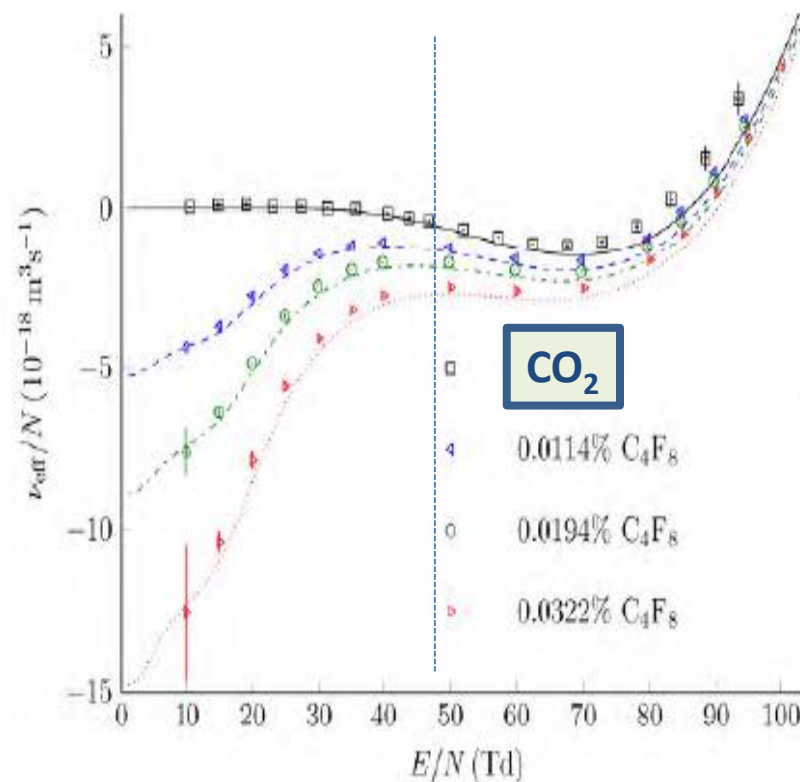
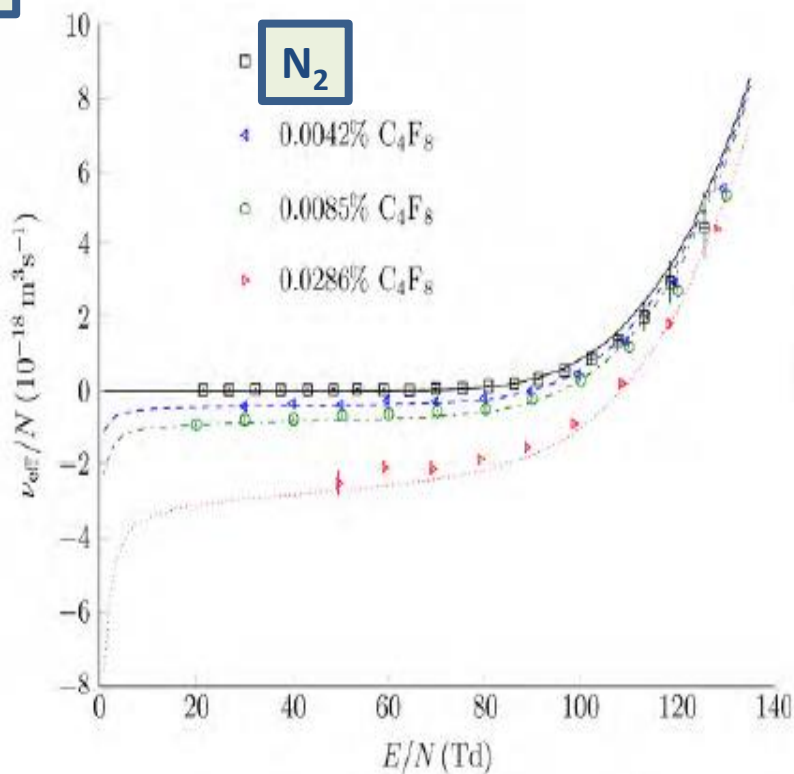
145 kV Gas-insulated switchgear
[picture: Alstom Grid]



De la mesure du courant, calcul de T_e - T_0 , puis de v_{eff} ionisation effective puis de E/N
Avec N₂, lorsque 2-C₄F₈ augmente, v_{eff} diminue, ω_e linéaire =f(E/N)
Avec CO₂, lorsque 2-C₄F₈ augmente, v_{eff} diminue surtout < 50Td, ω_e non lineaire

Effective ionization rate constant v_{eff}/N and electron drift velocity in 2-C₄F₈ mixtures with N₂ and CO₂

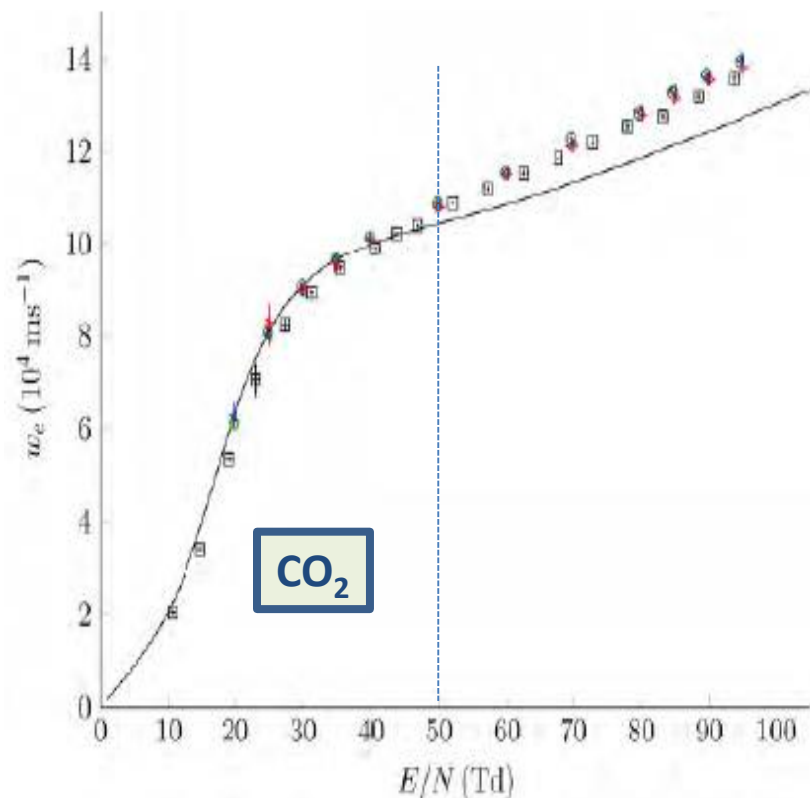
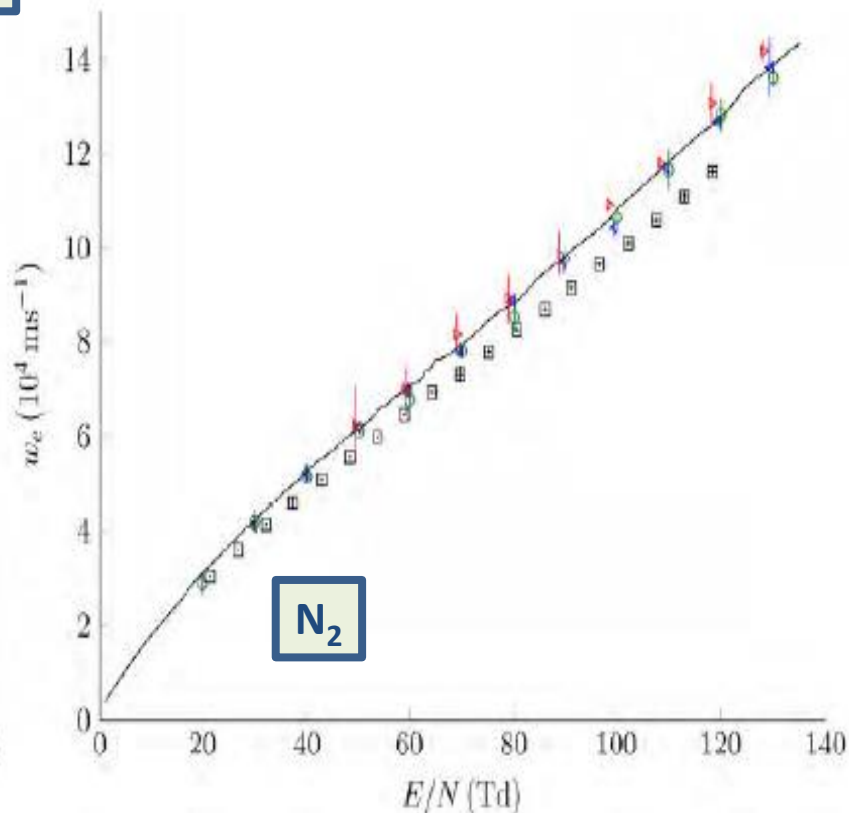
v_{eff}



De la mesure du courant, calculé de T_e - T_0 , puis de v_{eff} ionisation effective puis de E/N
Avec N₂, lorsque 2-C₄F₈ augmente, v_{eff} diminue, ω_e linéaire =f(E/N)
Avec CO₂, lorsque 2-C₄F₈ augmente, v_{eff} diminue surtout < 50Td, ω_e non linéaire

Effective ionization rate constant v_{eff}/N and electron drift velocity in 2-C₄F₈ mixtures with N₂ and CO₂

ω_e

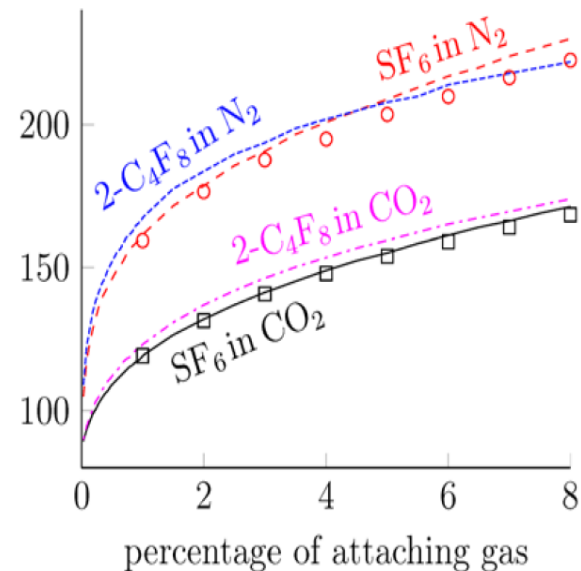
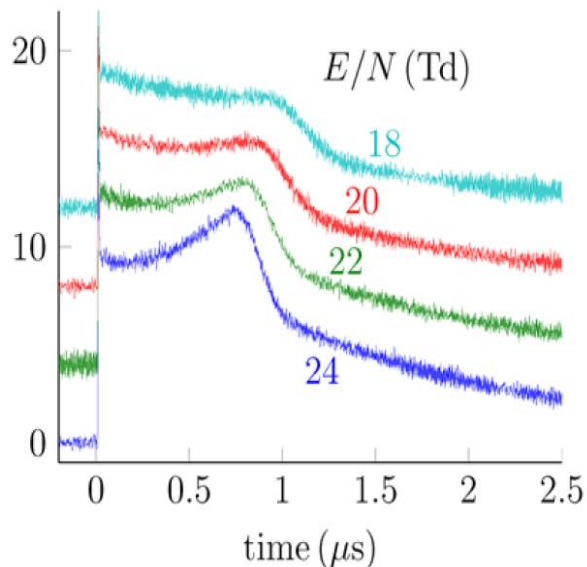
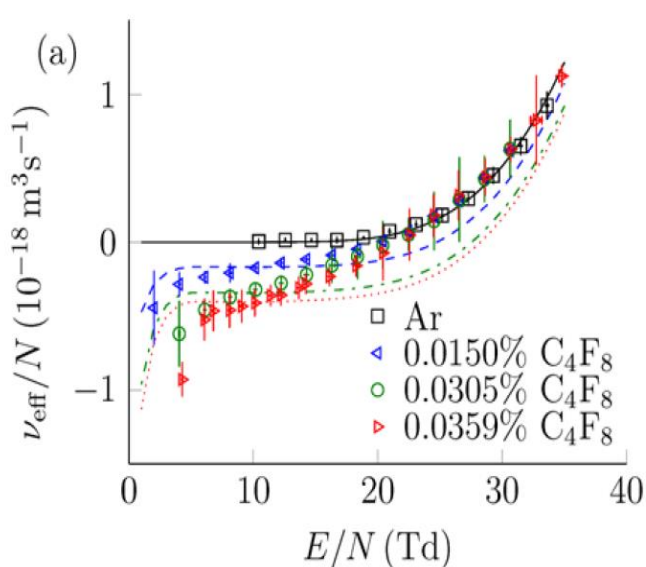


Avec Ar:

Diminution de v_{eff} pour $E/N < 20\text{Td}$. Variation linéaire pour ω_e

Différences à cause des allures inhabituelle du courant $i(t)$

Autre cause : penning ionisation du 2-C4F8 $\sim 12\text{eV}$ par Ar^*



0.0305% 2-C4F8, 100 mbar, $d_{\text{electrode}}=19\text{mm}$

Conclusion :

Mesures du taux ionisation effectif et vitesse de dérive des électrons (disponibles dans LxCat)

Bon accord entre calcul et mesures

Lorsque l'on ajoute du 2-C4F8 dans N_2 et CO_2 , on obtient pareil que $\text{SF}_6\text{-N}_2$ et $\text{SF}_6\text{-CO}_2$ mais la T° d'ébullition du 2-C4F8 très haute induit des % plus faibles de 2-C4F8

Objectif:

Etude de la phase de coupure du courant dans les disjoncteurs haute-tension

Méthode-Analyses:

- « speckle imaging » spatialement (mesures de gradients d'indice de réfraction)
- détermination de la température, N_e , et conductivité de l'arc et du gaz environnant
- extension de la technique à une mesure multi-vue avec détermination du nombre de vues pour reconstruire l'arc en 3D (tomographie)

Dispositif:

- Générateur Agilent 33522B pour coordonner les 2 cameras monochrome (Prosilica GT4905 et GT 2300) et le pulse.
- Courant de 20Hz, 1 à 2KA, gaz stable établi au passage par zéro.
- Circuit LC triggé pour injecter une oscillation de 500Hz avec un profil bien controlé

- Utilisation d'un fil fusible pour amorcer l'arc
- Laser Nd:YAG 532 nm nanoseconde (Crystalaser CRL-QL532-100-YG) qui traverse l'arc, puis un « glass diffuser » qui génère un « speckle pattern » enregistré par une camera.

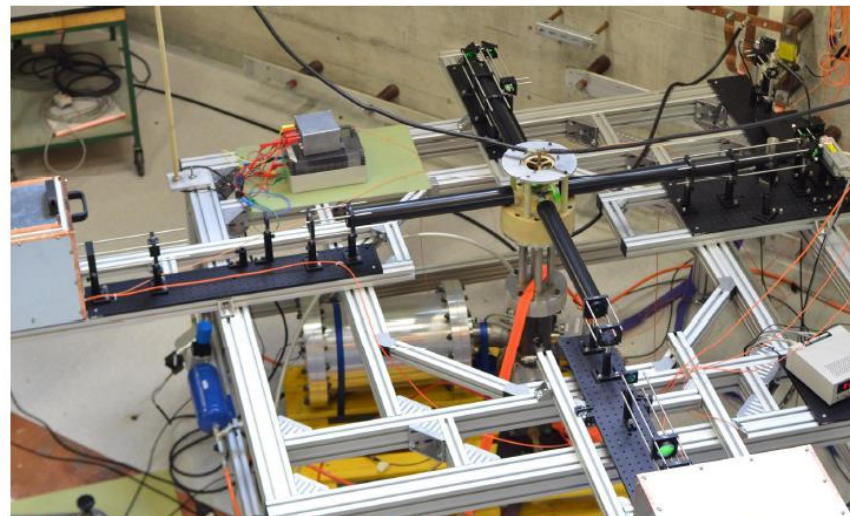


Figure 1. Photograph of the experimental setup showing the two identical beam-lines.

Méthode d'analyse

Reconstruction 3D de l'indice de réfraction (multiple projection, transformée de Radon)

2 méthodes:

back-projection algorithm (Matlab, standard Schepp-Logan phantom + negative offset 0.1)

Maximum likelihood estimator method (qui tient compte des valeurs négatives de l'indice)

*Indice de réfraction
reconstruit par projection
Speckel-2vues (90°)*

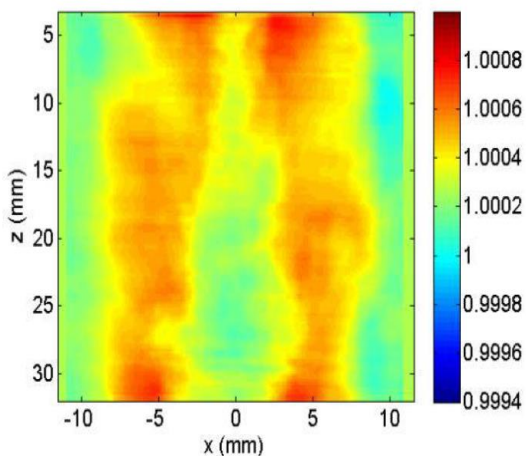


Figure 2. Refractive index distribution re-constructed from two Speckle projections of the arc at 90° to each other. Note that $z = 0$ corresponds to the position of the nozzle exit and that downstream distance increases with z .

*Densité de distribution
reconstruite à partir
Speckel-2vues—résultat moyen*

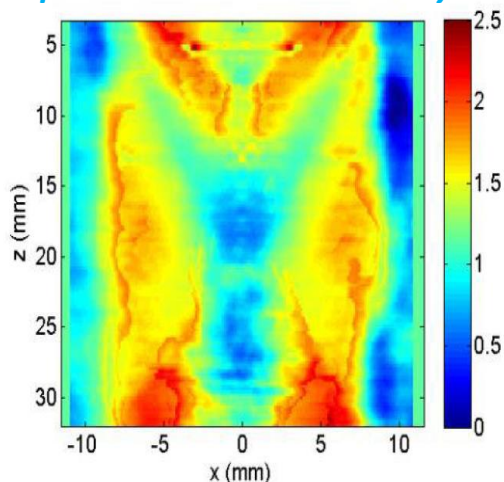


Figure 3. Density distribution calculated from the refractive index distribution shown in Figure 2.

*Densité de distribution
reconstruite à partir
1vue avec Speckle-projection*

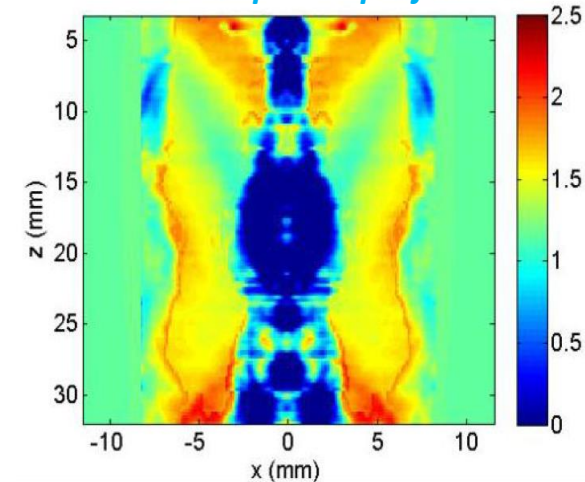


Figure 4. Density distribution re-constructed from a single Speckle projection of the arc (after it was symmetrized). Compare to the re-construction with two beams presented in Figure 3.

Méthode d'analyse

Reconstruction 3D de l'indice de réfraction (multiple projection, transformée de Radon)

2 méthodes:

back-projection algorithm (Matlab, standard Schepp-Logan phantom + negative offset 0.1)

Maximum likelihood estimator method (qui tient compte des valeurs négatives de l'indice)

Vue verticale

comparaison original/reconstruction

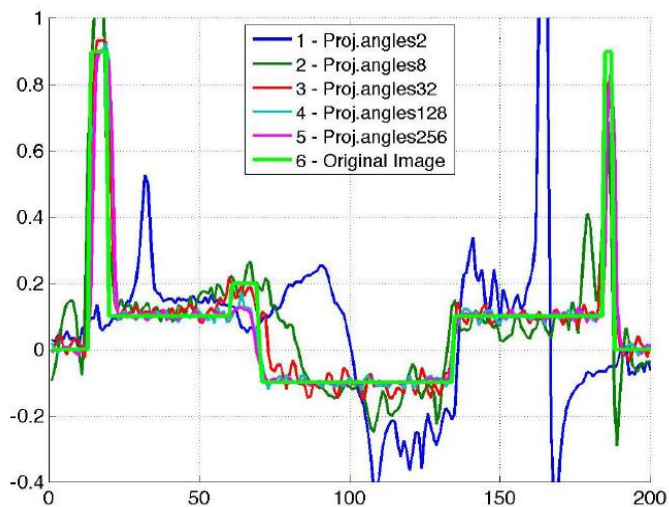


Figure 6. One-dimensional cut through the Schepp-Logan phantom (Figure 5) along the vertical dashed line reconstructed using filtered back projection.

Vue horizontale

comparaison original/reconstruction

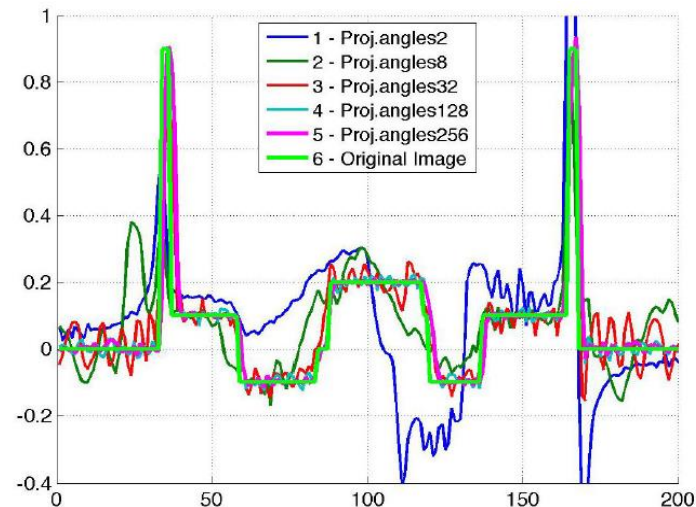


Figure 7. One-dimensional cut through the Schepp-Logan phantom (Figure 5) along the horizontal dashed line reconstructed using filtered back projection.

De 0 à 256 vues, conclusion: 8 vues minimum.

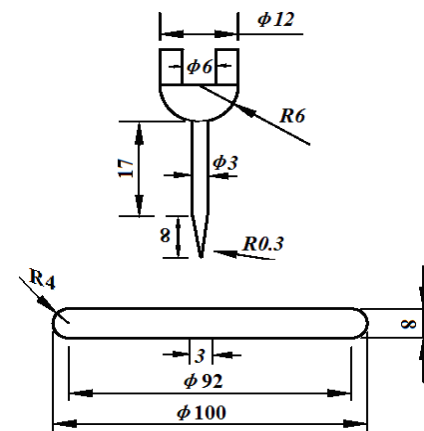
Objectif: remplacement du SF₆ par CF₃I dans HVCB
 Etude de décharges partielles dans CF₃I/CO₂
 Etude « partial discharge inception voltage » (PDIV)
 Comparaison avec SF₆/CO₂

Paramètres

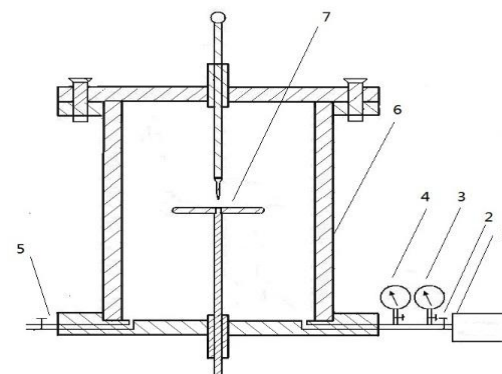
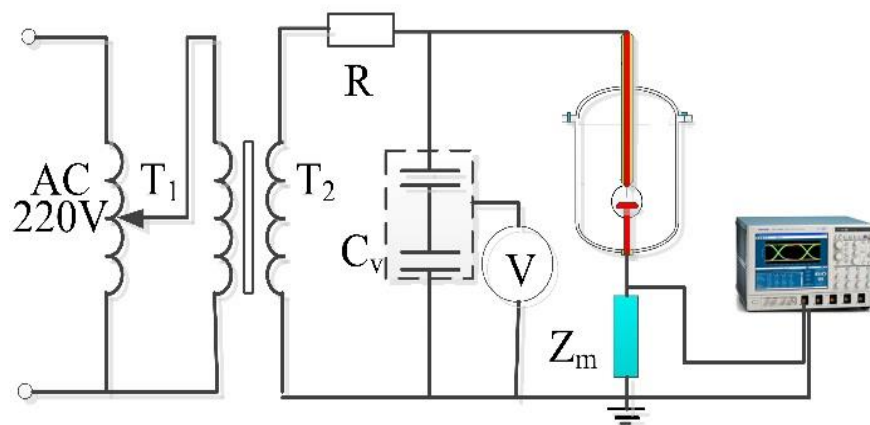
Différentes pressions: 0.1 ; 0.15 ; 0.2 ; 0.25 ; 0.3 Mpa

Différent % : 0 ; 10% ; 20% ; 25% ; 30% ; and 100% SF₆.

Différents distances inter-électrodes : d=5, 10 et 15mm
 needle-plate électrodes



Needle-plate electrodes



Experimental container schematic diagram.

(1 vacuum pump; 2 gas inlet: a; 3 gas pressure gauge; 4 vacuum gauge; 5 gas inlet: b; 6 container; 7 needle-plate electrodes).

Résultats

Pour d=5mm :

- PDIV CF₃I/CO₂ > SF₆/CO₂ pour 10-30%, toutes pressions, entre 1 et 1.2 fois supérieur
- PDIV croit linéairement avec la pression

PDIV of CF₃I-CO₂/ PDIV of SF₆-CO₂

k	Pressure (MPa)					
	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	
10%	<u>1.19</u>	<u>1.21</u>	<u>1.22</u>	1.05	1.02	
20%	<u>1.13</u>	<u>1.18</u>	<u>1.13</u>	1.16	1.11	
25%	<u>1.21</u>	<u>1.16</u>	<u>1.20</u>	1.15	1.08	
30%	1.13	1.10	1.16	1.10	1.08	

PDIV of CF₃I-CO₂/ PDIV of SF₆-CO₂

k	Gap Distance (mm)			
	5	10	15	
10%	<u>0.76</u>	<u>0.67</u>	<u>0.68</u>	
20%	1.09	1.23	1.10	
25%	0.96	1.05	1.08	
30%	1.02	1.13	1.17	

The results indicate that the PDIV of CF₃I/CO₂ is higher than that of SF₆/CO₂ when the mixing ratio is 10–30% at 0.1–0.3 MPa. The insulation performance of CF₃I/CO₂ in these conditions is close to or even better than that of SF₆/CO₂.

Prochaine étape: étude du “Synergistic effect”

Etudes numériques

(P1.23) Computing DC discharges in a wide range of currents with COMSOL MultiPhysics: time-dependent solvers vs. stationary solvers

P.G.C. Almeida, M.S. Benilov, M.S. Bieniek, M.D. Cunha, J.G.L. Gomes, H.T. Costa Kaufman

(P1.59) Self-organization in DC glow microdischarges: bringing the modelling closer to the experiment

P.G.C. Almeida, M.S. Benilov, D.F N. Santos

Physics of spotless mode of current transfer to cathodes of metal vapor arcs

M.S. Benilov, L.G. Benilova

Modelling cathode spots in glow discharges in the cathode boundary layer geometry with COMSOL Multiphysics

P. G. C. Almeida, M. S. Benilov, M. S. Bieniek

Modelling spot patterns on cathode of DC glow discharges

P. G. C. Almeida, M. S. Benilov

(P1.26) Simulation of the OH emission molecular spectrum to determine the plasma temperature and the influence noise to signal ratio on the temperature values

H. Nassar and O. Aoude

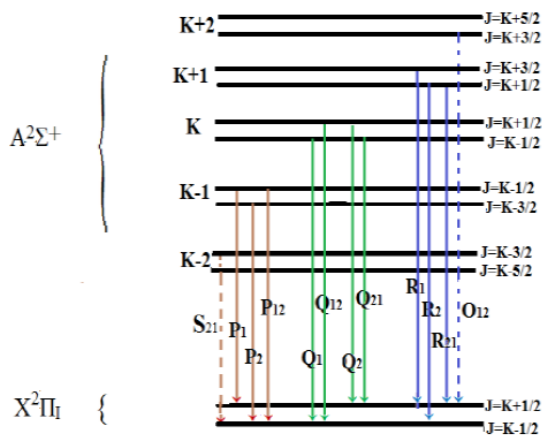
(P3.08) Influence of the molecular lines on the radiative transfer: application to atmospheric air thermal plasmas and coplanar geometries

Y. Cressault, T. Billoux

Objectif: connaissant un spectre mesuré et le signal bruité, en déduire la $T_{\text{rotationnelle}}$.
 OH (A-X) important dans H_2O_2 plasmas pour des températures 1000K-6000K
 Rappel de la méthode utilisée pour simuler un spectre moléculaire
 Simulation de la tête de bande OH(A-X)(O-O) violet à 306.4nm
 Hypothèses + spectres sont donnés: 3064.8A-31000A

Simulation:

Test de la sensibilité du code de simulation en ajoutant de différents signaux (différentes types de bruits), influence sur la détermination de $T_{\text{rotationnelle}}$.
 Corrélation avec une fonction d'appareil de type Gauss à travers un paramètre DX (half width at 1/e height), DX joue sur la résolution des raies rotationnelles



$$I_0 = \int_{\nu_0 - \varepsilon}^{\nu_0 + \varepsilon} I_\nu \cdot \exp \left[-\frac{(\nu - \nu_0)^2}{DX^2} \right] \cdot d\nu \quad (2)$$

Where $\tau = 2.5 DX$ and ν_0 is the wave number of the line.

Figure 1: Transition between both electronic States $A^2\Sigma^+$ and $X^2\Pi_i$

Résultats

Comparaison point par point avec les spectres mesurés pour déterminer $T_{\text{rotationnelle}}$
 Estimation de l'erreur commise sur la détermination de cette température.

Plusieurs spectres sont données, ici un exemple

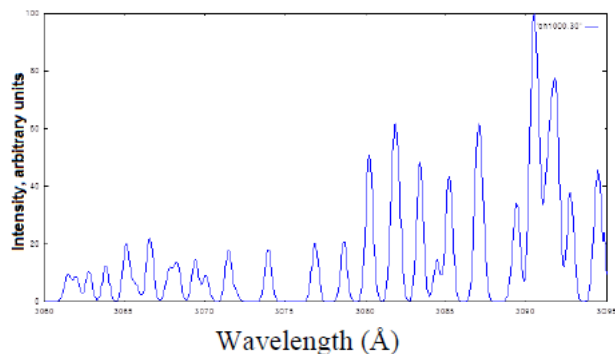


Figure 2: Simulated spectrum with $T_r = 1000\text{K}$ and $DX = 3 \text{ cm}^{-1}$.

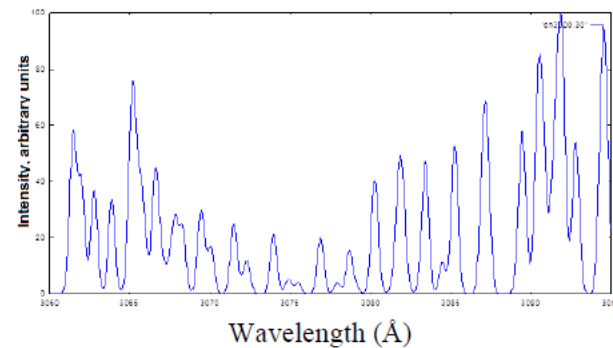


Figure 3: Simulated spectrum with $T_r = 3000\text{K}$ and $DX = 3 \text{ cm}^{-1}$.

Noise/signal %	$\Delta T/T\%$	
	3000k	6000k
1%	1.5%	3%
5%	4%	7%
10%	6%	10%
20%	11.5%	18.5%

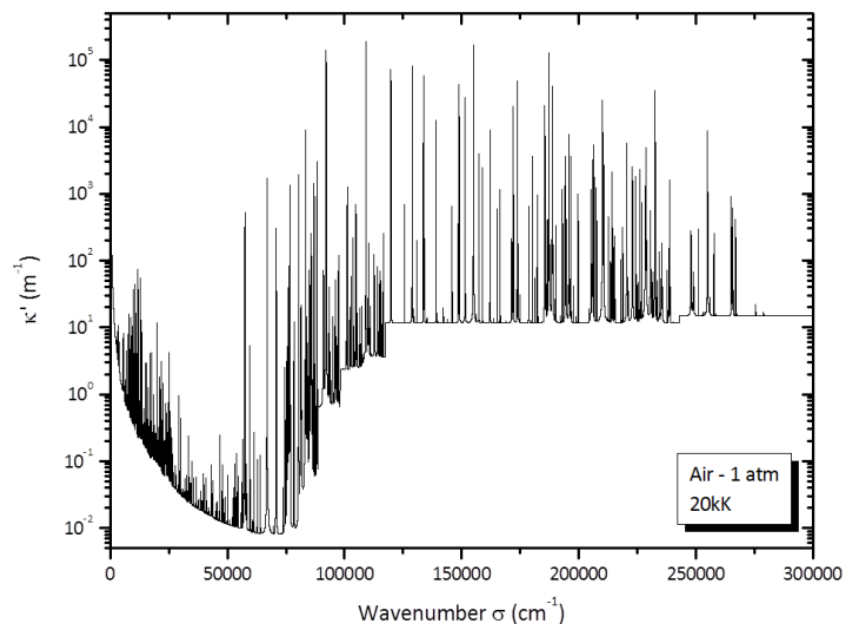
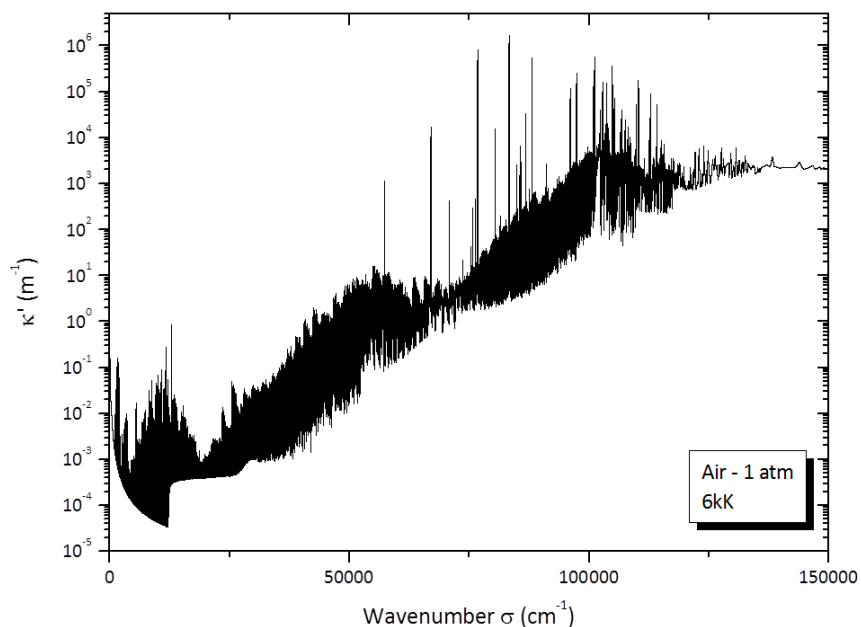
L'erreur sur la température de rotation est \sim au rapport Bruit/signal

Objectif:

Influence des bandes moléculaires sur le transfert radiatif d'un plasma d'air
Configuration plan/plan

Développement:

Simulation de spectres moléculaires et atomiques d'un plasma d'air pour $300 < T < 30000\text{K}$
Simulation de spectres sur 10^6 points



Etudes:

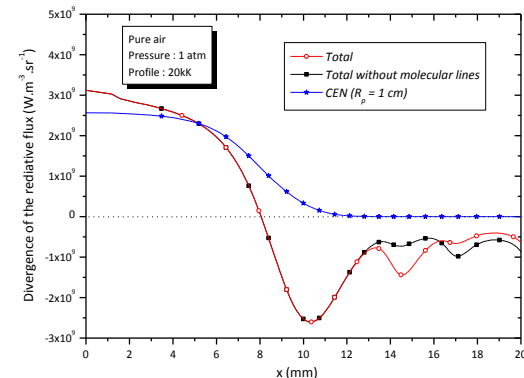
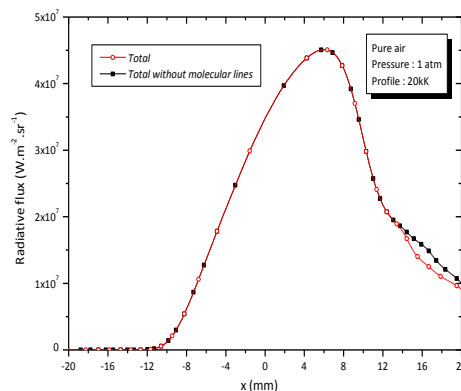
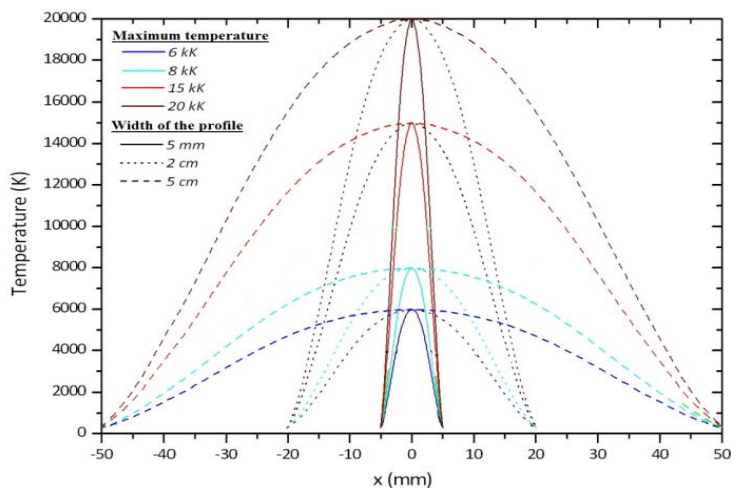
Analyse paramétriques sur différents profils de température (5mm, 2cm, 5cm)

Analyse paramétriques sur différentes Tmax des profils (6kK, 8kK, 15kK, 20kK)

Etude du transfert radiatif par intervalles spectraux (IRC, IRB, IRA, Vis, UVA, UVB, UVC)

Flux radiatif et de la divergence du flux radiatif avec et sans bandes moléculaires

$$\vec{s} \cdot \vec{\nabla} L_\lambda = \kappa'_\lambda B_\lambda - \kappa''_\lambda L_\lambda$$



Pour $T_{\max} > 15\text{kK}$: l'émission dans les régions chaudes par les raies atomiques, absorption sur les bords par les raies moléculaires. Négliger les raies moléculaires dans le calcul est compensé par une plus forte absorption du continuum moléculaire dans l'UV.

Pour $T_{\max} < 15\text{kK}$: les raies moléculaires ne peuvent pas être négligées, les systèmes diatomiques jouent un rôle très important non seulement en absorption mais aussi en emission.

$T_{\max} = 6\text{kK}$ or $T_{\max} = 8\text{kK}$: l'émission dans les régions centrales est quasiment exclusivement due au mécanismes moléculaires: les raies moléculaires représentent 50% de l'émission totale pour $T_{\max} = 8\text{kK}$ et 90% pour $T_{\max} = 6\text{kK}$; l'émission est principalement due au systèmes moléculaires N_2 , NO et N_2^+ à 6kK et 8kK, l'émission du continuum moléculaire est négligeable pour 8kK mais devient important pour 6kK, (environ 10%) du total. L'absorption est principalement due aux raies moléculaires pour 6kK, et du continuum aussi à 8kK (50% du total pour le continuum): plus fort rayonnement dans l'UV pour 8kK (espèces atomiques et N_2 dans VUV).

$$L_\lambda(x_i) = L_\lambda(x_{i-1}) \cdot e^{-\kappa'_\lambda(T_i)(x_i - x_{i-1})} + B_\lambda(T_i) \cdot \left(1 - e^{-\kappa'_\lambda(T_i)(x_i - x_{i-1})}\right)$$

(P1.59) Self-organization in DC glow microdischarges: bringing the modelling closer to the experiment

P.G.C. Almeida, M.S. Benilov, D.F N. Santos

(P1.23) Computing DC discharges in a wide range of currents with COMSOL MultiPhysics: time-dependent solvers vs. stationary solvers

P.G.C. Almeida, M.S. Benilov, M.S. Bieniek, M.D. Cunha, J.G.L. Gomes, H.T. Costa Kaufman

(P1.59) Self-organization in DC glow microdischarges: bringing the modelling closer to the experiment

P.G.C. Almeida, M.S. Benilov, D.F N. Santos

Physics of spotless mode of current transfer to cathodes of metal vapor arcs

M.S. Benilov, L.G. Benilova

Modelling cathode spots in glow discharges in the cathode boundary layer geometry with COMSOL Multiphysics

P. G. C. Almeida, M. S. Benilov, M. S. Bieniek

Modelling spot patterns on cathode of DC glow discharges

P. G. C. Almeida, M. S. Benilov

Informations:

Etude Arc dans le vide, électrodes en Cr, Gd, Pb...

Etude du transfert de courant plasma

*A la Cathode: une partie est transportée par les ions vers la cathode qui chauffe la cathode. La T augmente, érosion d'électron (30%) transportée à la surface de la cathode, (70%) restant est transporté par les électrons dans le plasma supposé quasi-neutre. Si la T de la surface de la cathode est faible, alors pas d'émission d'électron, transfert du courant par les ions négatifs

Résultats

Electrode en Chromium Cr, $A_f=4.58\text{eV}$, émission thermoionique, $T_{\text{cathode}}=2000\text{K}$, $J=14\text{A/m}^2$ par Richardson formule. Alors pourquoi $14\text{A/m}^2 \lll J_{\text{habituel}}$. On trouve 10^5A/m^2 pour 2700K au lieu de 10^5A/m^2 pour 2000K expérimentalement

Suppositions:

Model inadapté due à une trop faible émission électronique et une T° faible. L'étude du courant d'ion montre une pression plasma=pression vapeur saturante, un courant ionique limité par la diffusion ambipolaire des ions.

Eude du libre parcours moyen