

Compte rendu GEC/ICRP 2015

Gaseous **E**lectronics **C**onference
International **C**onference on **R**eactive **P**lasmas

68th Gaseous Electronics Conference
9th International Conference on Reactive Plasmas
33rd Symposium on Plasma Processing

12 Octobre-16 Octobre 2015

Hawaii Convention Center

Honolulu

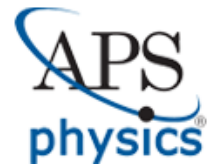
U. S. A



Frais d'inscription : **550\$** (275\$ étudiants)

~690 papiers soumis

~30 pays



Informations

3 conférences réunies :

Gaseous Electronics Conference

International Conference on Reactive Plasmas

Symposium on Plasmas Processing

5 jours pleins

2 workshop en nocturnes

3 sessions en parallèle

44 thèmes pour les présentations orales

334 présentations orales

30 thèmes pour les posters

355 présentations posters

Présentations orales (334)

Applications of plasmas : 7 (1)

Assisted deposition : 6

Atmospheric discharges Pulses and streamers : 6

Atmospheric and thermal plasmas : 6 (2)

Atmospheric plasma : 11

Atmospheric pressure plasma jets : 7

Atomic and molecular scattering data for plasma and related applications : 7

Basic low pressure plasma physics : 6

Biomedical applications : 6

Capacitively coupled plasmas : 13

Carbon related materials deposition : 5

Challenge of plasma science toward future medicine : 8

Diagnostic probes : 7

Dielectric barrier discharges : 6

Diffuse discharge : 5

Disinfection, sterilization by plasma : 5

Electron and photons collisions : 4

Electron collisions : 4

Electron impact ionisation : 6

Gas phase plasma chemistry : 6

Heavy-particle collisions and swarms : 4

Inductively coupled plasma : 8

44 thèmes

Présentations orales (334)

Magnetically enhanced plasmas : 7
 Magnetron sputter deposition : 6
 Microplasma : 7
 Modeling and simulation : 19
 Negative ion and Dust particle containing plasmas : 8
 Non equilibrium kinetics of low temperature plasmas : 6
 Optical diagnostics : 10
 Plasma-assisted combustion : 5
 Plasma CVD/radical Assisted CVD : 6
 Plasma etching : 14
 Plasmas for nanotechnologies : 7
 Plasma gas conversion : 8
 Plasma interaction with liquids : 22
 Plasma medicine : 7
 Plasma Sheaths and boundary layers : 6
 Plasma sources for biomedical applications : 8
 Plasma Surface Interactions : 12
 Plasma Thruster : 6
 Plasmas thrusters and flow control : 8
 Positron and electron collisions : 6
 Reactive species for plasma medicine : 6

Thermal plasma : Material applications : 7 (3)

44 thèmes

Présentations poster: (355)

Basic plasma physics phenomena in low temperature plasmas : 10

Biomedical applications of plasmas : 13

Capacitively coupled plasmas : 13

Charge particle collisions : 28

Gas phase plasma chemistry : 2

Glows DC, pulses, microwave, others: 6

Green plasma technologies : environmental and energy applications : 12 (1)

High pressure discharges: dielectric barrier, discharges, coronas, breakdown, sparks: 20

Inductively coupled plasma : 11

Magnetically enhanced plasmas ECR, Helicon, Magnetron, others : 6:

Microdischarges DC, RF, microwaves : 7

Modeling and simulation : 26

Negative ion and Dust particle containing plasmas : 7

Nonequilibrium kinetics of low temperature plasmas : 4

Other plasma sciences topics : 3

Plasma applications : 9

Plasma boundaries sheaths, boundaries layers, other : 2

Plasma diagnostic techniques : 20 (1)

Plasma deposition : 32

Plasma etching : 5

Plasmas for light production: laser media, glows, arcs, flat panels and novel sources: 8 (1)

Plasmas for nanotechnologies 12:

Plasma in liquids : 13

Plasma ion implantations : 3

Plasma medicine: 15

Plasma processing for photovoltaic applications : 6

Plasma propulsion and aerodynamics : 9

Plasma science : 2

Plasma Surface Interactions : 13

Thermal plasma : arcs, jets, switches, others: 8 (2)

30 thèmes

11 présentations identifiées

- (FT4-1) Thermal plasmas : influence of current modulation on process performance
- (FT4-2) Fundamental of a planar type of inductively coupled thermal plasma (ICTP) on a substrate for a large-area materials processing
- (FT4-4) Investigation on evaporation of Ti feedstock and formation of precursor TiO molecules during TiO₂ nanopowder synthesis in induction thermal plasma with time-controlled feedstock injection
- (GT1-59) Evaluation of Plasma Temperature from the OH Violet Molecular Emission System
- (GT1-125) Radiative properties of Ceramic Metal-Halide High intensity discharge lamps containing additives in argon plasma
- (KW4-1) Modelling for turbulent transport of nanoparticles growing around a thermal plasma jet
- (KW4-6) Comparative study on extinction process of gas-blasted air and CO₂ arc discharge using Two-dimensional electron density imaging sensor.
- (LW1-83) Prediction of SFL interruption performance from the result or arc simulation during high-phase
- (LW1-84) Three-dimensional numerical modeling of free-burning arcs using a CFD-MHD coupled method
- (LW1-118) Reforming of biogas to synthesis gas by a rotating arc plasma at atmospheric pressure
- (TF3-1) Plasmas and nanostructures for energy applications

Introduction:

- Petite introduction des plasmas thermiques à sa manière.
- Utilisation des plasmas thermiques dans de nombreux procédés, tourné vers le domaine de l'électrotechnique, et l'ingénierie pour expliquer que le contrôle d'un procédé ce n'est pas du plug & play.
- Apparition de nouveaux matériaux, diminution des couts, augmentation de la qualité mais nouveaux challenges avec le développement de nouvelles alimentations en courant, plus rapides et plus puissantes. Mais le reste suit-il ?
 - Avec des courant plus rapides, la cathode peut-elle émettre plus d'électrons plus rapidement ?
 - Le degré d'ionisation du plasma peut il changer rapidement?
 - La tension de l'anode doit aussi s'adapter pour récolter les électrons?

Une alimentation alternative induit une étude des comportements.

Constat:

- Avec un fort jet plasma, en DC torche, l'attachement aux électrodes fluctue à cause des forces de trainée exercées par le gaz et des forces de Lorentz magnétiques.
- Compétition entre les forces de trainée et les forces de Lorentz qui entraine un mouvement de l'arc sur l'électrode, fluctuation de la tension.

Comment stabiliser le mouvement de l'arc sur l'électrode?

Plusieurs applications concernées:

- (1) Wire arc spraying: 2 fils (cathode et anode sont des consommables).
Pas de refroidissement requis. Bas cout, dépôt de bonne qualité. Test en mode DC.
- (2) Plasma cutting: les pulses de courant induisent la formation de nouveau points d'accroche.
- (3) Plasma spraying: deux alimentations de puissance pour le contrôle: une pour la puissance injectée, une pour contrôler la sortie des particules.

Solution proposée:

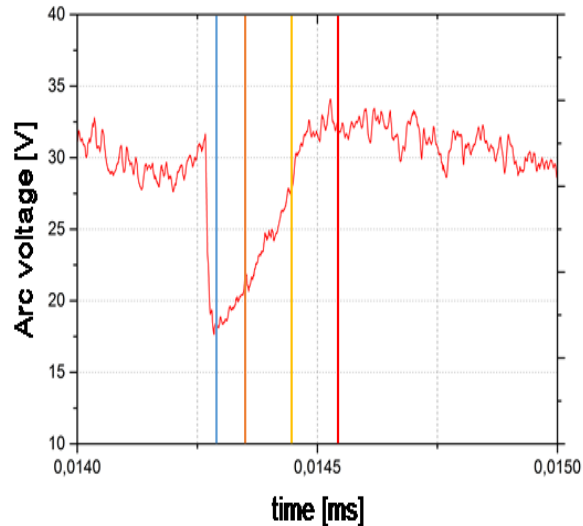
- * Sur une alimentation DC courant, ajouter un courant pulsé pour imposer l'attachement de l'arc sur l'électrode par le contrôle des forces de Lorentz

Application choisie:

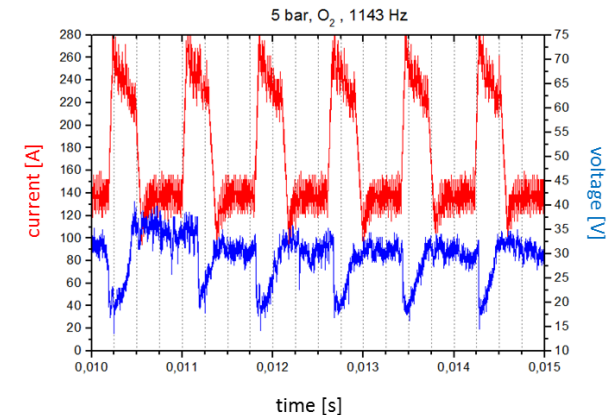
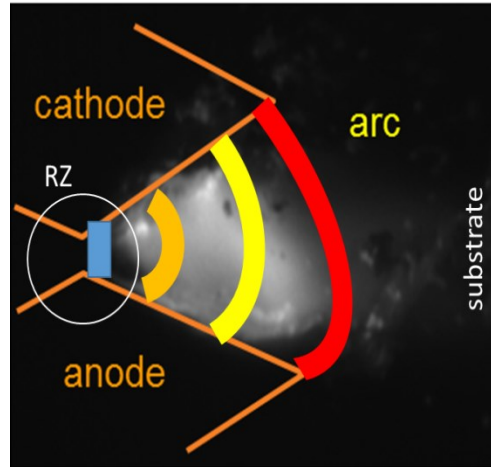
- * Pulvérisation d'un fil par la création d'un arc entre deux fils
- * Ajout d'un courant pulsé sur un courant DC
- * Visualisation par caméra rapide synchronisée

Résultats:

- * Chute/variation soudaine du courant qui suppose des sauts de l'arc
- * À une fréquence bien définie des pulses, on arrive à contrôler le mouvement de l'arc sur l'électrode



*Arc position with regard to voltage drop
between two wire electrodes*



*Arc movement (voltage)
initiated by current
pulses*

Les dépôts obtenus ont des porosités plus faibles en DC seul,
et l'on observe moins d'oxydes produits

Conclusion de Joshen

- Mise en garde sur les mesures réalisées. (on a tendance à utiliser des câbles pour faire des mesures alors que les impédances de ces câbles sont de plusieurs ordres de grandeurs supérieurs à ce que l'on mesure).
- Se poser la question: où faire la mesure ? comparaison entre un ingénieur et un physicien. Vous avez un fil de 10m, vous avez besoin de 1m. L'ingénieur laissera les 10m par terre et pincera où il faut. Le physicien fera 10 tours autour d'un truc pour raccourcir. L'impédance a changé, le plasma aussi par la mesure mais en fait, c'est le même.

Application: ICTP pour traitement de surface/synthèse de films diamant / barrière thermique. **Intérêt : plasmas thermiques** pour leur haute température et forte densité de radicaux sans contamination, pas d'électrodes ici.

Problématique: pour des petites tailles, la géométrie du réacteur cylindrique est adaptée Mais pas pour de grandes surface à traiter. Cela requiert plus de puissance et l'on souhaite Un plasma thermique uniforme en surface.

Solution: monter un réacteur de forme rectangulaire, en quartz, planaire

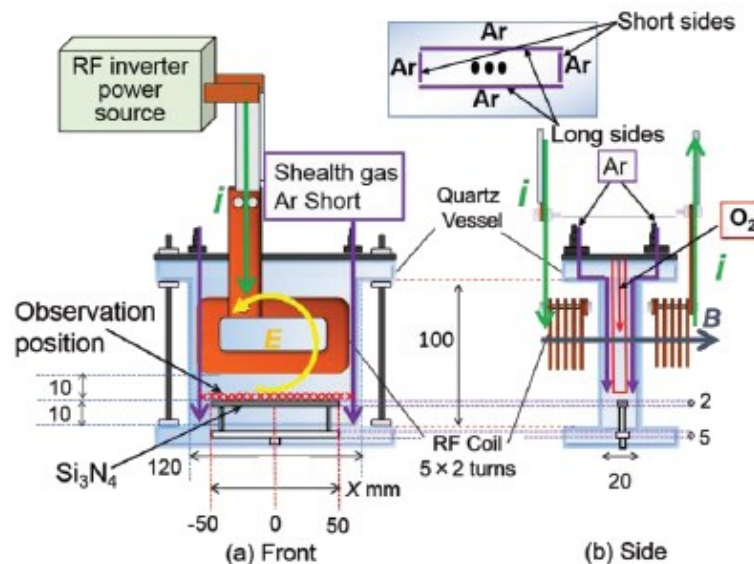


Fig. 1. Arrangement of a planar type ICPTP with a Si_3N_4 substrate; (a) front view and (b) side view.

Gaz : argon +gaz mol. O_2 pour maintenir ICTP torche (à cause géométrie rectangulaire)

Réacteur : 120mm x 20mm x 100mm

Substrat : Si_2N_4 à 10mm de la base, 100mm x 10mm x 2mm, T fusion $\sim 2173\text{K}$, résiste bien à la T° du plasma

Séparation par 2 bobines à air ou noyau de fer (5 tours)

RF power source : 30kW, LC series, haute fréquence du courant

Fréquence du courant: 357kHz

Champ B appliqué perpendiculairement au réacteur

Champ E tournant crée par le plasma

Température de la paroi à 300K par refroidissement d'eau

15, 20, 25 torr

Expérience: Ar/O₂

- * Observation par spectroscopie à 3mm du substrat – vérification de l'uniformité du plasma à la surface du substrat.
- * Etude de l'influence du débit Ar/O₂ sur l'uniformité du plasma en surface du substrat
- * Ar injecté en haut (log/short sides), O₂ injecté plus bas
- * Différents débits testés : Ar long sides 6slpm, Ar short sides 0-8slpm, O₂ 0.1slpm
- * P=20 torr, RF power 7kW
- * $\lambda_{Ar}=811.5\text{nm}$ et 842.5nm , $\lambda_{O}=777.5\text{nm}$

Résultats:

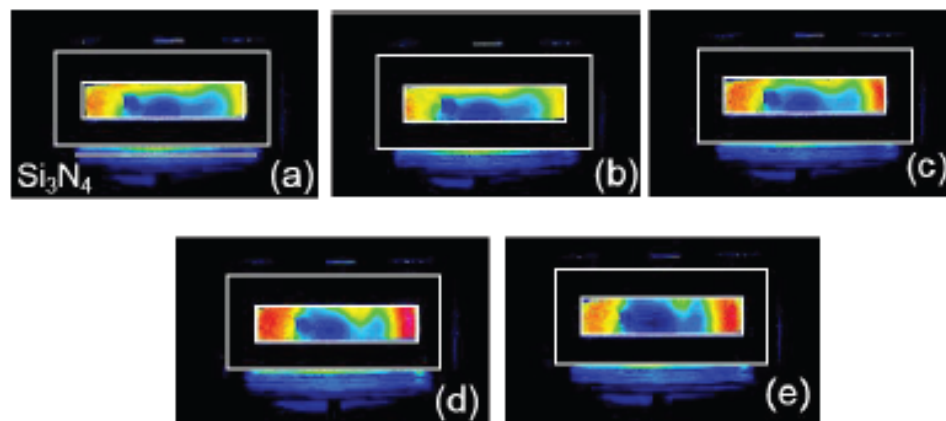


Fig.2. Visible light emission from Ar/O₂ planar ICTP at 7 kW and 20 torr with an Ar gas flow rate of 6 slpm for long sides, O₂ gas flow rate of 0.1 slpm. (a) (1+6)/0.1, (b) (2+6) /0.1, (c) (4+6) /0.1, (d) (6+6) /0.1 and (e) (8+6) /0.1 slpm respectively.

Résultats:

- Plus le débit Ar augmente dans la gaine, plus l'intensité des raies Ar diminue et l'écart entre Min et Max diminue-> uniformité

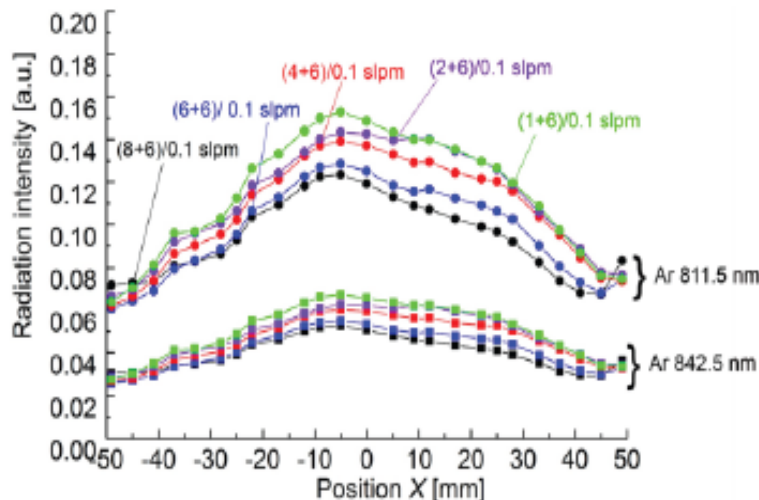


Fig.4. Lateral distribution of radiation intensities of Ar I line at 811.5 nm and Ar I 842.5 nm at 7 kW and 20 torr.

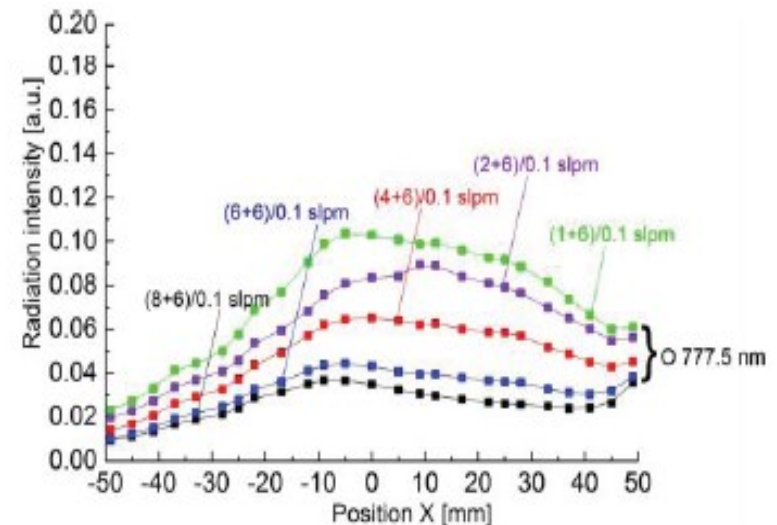


Fig.5. Lateral distribution of radiation intensities of O I line at 777.5 nm at 7 kW and 20 torr.

- On observe des raies atomiques d'oxygène sur toute la surface du substrat (**répartition uniforme**). L'intensité de l'oxygène est plus uniforme latéralement sur le substrat quand le débit Ar augmente. La présence de radicaux oxygène est importante pour l'oxydation
- Réduire la pression rend le plasma plus uniforme. **Haute pression** : non uniforme mais rayonnement important. **Basse pression** : uniforme mais faible rayonnement

Objectif: production en quantité de nanopoudres. Etude de leur formation (TiO₂) par torche ICTP avec contrôle de la taille et fort taux de production. **Application au domaine médical.**

Historique: fabrication d'un Pulsed-Modulated Induced Thermal Plasma (PMIPP) de 20KW avec time-controlled feedstock feeding (TCPP). Production de 400g/h Al dopé TiO₂, diamètre moyen des particules ~67nm. **Avantage :** pas de contamination des nanoparticules et temps courts du procédé.

Problématique:

- 1) Mieux comprendre le procédé d'évaporation des Ti
- 2) Formation et transport des précurseurs TiO dans la torche

Outils:

- * gaz carrier : 4L/min
- * puissance 20kW, Gaz dans la gaine 90%Ar-10%O₂, 100L/min, 300 torr
- * injection par intermittence de Ti toutes les 30ms, ~27μm, 4-7g/min
- * 2 cas d'injection: open 8ms-close 22ms; open 12ms-close 18ms
- * obs. par spectroscopie 2D, contrôle en temps réel des Ti injectés
- * obs. dans une région 57 x 52 mm², spectro de 1200 traits/mm, 0.4nm de résolution
- * enregistrement des raies Ti1 (453.32nm), TiO (621nm)
- * obs. de l'évaporation des Ti et de la formation des précurseurs/gaz moléculaire TiO

Résultats: on observe l'évaporation de Ti

- * les atomes de Ti sont transportés par le gaz en aval de la torche et diffusé radialement par les gradients de densité
- * formation importante de TiO moléculaire seulement dans l'axe de la torche
- * Ti et TiO détectés après 8ms (tps qu'il faut pour transport et évaporation)
- * Ti rapidement évaporés et détectés 8-20ms (temps > ouverture)
- * TiO détectés 8-20ms surtout sur l'axe, formés juste après l'évaporation des Ti

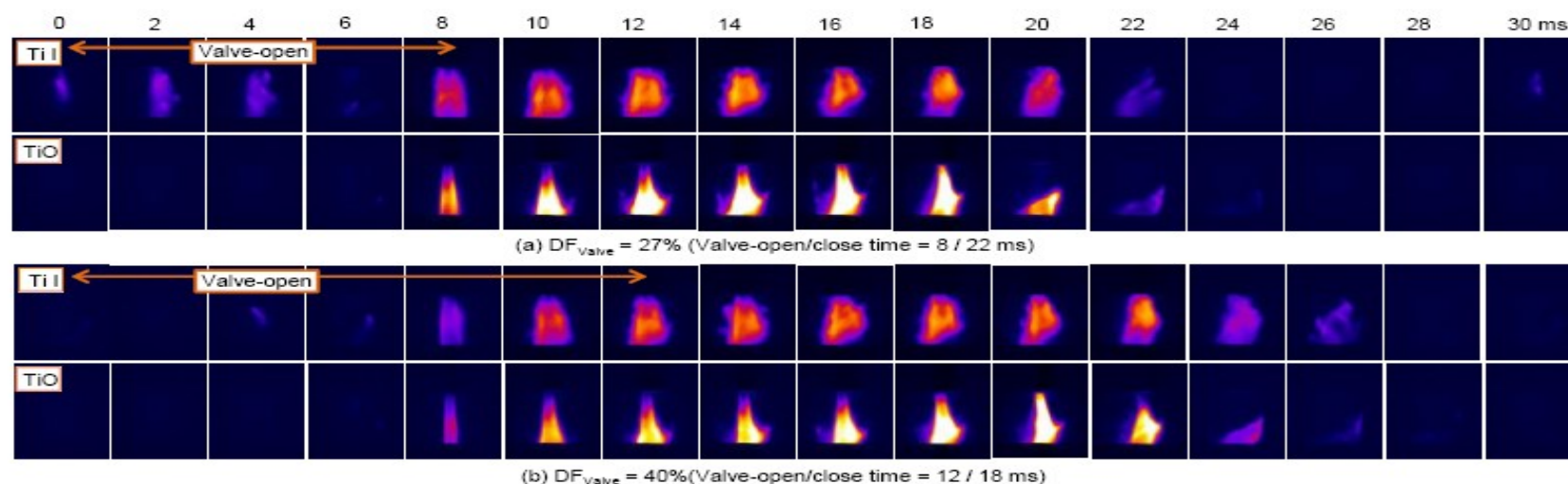


Fig. 1. Temporal variation of the two dimensional radiation intensity distributions for Ti I and TiO spectra.

Calcul de la composition en fonction de la température:

- **Sur axe** : Ti et TiO observé en même temps, la compo donne $T \sim 4000-5000\text{K}$
- **Hors axe** : Ti important mais TiO faible, la compo donne $T \sim 5000\text{K}$

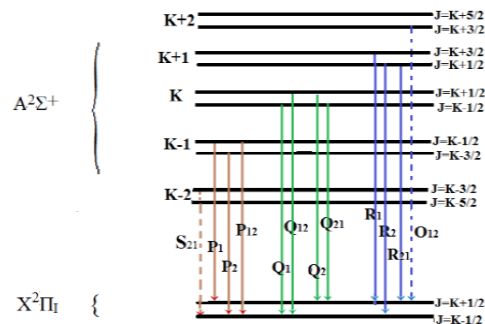
Objectif: connaissant un spectre mesuré et le signal bruité, en déduire la $T_{\text{rotationnelle}}$.

Constat: OH (A-X) important dans H_2O_2 plasmas pour des températures 1000K-6000K

- Idéal pour faire le diagnostic d'un plasma
- 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



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

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 donnés, ici un exemple

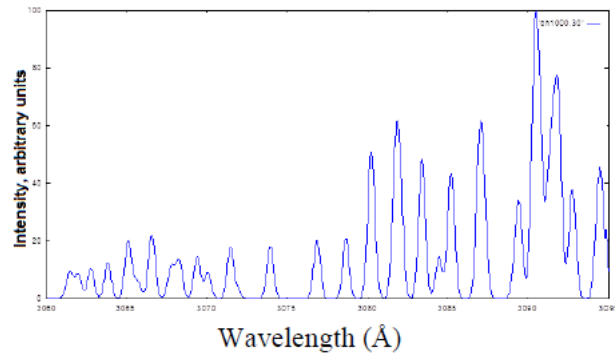


Figure 2: Simulated spectrum with $T_r = 1000\text{K}$ and $DX = 3 \text{ cm}^{-1}$.

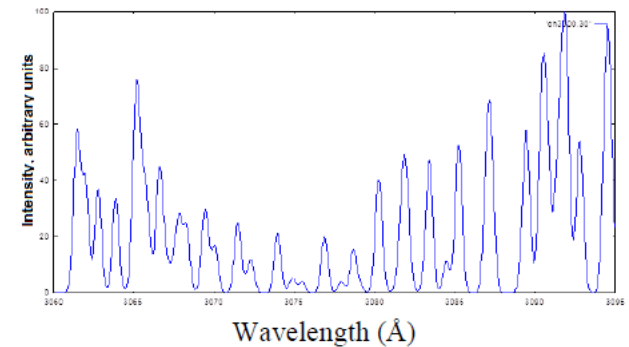


Figure 3: Simulated spectrum with $T_r = 3000\text{K}$ and $DX = 3 \text{ cm}^{-1}$.

~3000K
combustion flamme
Polymethyl Methacrylate (PMMA)
à 0mm de la tuyère

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 ~ au rapport Bruit/signal

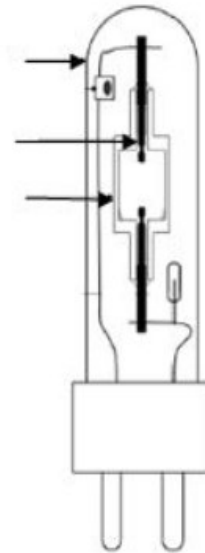
Application: Lampes CMH Haute pression

Intérêt: éclairage de grandes dimensions là où les leds ne sont pas encore efficaces
Augmenter le rayonnement Visible et diminuer les risques liés à l'UV

Etude:

- * rayonnement des lampes, réduction du mercure
- * ajout d'additifs pour augmenter le rayonnement (Na, Ca, W, Dy, Tl, Sr)
- * recherche du meilleur candidat possible.
- * estimation de la part rayonnée dans le Vis, UV, IR
- * estimation de la part UV convertible en VIS.

Lampes Ceramic Metal-Halide
P~10-500mbar, gaz primaire
5-40mg/cm³ de mercure
1-30mg/cm³ additives



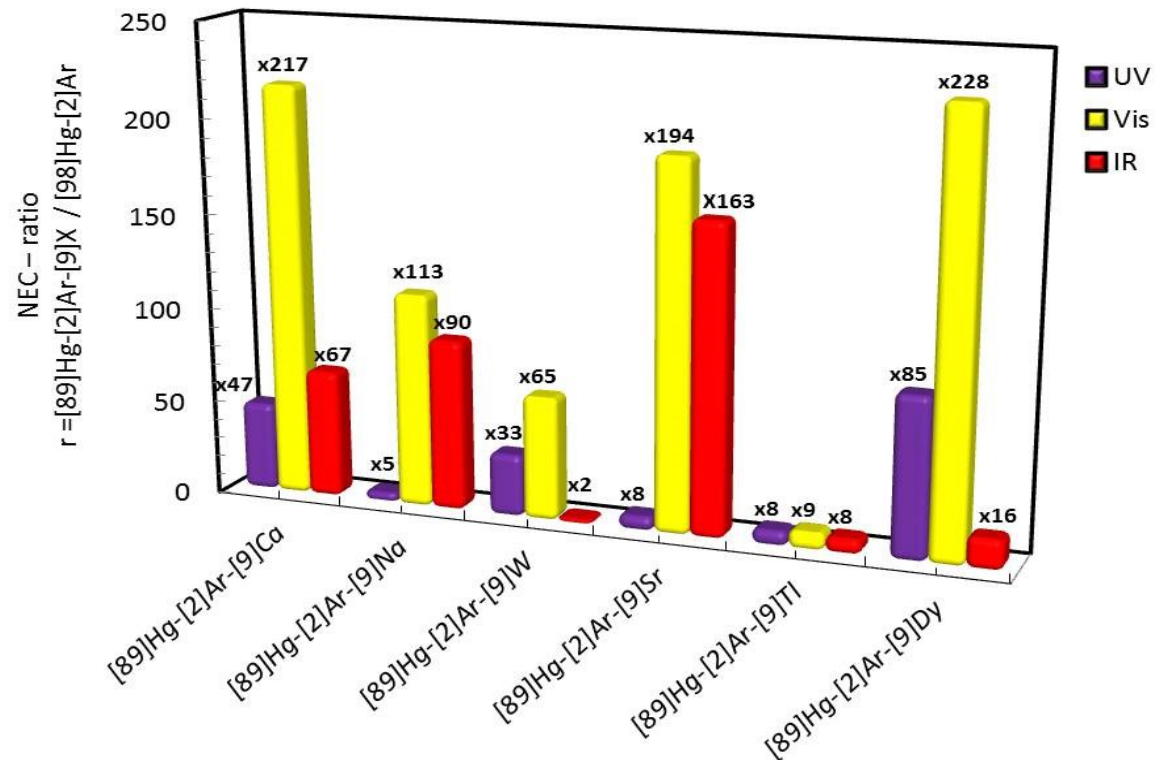
Outils: Net Emission Coefficient

- * *Espèces* : Ar, Hg, Sr, Tl, Na, Ca, W, Dy
- * *Spectre* : 30nm-4500nm, (UV (200-400nm), VIS (400-780nm), IR(780nm-4500nm))
- * *Raies* : 35068 (11705Ar, 438Hg, 5159Ca, 1392Na, 1459W, 717Dy, 181Sr, 17Tl)

Cas étudié:

PAr~200mbar
PHg~10 bar
Padditifs~1bar

98%Hg-2%Ar
89%Hg-2%Ar-9%X
Rp=1.0mm
T~4000-7000K



T=5500K : gain important dans le visible avec le Dy

Part importante de l'UV convertible en Visible. Grand intérêt pour le Dy

INCOMPLET

Objectifs: production en masse de nanoparticules par voie plasma (500g/h)

Etude: croissance et transport de nanoparticules dans un plasma thermique.

Plasmas thermiques car haute température, forte réactivité chimique mais gradients de températures importants sur les bords à l'origine de la formation de petites nanoparticules ~qqes ms.

Mieux comprendre ce qui se passe sur les bords pour mieux contrôler la production de nanoparticules.

Comment:

Habituellement: On utilise d'habitude le modèle de Shigeta et Nemchinsky)

Là: développement d'un **modèle plus simple de croissance** de nanoparticules, nucléation homogène, condensation hétérogène, coagulation et transport par convection et diffusion et thermophorèse (effet SORET: mouvement de particules sous l'effet d'un gradient de température). Comparaison entre les deux modèles pour les densités de nanoparticules et leur taille. Très bon accord pour différentes conditions.

Modèle:

$P=1\text{atm}$, LTE, 2D axisymétrique, Puissance de 0.5Kw,

Gaz Ar à 1.5slm (tuyère, diamètre de 3.0mm)

Vapeurs Fer à 0.1g/min, jet additionnel à 15slm, concentrique à 1mm, 45° dans le jet

Equations:

Equation de conservation + chauffage due à la condensation + dissipation par viscosité

+ équation de transport des nanoparticules par convection

+ équation de diffusion des nanoparticules + + équation thermophorèse

Données d'entrée:

Densités, diamètre des nanoparticules, nombre moyen de monomères nanoparticules,
libre parcours moyen coefficients de diffusion, taux de nucléation homogène,
coefficient de thermophorèse

Résolution:

Algorithm hybride de Kawamura-Kuwahara

+ 3th ordre Adams-Moulton pour les dérivée temporelle

+ Equations discrétisées résolues par la méthode PISO

Observation: la température du plasma entraine l'apparition d'un gaz environnant non ionisé et une zone de turbulence à l'interface: instabilités de Kelvin-Helmoltz (que l'on observe aussi expérimentalement)

Figure des instabilités et remous visibles

Diffusion des vapeurs de fer sur les bords, refroidissement, formation de nanoparticules dont le diamètre est plus important là où la densité de nanoparticules est plus faible car plus d'espace. Les vapeurs deviennent super-saturées et passe en phase de nucléation et de condensation.

Figure 2 au même moment

Distance entre 2 pts: 50 μ m

Temps d'incrémentation : 50 μ s

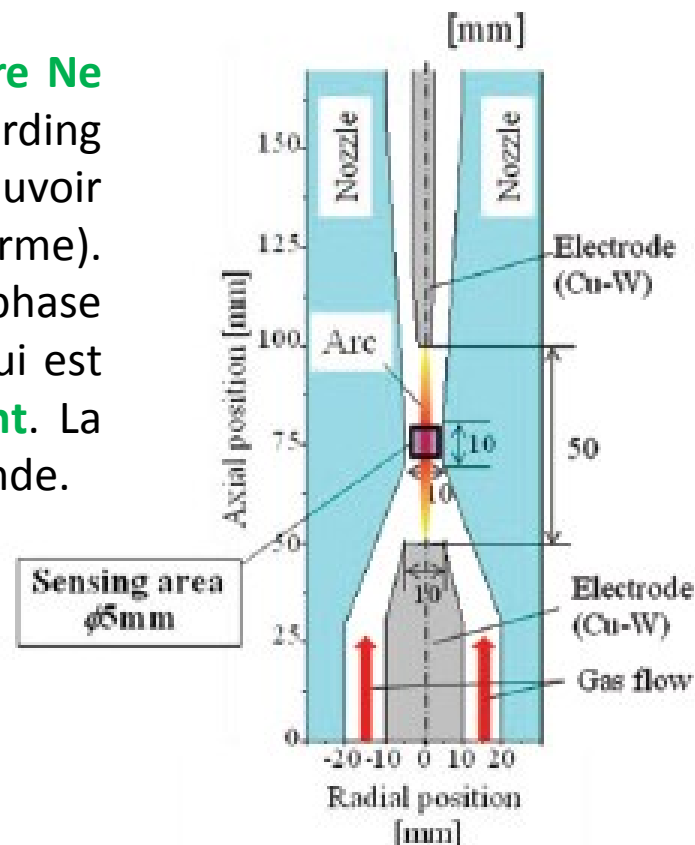
Etude: décroissance de la densité électronique dans un CB après CZ, proche de la tuyère

Problématique:

- * pas simple au niveau expérimental d'observer l'arc proche de la tuyère car opaque,
- * zone de fortes instabilités spatialement et temporellement au passage par zéro du courant.

Proposition: développer une imagerie 2D pour mesure N_e proche tuyère par Cubic Quartz Cell et Single Shot Recording avec Shack-Hartmann laser (présente l'avantage de pouvoir déterminer N_e mais aussi le diamètre de l'arc et sa forme). On peut obtenir N_e en 2D avec une seule phase d'enregistrement). **Mesure de l'indice de réfraction** qui est différent de celui de l'air. **2-wavelength measurement**. La densité électronique ne dépend pas de la longueur d'onde.

Cas: Air et CO₂, $P=1\text{atm}$, ICCD, plusieurs lentilles
étude après la coupure d'un courant stationnaire
 $I=50\text{A}$, électrode Cu/W, 100L/min
Cubic Quartz Cell : 10 x 10 x 10 mm
Courant DC stoppé par semi-conducteur IGBT
Longueur de l'arc : 50mm pendant 20ms



Résultats:

- * densité électronique N_e et diamètre de l'arc minimum dans la partie supérieure de la tuyère, et quand la vitesse d'extinction est maximale
- * dans le CO₂, la densité électronique N_e chute plus rapidement que dans air, ce qui confirme les meilleurs performances de coupe pour le CO₂, qu'ils expliquent par une plus forte émission du CO₂ à 5000K donc des pertes plus importantes.

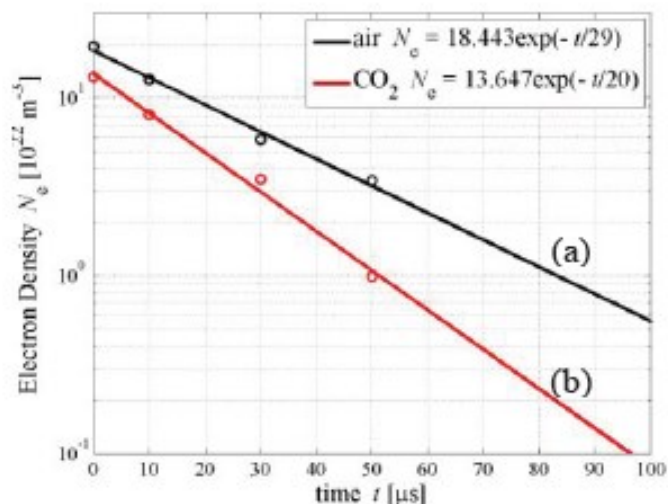


Fig. 3. Time evolution of electron density in downstream region; (a) air; and (b) CO₂.

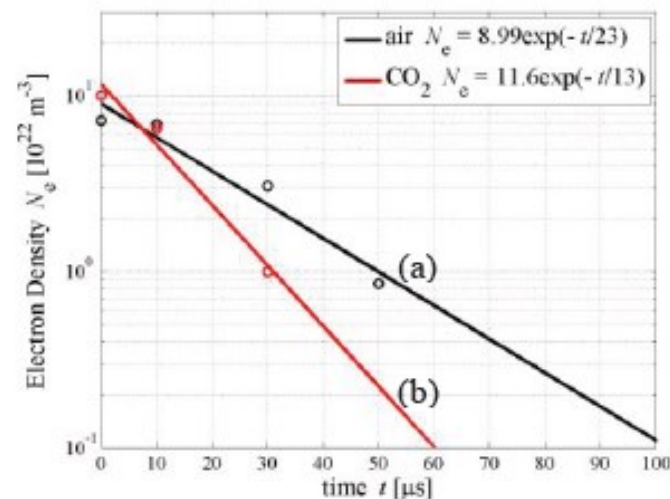


Fig. 4. Time evolution of electron density in upper stream region; (a) air; and (b) CO₂.

INCOMPLET

Application: appareillages de coupure: expansion thermique + arc tournant

Objectif: étudier le comportement d'un arc dans un self-blast interrupteur, observer les phases de refroidissement par CFD, étudier le pouvoir de coupure des SBCBs

Modèle:

- * équations classiques (continuité, mouvement, énergie, turbulence, cinétique
- + turbulence dissipation, potentiel électrostatique, force électromagnétique
- + NEC (Libermann et Lowke 1976, SF6)
- + PTFE ablation (Zhang et al 2002)
- + évaporation métallique des électrodes (Tepper et al 2004)
- + modèle turbulent Prandtl (Yan et al, 1990)

Géométrie

Résultats:

- * comparaison du courant, de la tension entre la simulation et les mesures
- * comparaison de la pression dans les 3 chambres
- * distribution de la température avant CZ, au CZ, et après CZ
- * courant post-arc en fonction du temps pour différentes RRRV

Résultats

Conclusions:

- **Période de fort courant:** augmentation de la pression due aux effets magnétiques et force centrifuge. Bonne corrélation simulation-mesures, tension d'arc $\sim 100V$ premier période, $\sim 200V$ second cycle
- optimisation possible en travaillant sur la montée en pression et les forces convectives
- le modèle thermique prédit une RRRV critique de $\sim 1.5kV/\mu s$ qui semble être la valeur de référence pour les tests

INCOMPLET

Objectif: modélisation 3D d'un arc libre pour une meilleure compréhension du mouvement de l'arc et des phénomènes proche électrodes (surtout anode) pour une amélioration des applications industrielle

Constat: les modèles 2D sont insuffisants pour déterminer le comportement du plasma,
Le transfert de chaleur.

Solution: Modèle 3D arc libre fort courant (self consistent)

Figure poster

Modèle: 3D arc libre, ANSYS-CFX, 2 types de modèles : HF model / SF model
algorithme de PATANKAR pour les équations conservation stationnaire
+ transport (CISRO) + rayonnement (plasma optiquement mince)
+ puissance électrique injectée et forces électromagnétiques
+ fusion de l'électrode et non-LTE proche électrode

Résultats: comparaison modèle 2D/3D
comparaison avec les mesures de T° arc (obtenues selon 2 méthodes)

Figure 1

Figure 2

Résultats: forme classique en cloche en 2D et en 3D
 T° le long de l'axe cathode-anode est en bon accord avec l'expérience
 T° proche cathode > T° proche anode en 2D et en 3D (constriction + forte)
 T_{\max} HF model > T_{\max} SF model à cause de la distance inter-électrodes HF >
 T° prédites sont meilleures en 3D après comparaison avec mesures
mais pas proche électrodes et surtout cathode -> modèle non LTE ?

Conclusion: modèle Non LTE nécessaire pour assurer la continuité du courant à basse T°
et flux d'énergie proche anode.

poster1

Poster 2

Objectif: production d'un gaz de synthèse par arc tournant, 60%CH₄-40%CO₂

Etude: effet du rapport O₂/CH₄ sur le taux de conversion
étude de la composition du gaz de synthèse et de l'énergie consommée comparée à celles d'un arc traditionnel

Application: Large réacteur, haute température, sécurisé et rapide
arc stabilisé au centre par injection de gaz

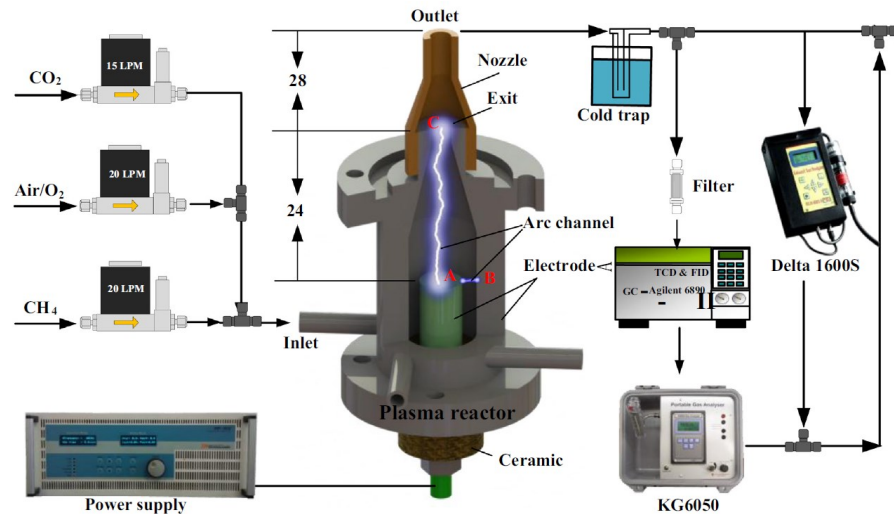


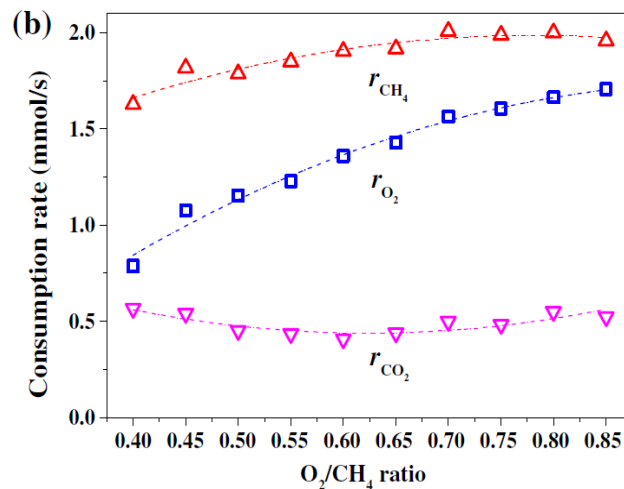
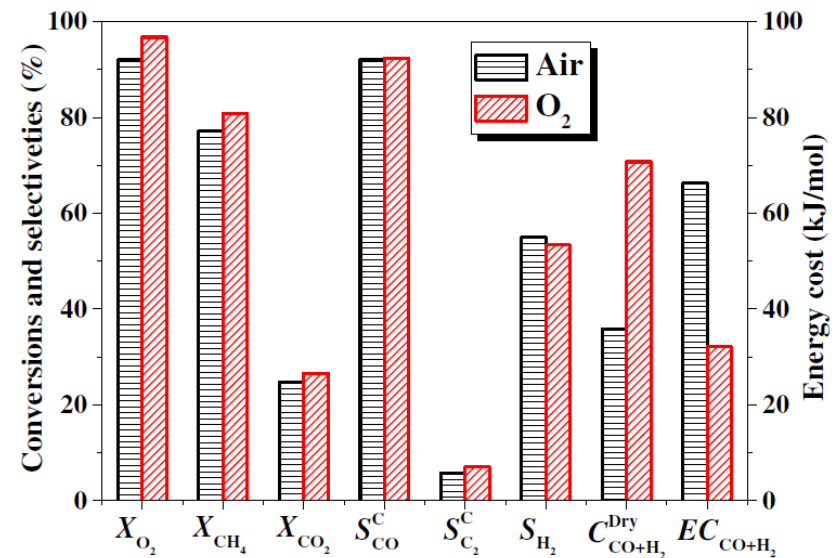
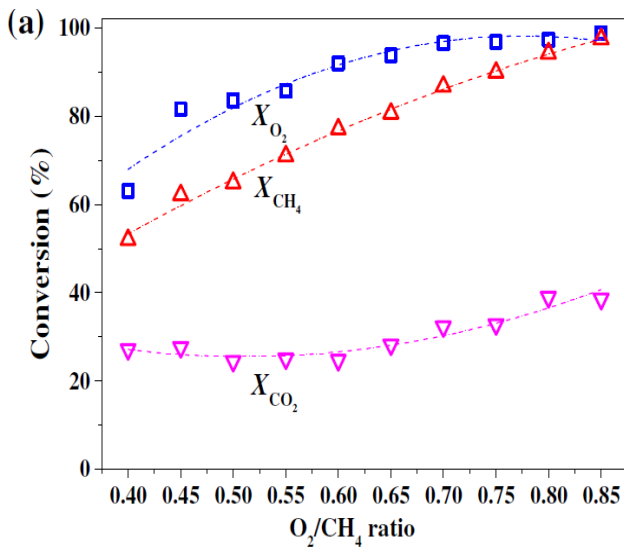
Fig. 1. Gliding arc reactor and experimental setup.

$\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow 2\text{CO} + 2\text{H}_2$ ($\Delta H^\circ = 246.9 \text{ kJ/mol}$, endothermique, **reforming**)

$\text{CH}_4 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2$ ($\Delta H^\circ = -36.1 \text{ kJ/mol}$, exothermique, **oxydation**)

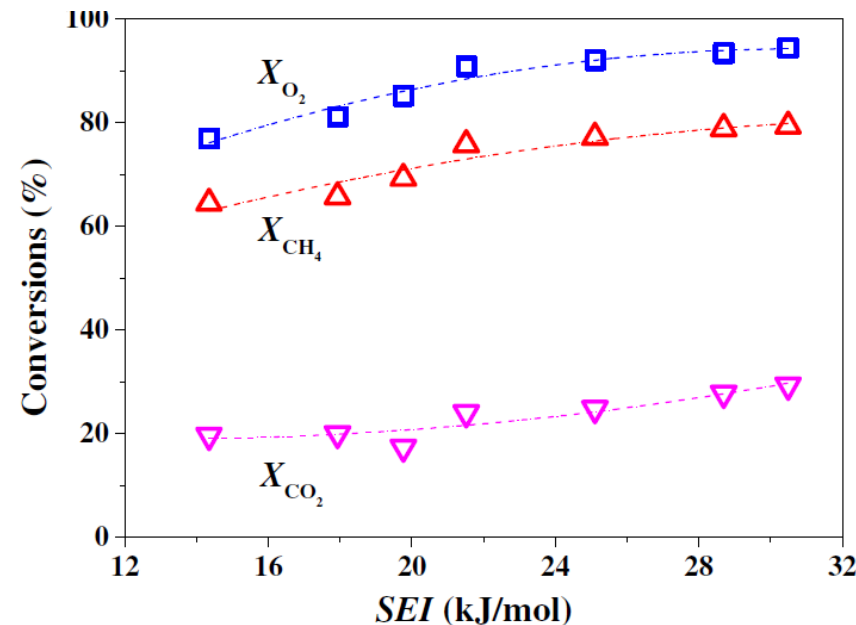
Résultats: effet du rapport O_2/CH_4 sur le taux de conversion de O_2 , CH_4 et CO_2
effet du rapport O_2/CH_4 sur l'énergie consommée

15lpm
25kJ/mol



effet du SEI sur la conversion de O₂, CH₄ et CO₂
effet du SEI sur l'énergie consommée

O₂/CH₄=0.6
15 lpm



Résultats:

- (1) quand le SEI augmente, la conversion et le cout augmentent
- (2) O₂ passe de 92% à 97%, CH₄ de 77 à 81%, CO₂ de 25 à 27%
- (3) Le remplacement de l'air en O₂ pur fait passer la conversion de O₂/CH₄ de 0.4 à 0.9
- (4) Le remplacement de l'air en O₂ pur fait passer la conversion de CH₄ à 97.5%
- (5) Le remplacement de l'air en O₂ pur fait passer la conversion de O₂ à 98/8%

Causes: l'oxydation de CH₄ en CO et H₂ augmente le rapport O₂/CH₄

- (6) Le cout en énergie ~32kJ/mol avec une concentration en gaz de synthèse de 71%O₂ pur comme réactif oxydant contre ~122-1800kJ/mol avec spark, gliding arc...

Causes: l'arc tournant est plus long, un plus large volume de plasma pour une longueur constante

Objectif: promotion de la recherche développée dans les laboratoires canadiens

Résumé: augmentation de la consommation d'énergie de 56% en 2040, 60% de l'énergie est rejetée et perdue. L'utilisation des plasmas pour produire des nanoparticules en consommant de l'énergie, en produisant peu de déchets, en développant des procédés et produits recyclables, en convertissant efficacement l'énergie électrique en énergie chimique. L'objectif au Canada est de convertir l'énergie: photovoltaïque, thermoelectrique, piezoelectrique, solaire, capture CO₂, Fuel reforming (CH₄), fuel production (MeOH, EtOH)

Les questions auxquelles il faut répondre

- Comment faire des procédés propres sans impact environnemental ?
- Comment développer des procédés stables ?
- Comment réaliser des plasmas réactifs ?
- Comment réduire l'utilisation des matériaux ?
- Comment les plasmas peuvent traiter les déchets ? Sans pertes ?
- Comment produire de nouveaux matériaux avec un minimum d'énergie ?
- Comment fabriquer des matériaux recyclables et "défabriquer" par plasma, à moindre coût ?

Principaux instituts de recherche au Quebec

- CO₂/CH₄ plasma torches DC
- DBD plasma – reformage catalytique
- Four à arc électrique pour le recyclage , le traitement de déchets (PyroGenesis INC)
- MWCNTs nanoparticules (multi-parois) par CVD

OverViz Software Packages

Modules	VizGlow	VizSpark	VizFlow	VizEM	VizGrain	ChemZone
Nonequilibrium (Glow) Plasma						
Global (0D) Plasma	//////					
Thermal (Arc) Plasma						
Fluid Flow						
Electromagnetics -- Wave / Statics					//////	
Particle Dynamics	//////	//////	//////	//////		
Moving Body Dynamics		//////				
Parallel Computing Module	//////	//////	//////	//////	//////	
Finite-Rate Chemistry Module						
ChemEquil Property Calculator						
External Circuit Module		//////				
2D Meshing						
Databases						
Finite-Rate Chemistry Database						
Equilibrium Properties Database						



Included in core package

Optional modules for this package

~12000€ par an ou 36000€ illimité, maintenance 20%

Compte rendu GEC/ICRP 2015

Gaseous **E**lectronics **C**onference
International **C**onference on **R**eactive **P**lasmas

68th Gaseous Electronics Conference
9th International Conference on Reactive Plasmas
33rd Symposium on Plasma Processing

12 Octobre-16 Octobre 2015

Hawaii Convention Center

Honolulu

U. S. A

Merci à l'AAE