



Introduction à l'Action Nationale de Formation « Quelle alimentation électrique pour quel plasma ? »

Dunpin HONG

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





Plan

- Bienvenu et remerciements
- Contexte et objectif
- Quelques éléments clés
- Planning « scientifique »
- Informations complémentaires



Bienvenus et remerciements

- Aux participants, sans votre participation active, cette ANF n'aurait aucun sens.
- Aux intervenants qui ont répondu favorablement à notre sollicitation pour partager leurs connaissances et leurs expertises avec la communauté.
- Aux collègues à la délégation régionale qui ont apporté une aide efficace dans l'organisation.
- Aux 2 sponsors RLC Electronic et SOLAYL.
- Au financeur principal (CNRS) et au réseau des plasmas froids (RPF).
- Aux collègues du GREMI qui ont organisé avec moi cette ANF et à la direction du GREMI pour le soutien.



Contexte

Dans les laboratoires, **la plupart des plasmas** sont produits en utilisant des alimentations électriques fournissant des tensions plus ou moins élevées à des régimes variables (impulsionnel, sinusoïdal, etc...). **Les propriétés des plasmas** sont étroitement liées au type d'alimentation utilisée et aux paramètres électriques (régime, tension, courant, fréquence...) de celle-ci quand ces derniers sont ajustables. Par conséquent, **une bonne connaissance du principe de fonctionnement des générateurs électriques est primordiale** pour la compréhension et l'optimisation des plasmas générés afin d'ajuster les propriétés du plasma les mieux adaptées aux applications recherchées.



Objectif

- Faire découvrir le fonctionnement des différents types d'alimentation électrique
- Faire transmettre les savoir-faire dans l'utilisation des générateurs des laboratoires, y compris ceux faits-maisons
- Faire constater les changements des propriétés physiques des plasmas grâce aux ajustements des paramètres électriques
- *Faire connaître des besoins en alimentation électrique pour la mise en œuvre des plasmas*



Classification des plasmas (froids)

- **Plasma thermique** ou **plasma non-thermique**
- **Plasma en équilibre** ou **plasma non-équilibre**
- **Décharge haute pression** (souvent à pression atmosphérique, arc, corona, etc.) et **décharge basse pression** (plasmas pour l'industrie micro-électronique, etc.)
- **Décharge avec électrode** (arc, décharge luminescente, etc.) et **décharge sans électrode** (décharge RF avec couplage inductif ou décharge micro-onde, etc.)
- **Décharge DC** (Direct Current) ou **décharge non-DC** (AC (Alternating Current) ou impulsionnelle) (décharge RF 13.56 MHz ou décharge micro-onde ou DBD).
- etc.



Importance du courant

Courbe U-I typique d'une décharge DC

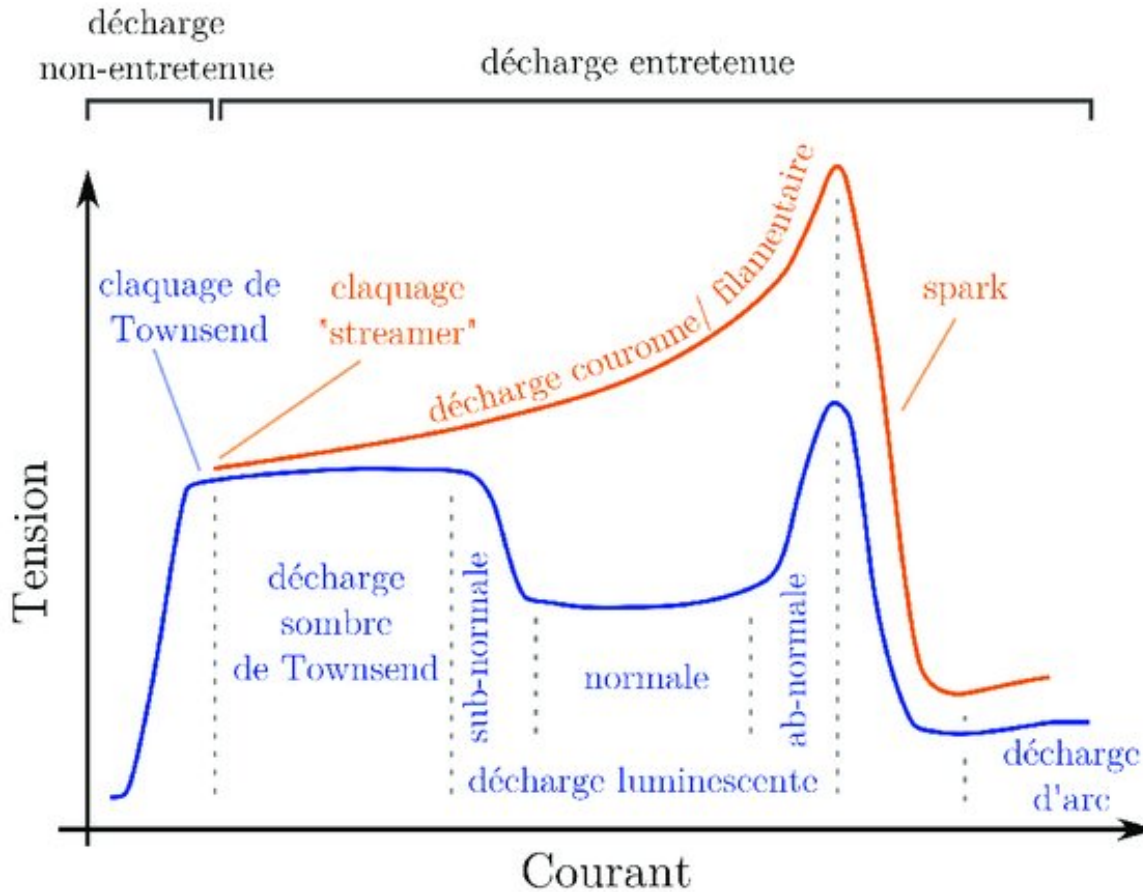
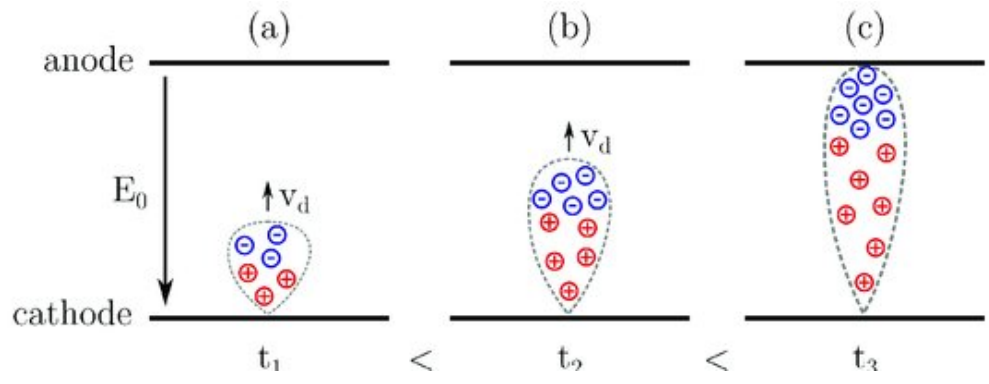


Figure de Claire Douat, thèse doctorale de l'université Paris Sud, 2014



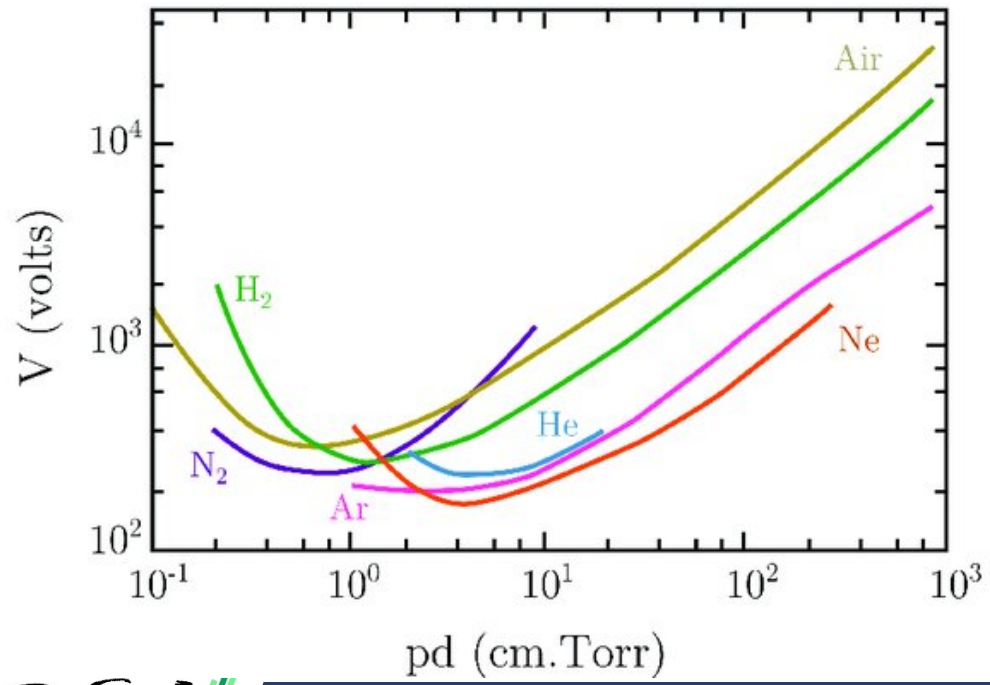
Importance de la tension (du champ électrique)



Avalanche électronique
 → auto entretenue

Courbe de Paschen

Figures de Claire Douat, thèse doctorale de l'université Paris Sud, 2014



$$V = Ed = \frac{B \times (pd)}{C + \ln(pd)}$$

$$V_{\min} = \frac{B \times (pd)_{\min}}{C + \ln(pd)_{\min}} = B \frac{e^1}{A} \ln\left(\frac{1}{\gamma} + 1\right)$$

$$(pd)_{\min} = \frac{e^1}{A} \ln\left(\frac{1}{\gamma} + 1\right)$$

A la basse pression



Quelles alimentations pour ces plasmas ?

Arc de découpe

Décharge à Barrière Diélectrique

Projection thermique (torche)

Plasmas pour le dépôt couche mince

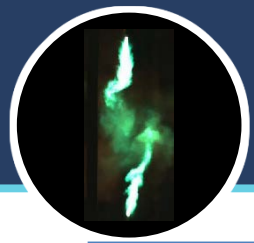
Plasma ECR (pour le dépôt de films minces)

Délaquage de résine (microélectronique)

Laser Excimère

Laser N₂





Associations

| Décharge (plasma) | Alimentation électrique (solution non unique) |
|---|---|
| Arc de découpe | DC |
| Décharge à Barrière Diélectrique | AC ou impulsionnelle |
| Projection thermique (torche) | DC |
| Dépôt couche mince | RF (13.56 MHz), DC, impulsionnelle |
| Délaquage de résine (microélectronique) | RF (13.56 MHz) ou micro-onde |
| Dépôt de films minces (plasma ECR) | Mirco-onde |
| Laser Excimère , Laser N ₂ | Impulsionnelle |
| ... | ... |

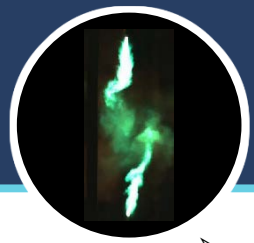


Programme détaillé et intervenants

- Axe 1 : Fonctionnement et utilisation de générateurs DC, DC pulsé et RF
- Axe 2 : Mesure électrique (sonde tension/courant en DC, DC pulsé et RF)

| | | | | |
|--------|---|-------|------|---|
| 1/4 pm | Introduction de l'ANF "Quelle alimentation pour quel plasma?" | 14:00 | 0:20 | D. Hong (GREMI) |
| | Alimentations RF : principes et utilisations | 14:20 | 0:30 | E. Johnson (LPICM) |
| | Générateur μ -onde pour la production de plasma : principe et utilisations | 14:50 | 0:30 | F. Silva (LPICM) |
| | Pause | 15:20 | 0:20 | |
| | Générateurs rapides d'impulsions hautes tensions - Principes de fonctionnement et état de l'art | 15:40 | 0:30 | L. Pecastaing (SIAME) |
| | Les alimentations électriques pour la propulsion spatiale électrique | 16:10 | 0:30 | S. Mazouffre (ICARE) |
| | Générateurs fort courant pour l'étude du foudroiement des aéronefs | 16:40 | 0:30 | C. Zaepffel (ONERA) |
| | Présentation d'alimentations commerciales | 17:10 | 0:30 | R. Lepad (RLC Electronic) et S. Dine (SOLAYL) |

| | | | | |
|--------|--|-------|------|-------------------------|
| 2/4 am | Alimentations HT continues : principes et utilisations | 08:45 | 0:30 | F. Da Silva (Pulse MC2) |
| | Alimentation impulsionnelle micro-secondes haute tension: conception, problèmes et défis | 09:15 | 0:30 | S. Dozias (GREMI) |
| | Mesure des signaux électriques rapides (DC pulsé et impulsionnel) | 09:45 | 0:30 | M. Fleury (LPGP) |
| | Pause | 10:15 | 0:20 | |
| | Compatibilité Electromagnétique - Précautions d'usage pour la limitation des couplages | 10:35 | 0:30 | L. Pecastaing (SIAME) |
| | Adaptation d'impédance et mesure de signaux RF | 11:05 | 0:30 | E. Johnson (LPICM) |
| | Controler les plasmas radiofréquence à couplage capacitive par la fréquence, les mélanges de fréquences et la forme d'onde | 11:35 | 0:30 | J.-P. Booth (LPP) |



Programme détaillé et intervenants

- Axe 3 : Influence des générateurs sur les propriétés des plasmas (magnétron, décharge DBD à la pression atmosphérique, jets plasmas, ...)

| | | | | |
|--------|---|-------|------|--------------------------------------|
| 3/4 am | Influence de forme des impulsions HiPIMS en décharge magnétron | 08:45 | 0:30 | S. Konstantinidis (FNRS, Univ. Mons) |
| | Influence de forme d'impulsion sur les propriétés de la décharge (tube et jet) | 09:15 | 0:30 | E. Robert (GREMI) |
| | Optimisation du générateur électrique pour une DBD homogène | 09:45 | 0:30 | N. Naudé(Laplace) |
| | Pause | 10:15 | 0:20 | |
| | Influence des paramètres électriques sur les propriétés d'une décharge glissante - Identification de la source d'alimentation et Applications environnementales | 10:35 | 0:30 | S. Pellerin (GREMI) |
| | Table ronde | 11:05 | 1:00 | A. Caillard et H. Rabat (GREMI) |
| | | | | |

Après chaque présentation, le temps réservé pour « Q-R » est limité, mais vous avez beaucoup d'autres occasions pour questionner les intervenants : durant les pauses, avant, après et durant les repas.



Rotation de TPs+visite

| | |
|---|---|
| Mardi pm | |
| TP 1 : Mise en service d'une alimentation impulsionnelle faite sur-mesure | S. Dozias (GREMI) et M. Fleury (LPGP) |
| TP2 : Mesure de courant, tension et puissance d'une décharge DBD | H. Rabat et D. Hong (GREMI) |
| TP3 : Mesure de grandeur électrique d'une décharge RF | G. Curley (IEMN) et M. Mikikian (GREMI) |
| TP4 : Influence des caractéristiques d'une alimentation HiPIMS sur une décharge magnétron | A. Caillard (GREMI) |
| V : Visite du GREMI | La direction du GREMI |

| | Créneau 1 14:15-14:55 | Créneau 2 14:55-15:35 | Créneau 3 15:35-16:15 | Créneau 4 16:35-17:15 | Créneau 5 17:15-17:55 | Composition de groupe |
|-----|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Gr1 | TP1 | TP2 | TP3 | TP4 | V | |
| Gr2 | TP2 | TP3 | TP4 | V | TP1 | |
| Gr3 | TP3 | TP4 | V | TP1 | TP2 | |
| Gr4 | TP4 | V | TP1 | TP2 | TP3 | |
| Gr5 | V | TP1 | TP2 | TP3 | TP4 | |



Bonne ANF

Merci pour votre attention

Merci pour votre participation

Questions ?