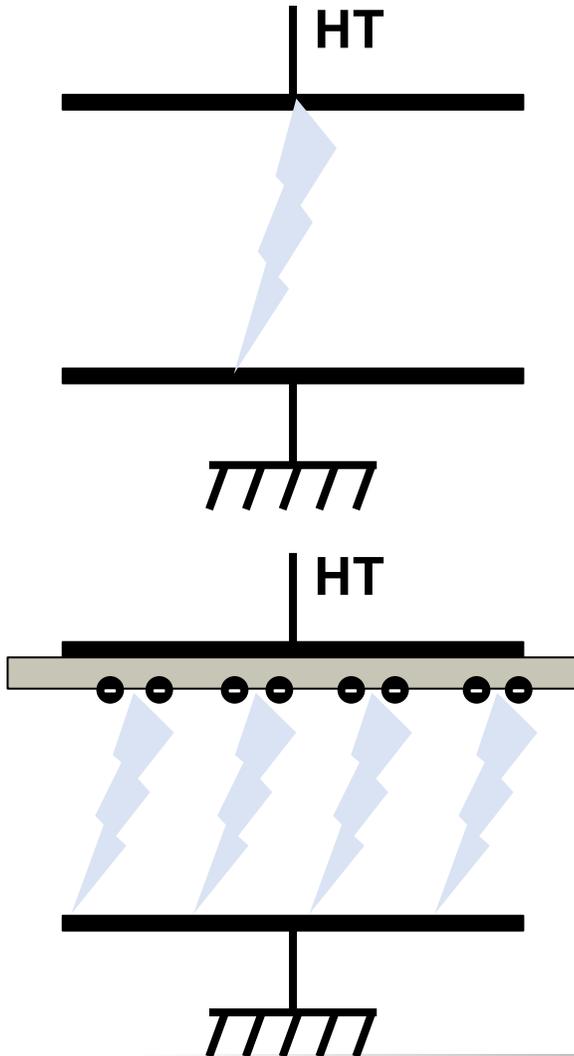


Optimisation du générateur électrique pour une DBD homogène

Nicolas Naudé

→ Décharge à Barrière Diélectrique ?



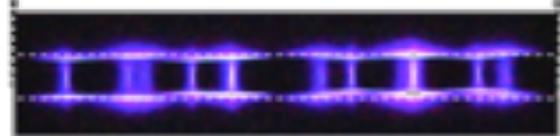
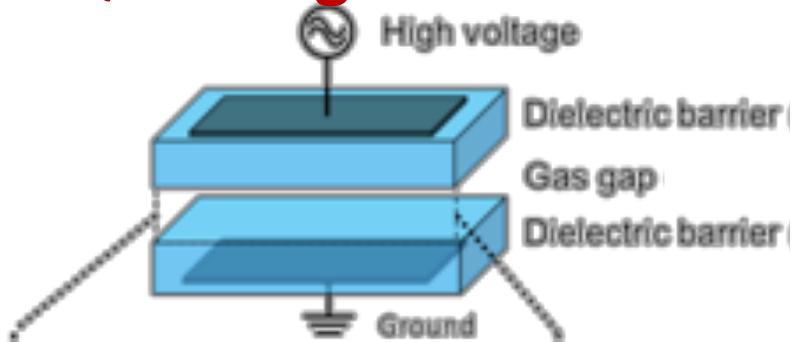
Pression atmosphérique

- faible libre parcours moyen
- mise à l'équilibre thermodynamique
- **régime d'Arc**

En rajoutant au moins 1 diélectrique solide entre les électrodes

- charges déposées sur le diélectrique
- diminution local du champ électrique
- **extinction de la décharge avant l'apparition de l'Arc**
- Répartition plus uniforme des micro-décharges
- **Nécessite une alimentation alternative**

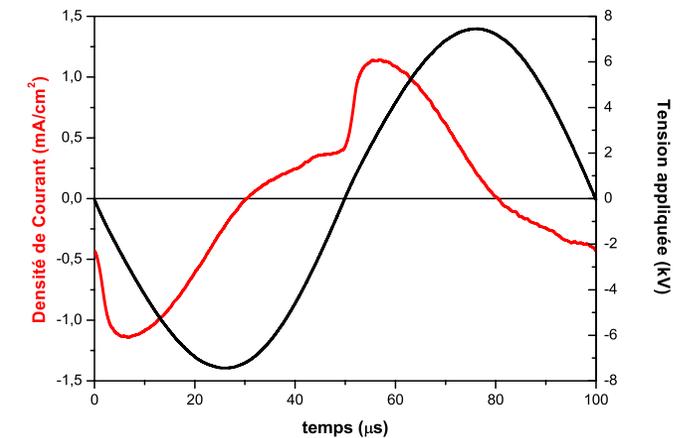
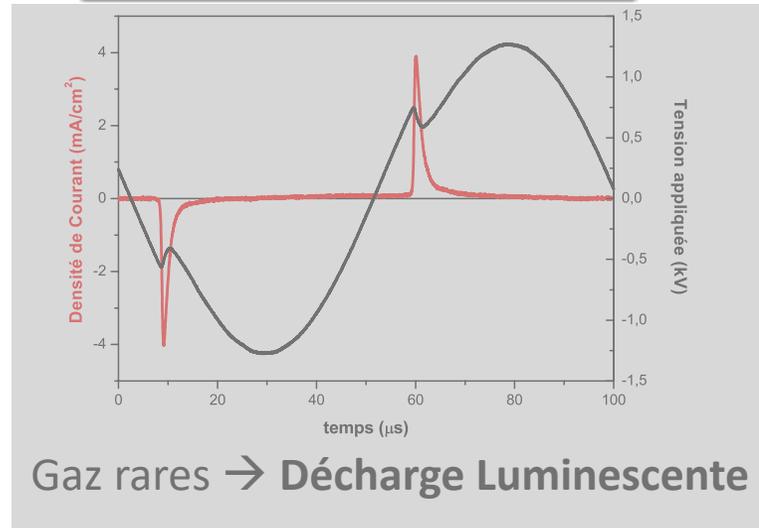
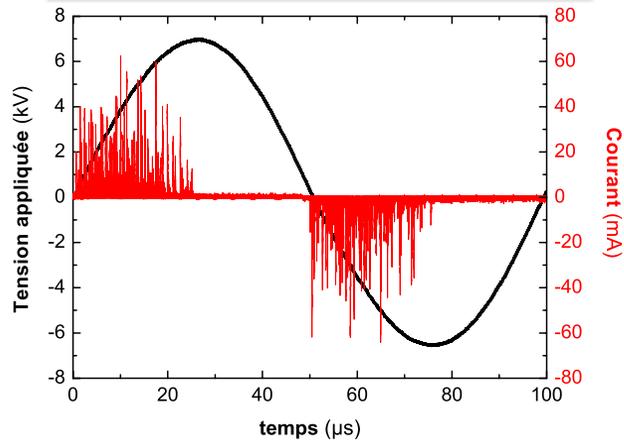
→ Quels régimes de décharge ?



Filamentaire

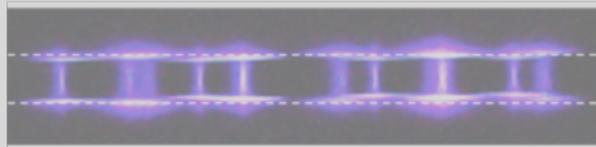


Homogène

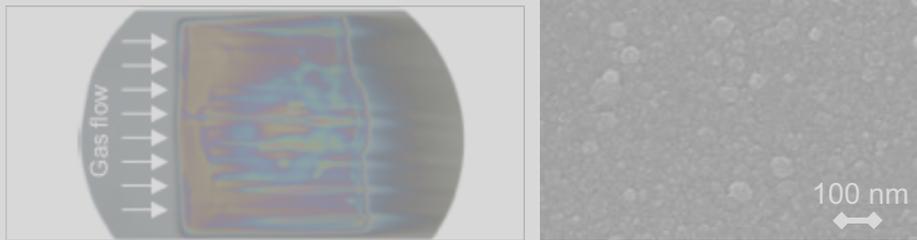


→ Application de ces décharges pour du dépôt de couches minces ?

DBD Filamentaire



Même puissance ($\sim 10\text{W}/\text{cm}^3$)
Même composition gaz
(film SiO_x)



Injection d'énergie très localisée
(10 ns sur 100 μm)



Forte densité électrons (10^{14}cm^{-3}) et forte dissociation

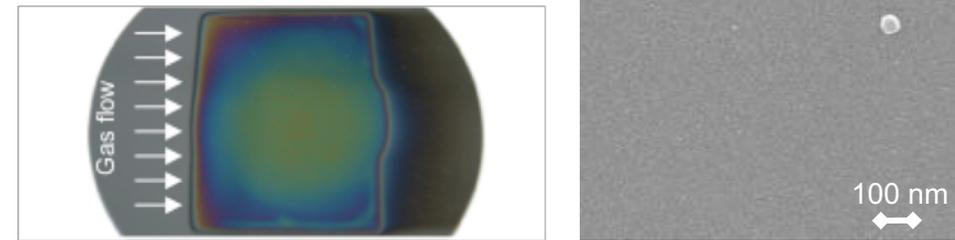
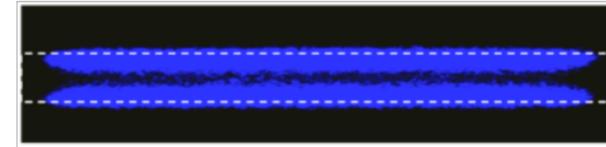


Bcp de radicaux en même temps et au même endroit



Production de poudres

DBD Homogène



Injection d'énergie homogène
(100 μs et sur toute la surface des électrode)



Dissociation monomère + lente



Les radicaux ont plus de temps pour atteindre la surface

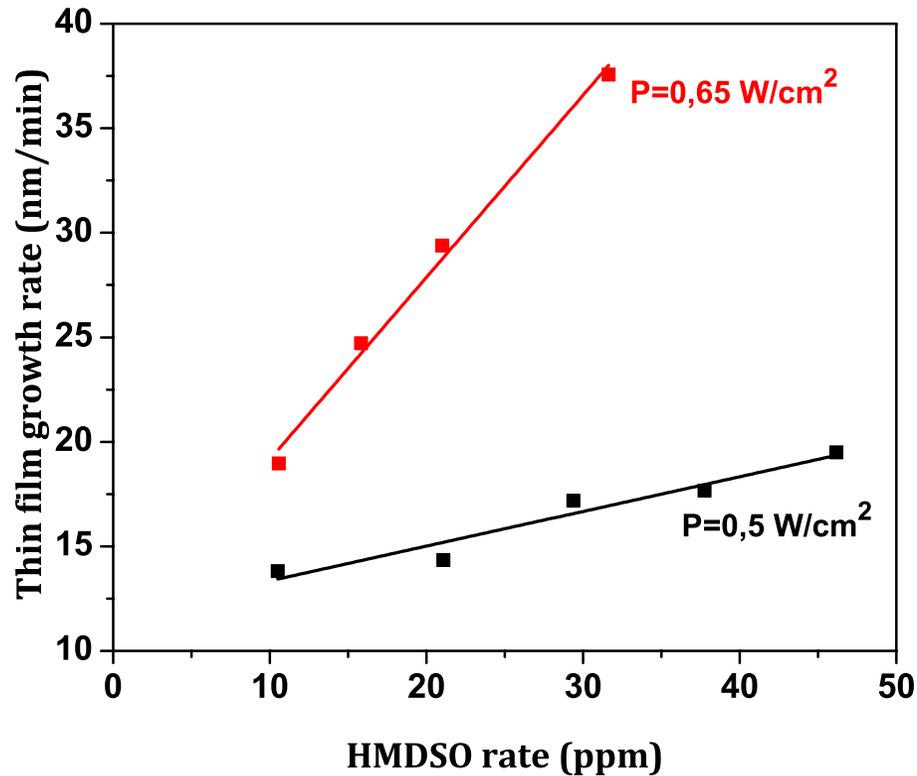


Dépôt + dense

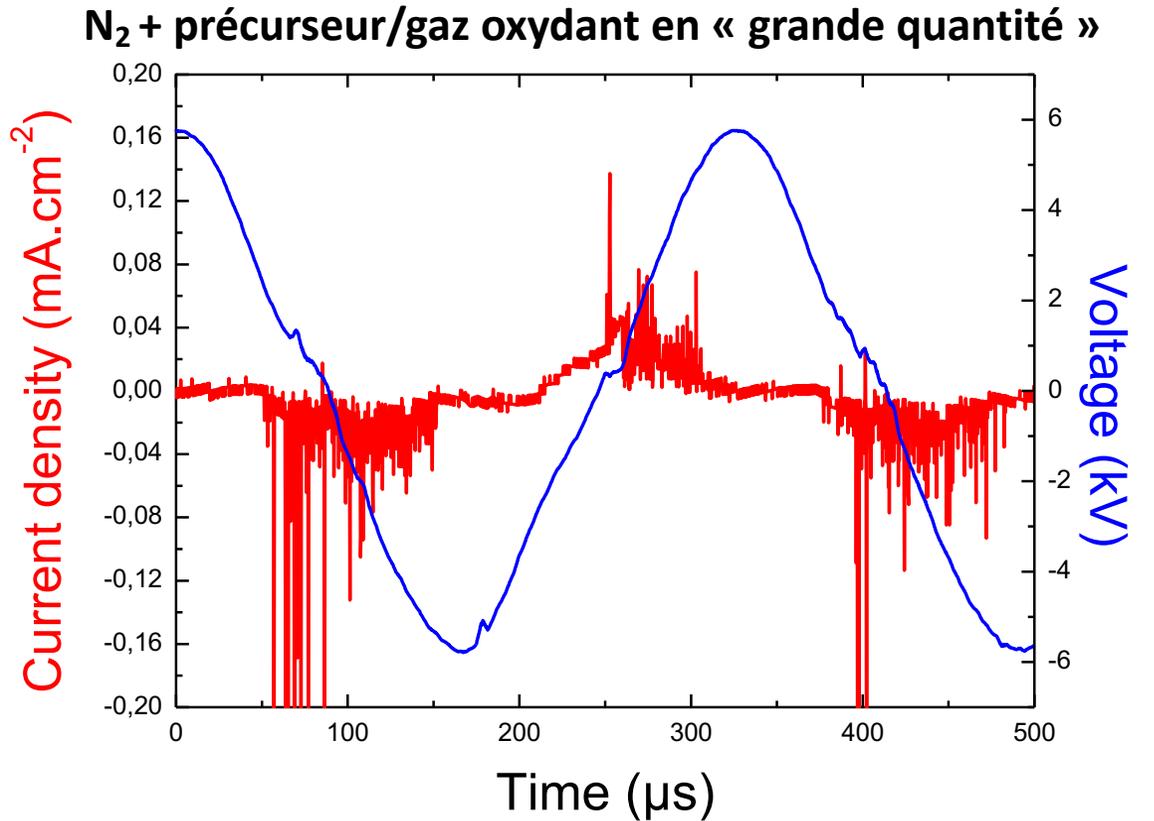
→ Quelle problématique vis à vis du générateur électrique ?

1- Contexte

→ Problématique vis à vis du dépôt de couches minces par DBD homogène en N_2 ?



→ Augmenter la puissance



→ Améliorer la stabilité de la décharge

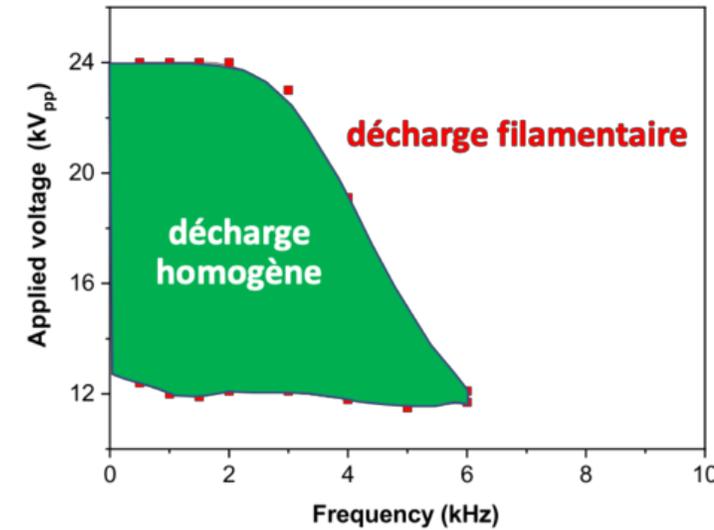
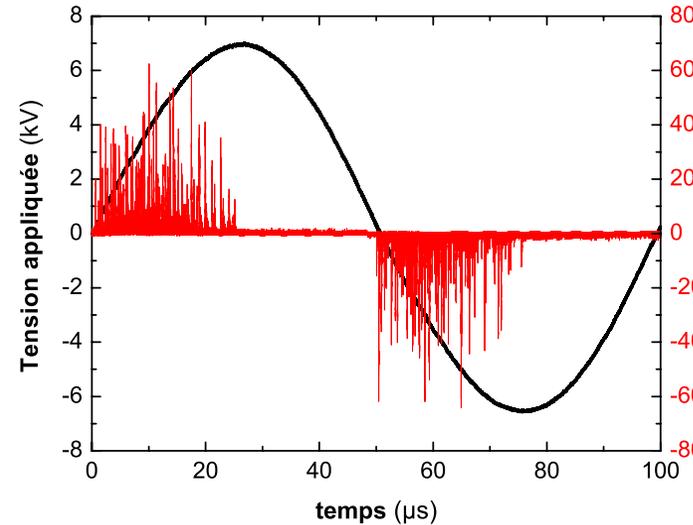


1. *Contexte*
2. *Optimisation du transfert de puissance*
 1. *Alimentation en tension sinus*
 2. *Alimentation optimisée*
3. *Injection de NPs*
4. *Synthèse*

2- Optimisation du transfert de puissance

→ DBD Homogène en N₂

- charge capacitive
- charge non linéaire (pb. résonance)
- dV/dt limité
- alimentation en tension sinusoïdale

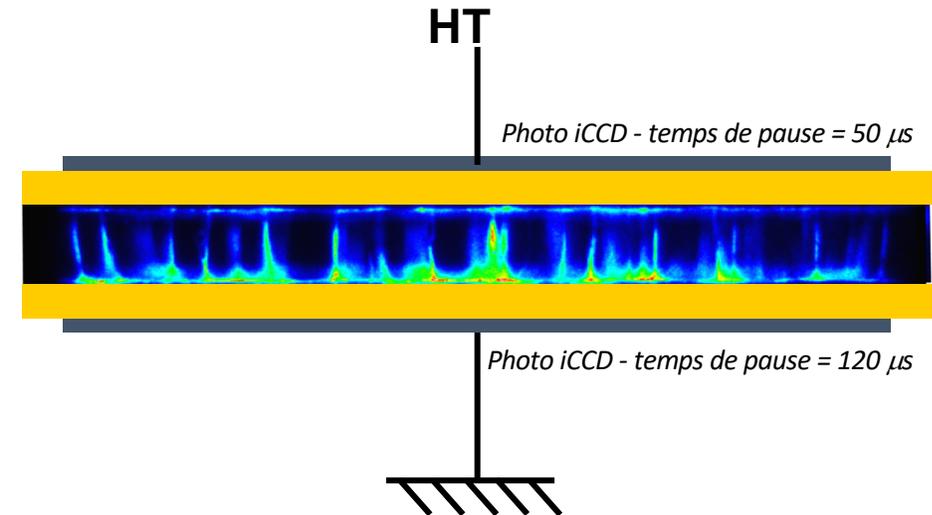


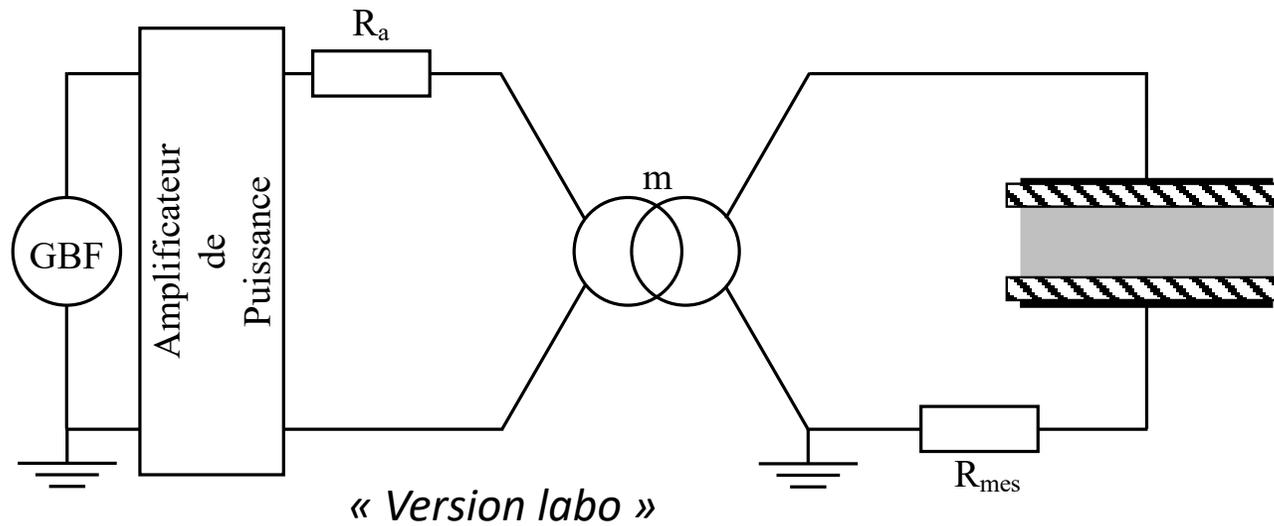
si $f \nearrow$ transition en filamentaire → puissance limitée

Comment optimiser / augmenter la puissance en régime homogène ?

① Alimentation en tension sinus

② Alimentation optimisée

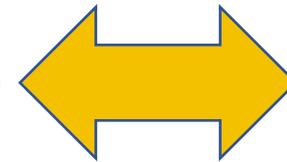




Alimentation en tension sinusoïdale

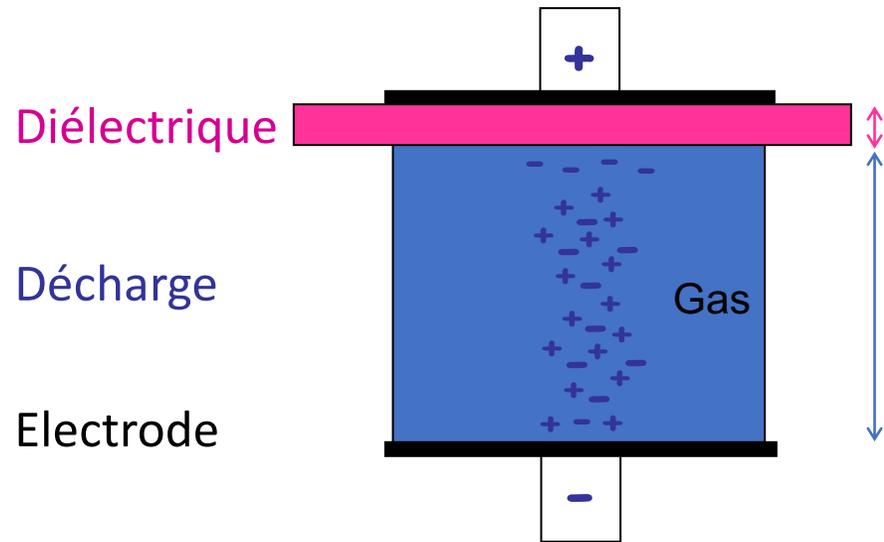
- Version labo "ou plus industrielle
- Régime homogène
- Fonctionnement à P_{\max}

Tension sinus
Fréquence ?
Amplitude ?



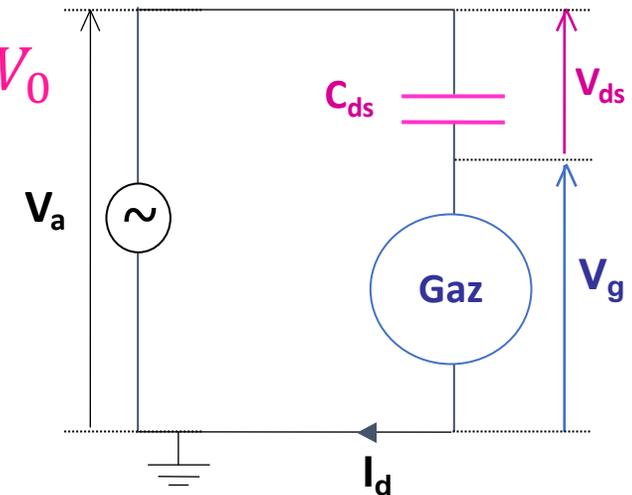
Matériaux
diélectriques
(Applicateurs)

2-1 Alimentation en tension sinus



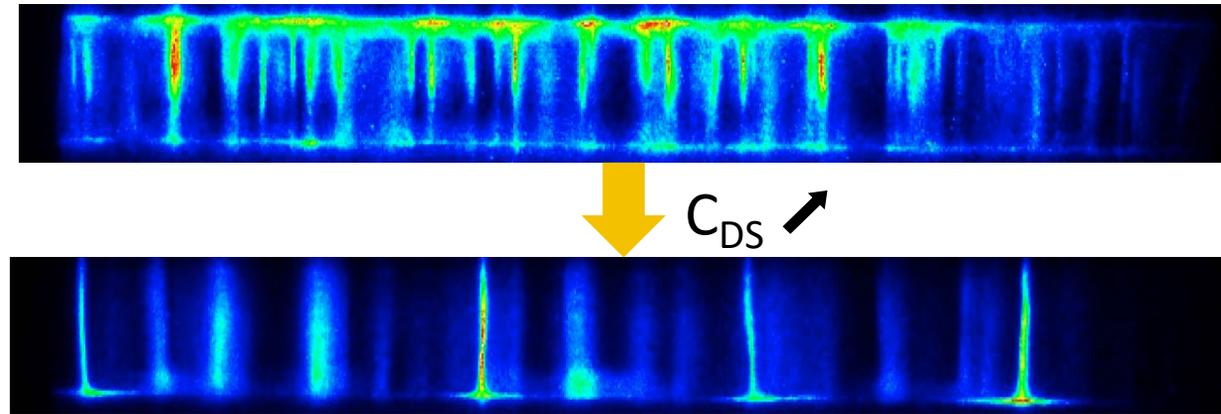
$$V_{ds} = \frac{1}{C_{ds}} \int I_d \cdot dt + V_0$$

$$V_a = V_g + V_{ds}$$



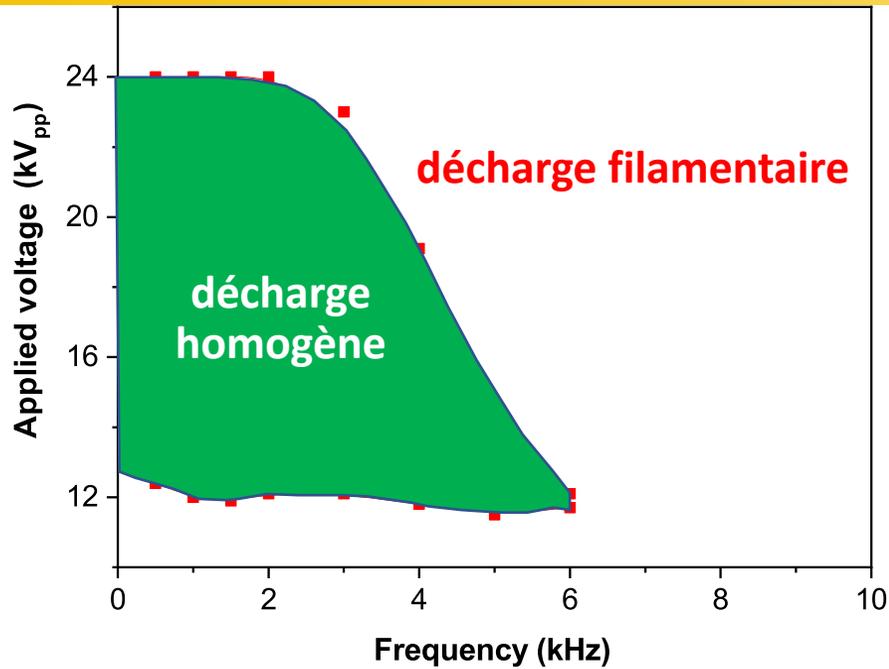
Le rôle du **diélectrique** est de **limiter la charge** électrique transportée par la décharge. Pour une décharge filamenteire **si la capacité diélectrique augmente** :

- nb. décharges ↘
- intensité ↗
- décharge + localisée

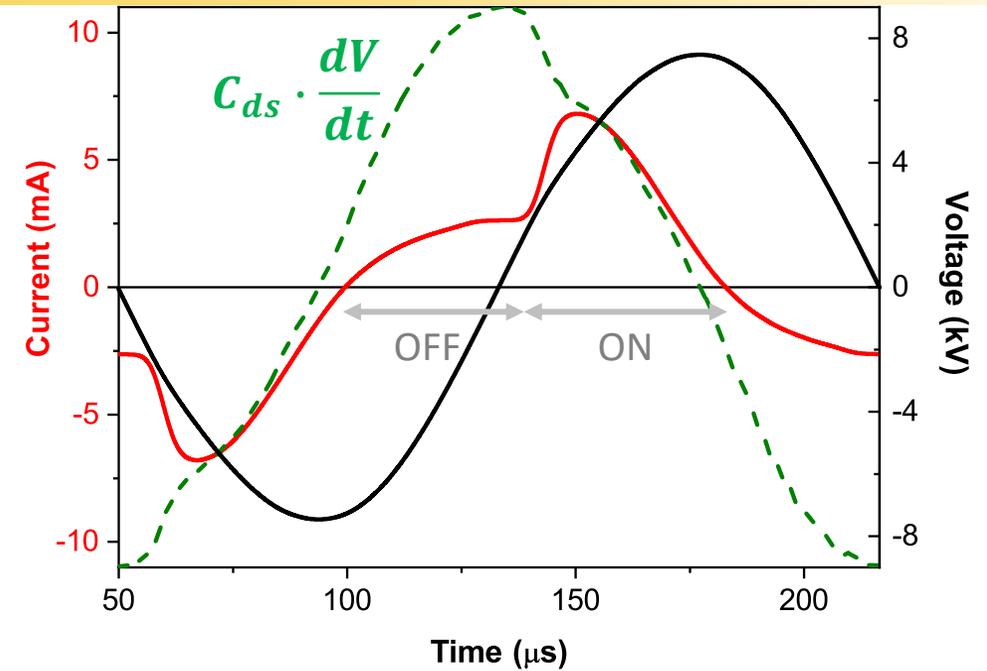


→ Pour une décharge homogène ?

2-1 Alimentation en tension sinus

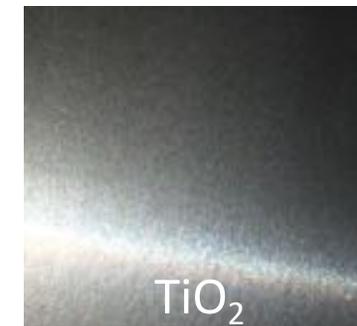
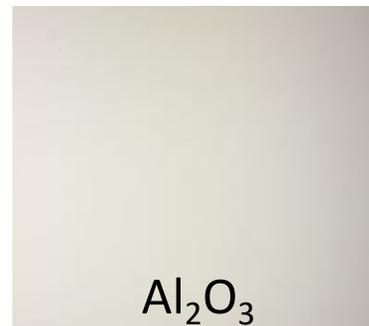


→ Amplitude et fréquence de la tension appliquée limitées



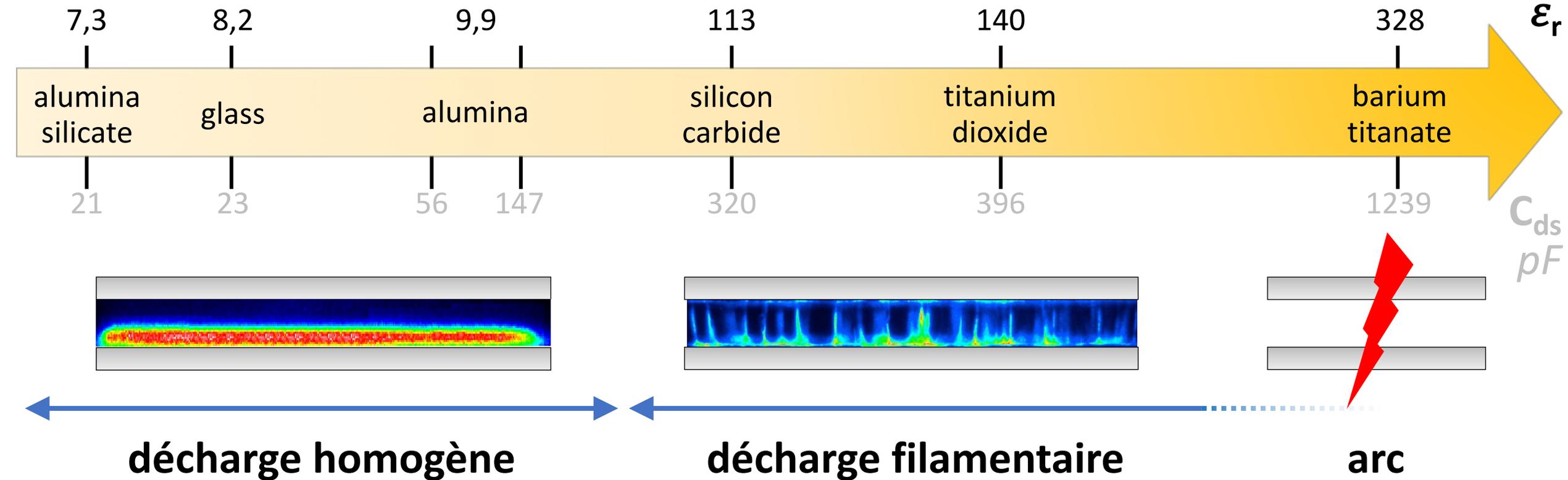
→ Courant de décharge dépend du dV/dt et de la capacité diélectrique

Impact sur le comportement de la décharge ?



Régime de décharge en fonction de la permittivité ?

Valeurs mesurées pour
 $S=6,4 \text{ cm}^2$

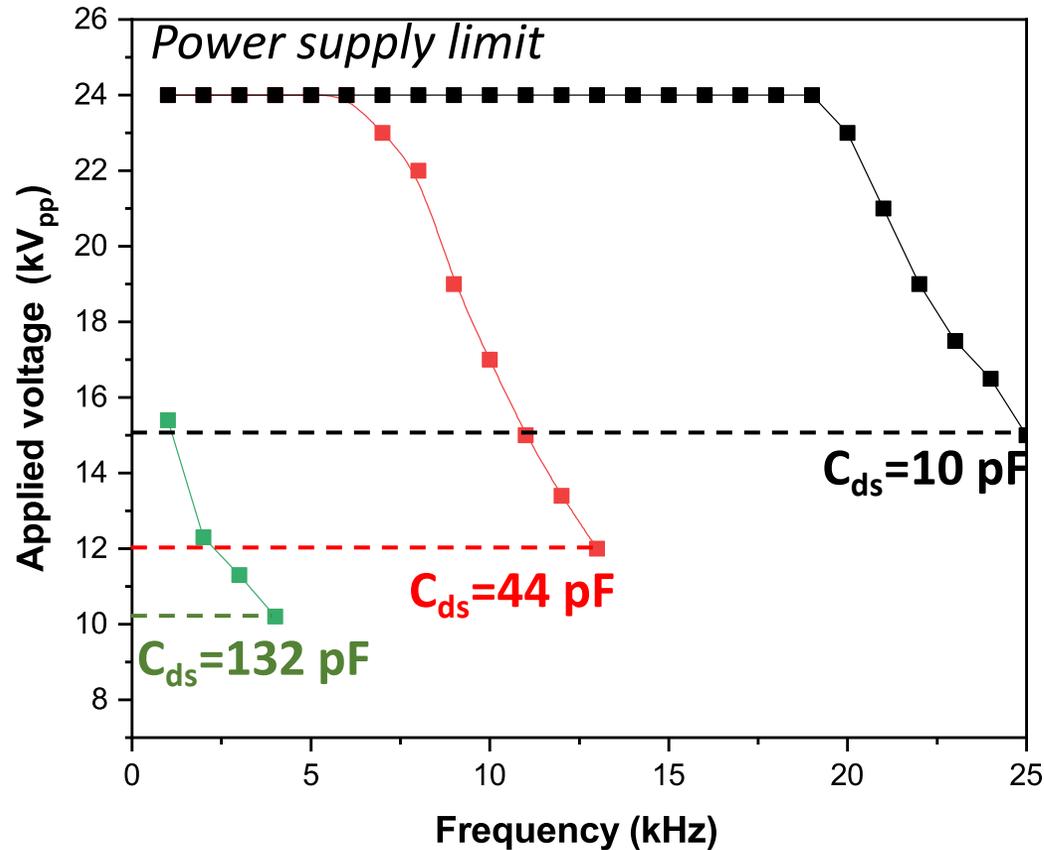


→ DBD filamentaire pour les valeurs de C_{ds} les plus élevées

→ Paramètre clé = C_{ds} (et pas les matériaux)

2-1 Alimentation en tension sinus

Domaine de fonctionnement ?



→ **Domaine de fonctionnement** (et puissance) dépend de la valeur de C_{ds} , pas des matériaux

→ Si $C_{ds} \searrow$ alors $f_{max} \nearrow$

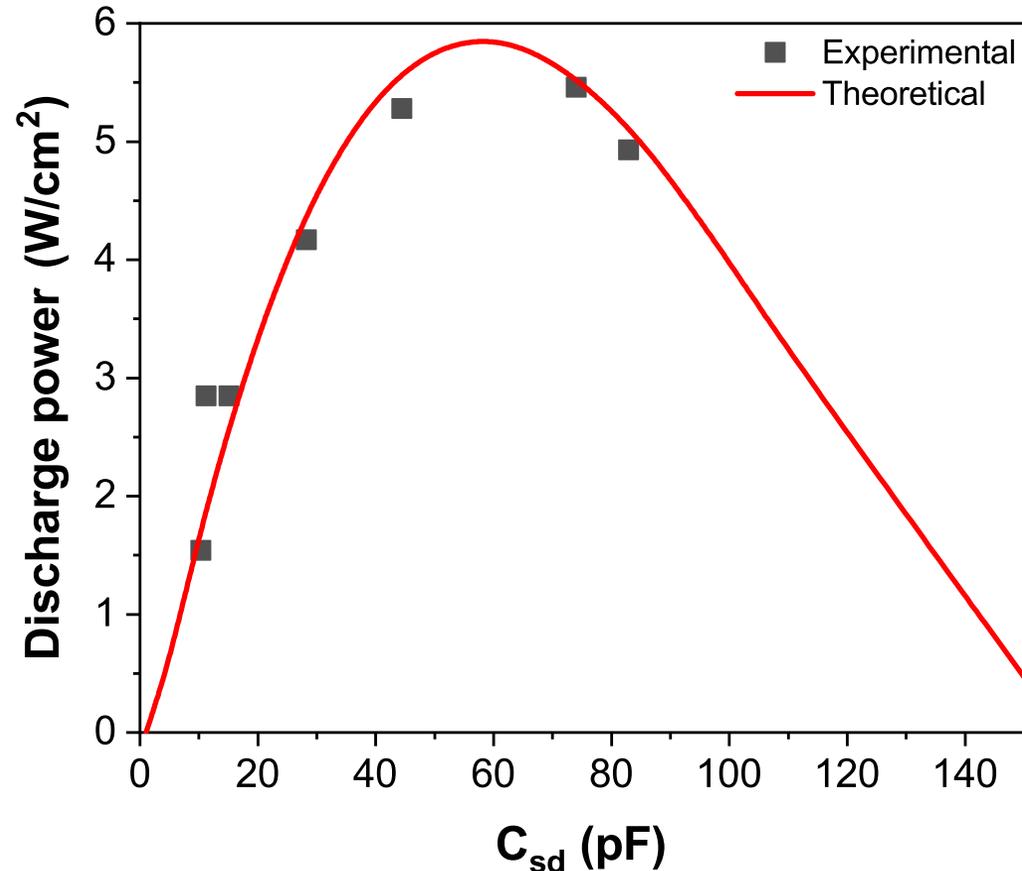
→ La **pente de la transition** entre les régimes homogène et filamentaire est quasi constante

→ La valeur maximale de la tension appliquée dépend de f et C_{ds} :

$$V = a - (b \cdot f) - (c \cdot C_{ds})$$

Tenson sinus – N_2 – 1 slm – gap=1 mm – 6,4 cm²

Domaine de fonctionnement ?



Tenson sinus – N₂ – 1 slm – gap=1 mm – 6,4 cm²

→ **Domaine de fonctionnement** (et puissance) dépend de la valeur de C_{ds} , pas des matériaux

→ Si $C_{ds} \searrow$ alors $f_{max} \nearrow$

→ **La pente de la transition entre les régimes homogène et filamentaire est quasi constante**

→ La valeur maximale de la tension appliquée dépend de f et C_{ds} :

$$V = a - (b \cdot f) - (c \cdot C_{ds})$$

→ Estimation de la puissance en combinant cette équation à une **expression analytique de la puissance** :

$$P = 4 \cdot f \cdot C_{ds} \cdot V_b \cdot V \cdot \left(1 - \left(1 + \frac{C_{gaz}}{C_{ds}} \right) \cdot \frac{V_b}{V} \right) \quad [1]$$

avec V_b = tension de claquage

→ **Valeur maximale de puissance obtenue pour $C_{ds}=60-70$ pF (for $S=6,4$ cm²)**

[1] Xavier Bonnin et al. Eur. Phys. J. Appl. Phys. (2013) 64: 10901



2-1 Alimentation en tension sinus

$$P = 4 \cdot f \cdot C_{ds} \cdot V_b \cdot V \cdot \left(1 - \left(1 + \frac{C_{gas}}{C_{ds}}\right) \cdot \frac{V_b}{V}\right)$$

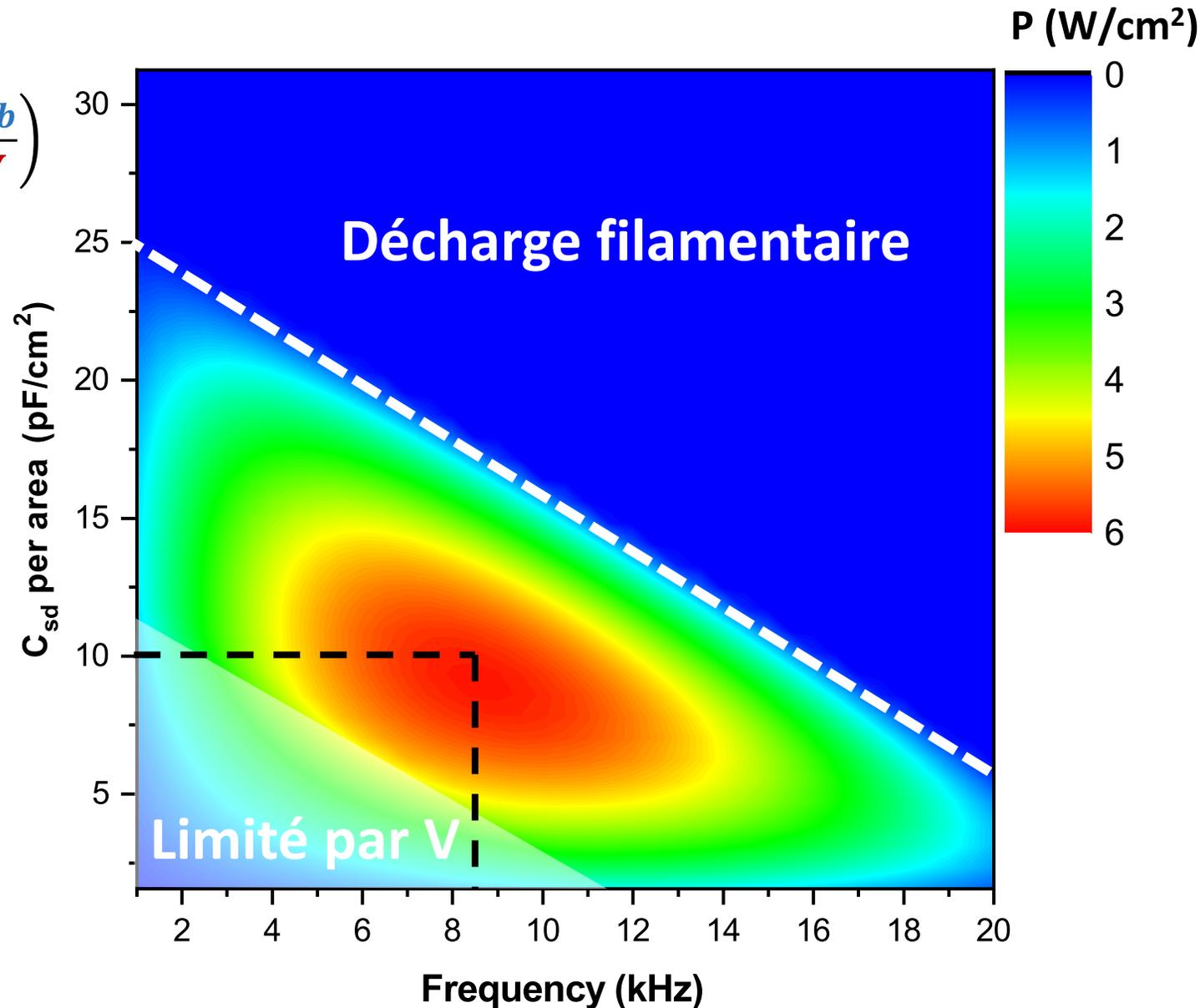
avec V_b = tension de claquage

$$V = a - (b \cdot f) - (c \cdot C_{ds})$$

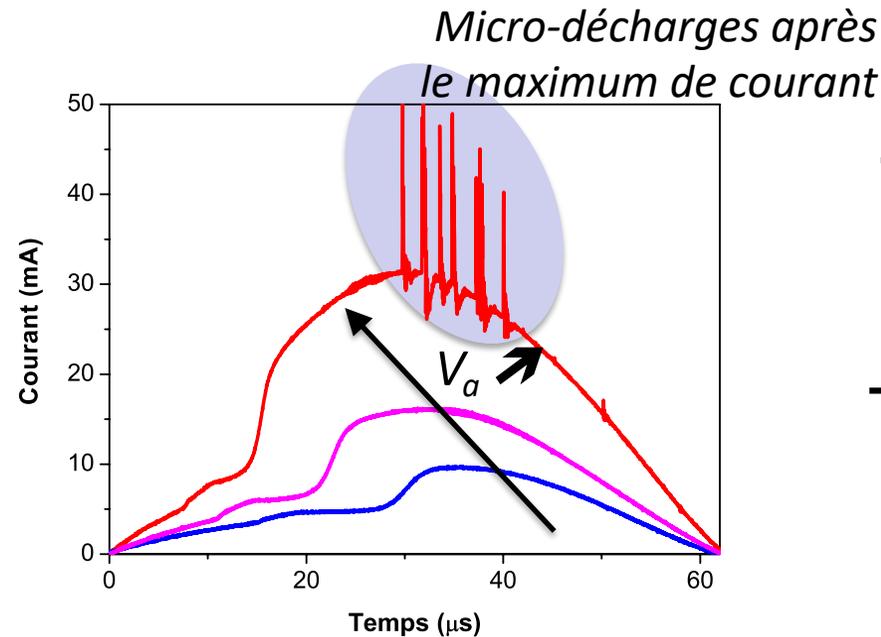
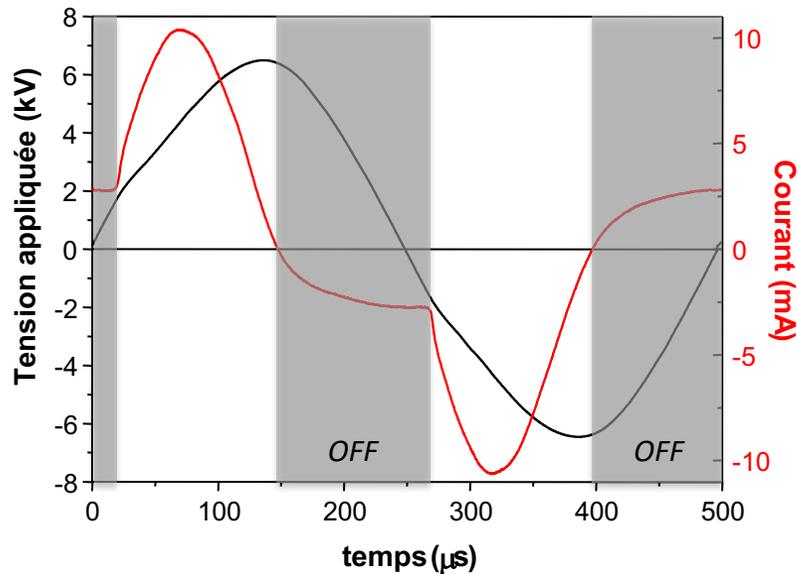
→ Solution pour optimiser la puissance de la décharge en fonction de la fréquence et des diélectriques

→ Peu d'effet de la limitation de la tension appliquée sur la puissance maximale de la décharge

→ Valeur maximale de puissance obtenue pour 8.5 kHz and 10 pF/cm²



Le type d'alimentation le plus répandu pour les DBD est l'alimentation en tension sinusoïdale : facilité de mise en œuvre, flexibilité, ...



- décharge allumée 50 à 60 % de la période
- courant max dans la décharge limité (1,5-2 mA/cm²)

→ Quelle source électrique pour optimiser le transfert de puissance ?

2-2 Alimentation optimisée



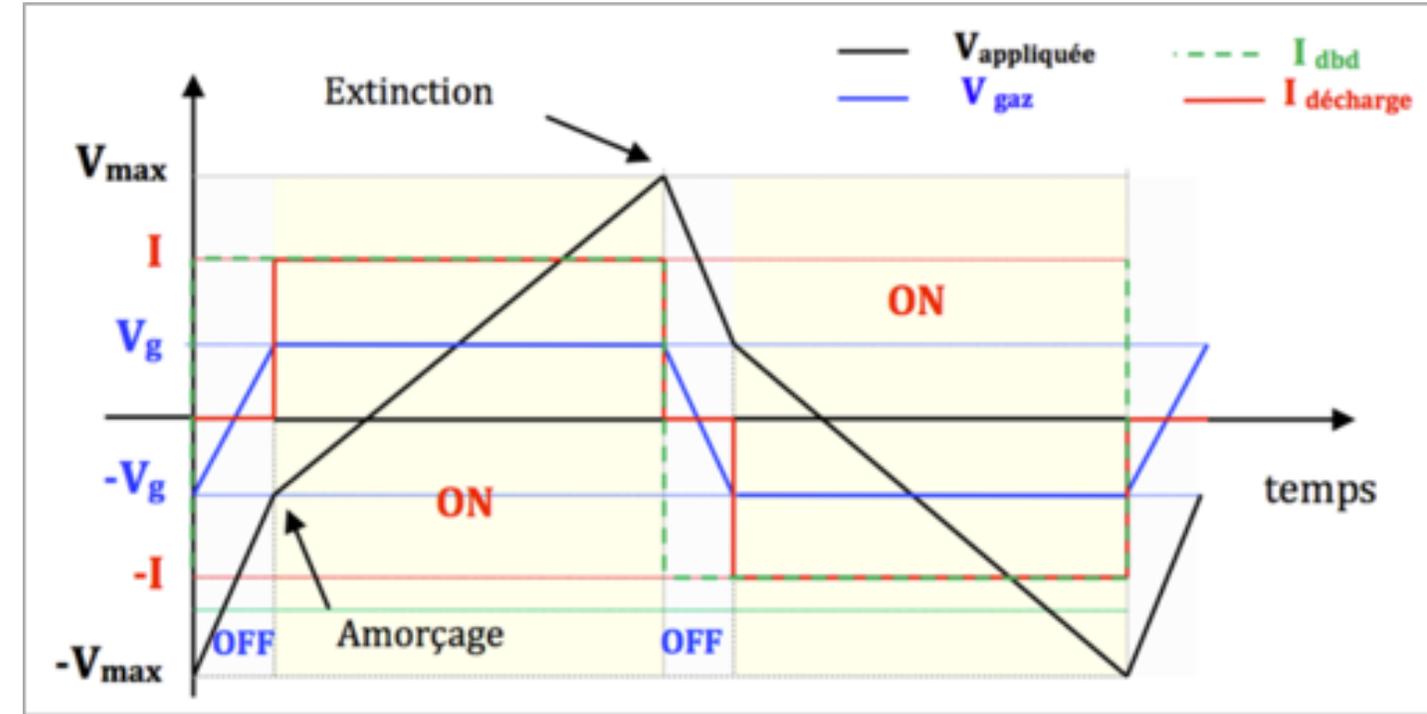
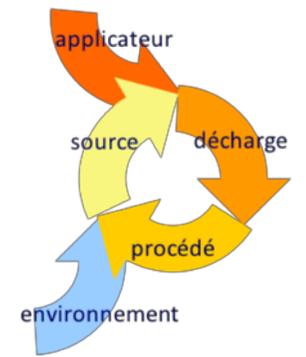
Portrait robot de l'alimentation idéale pour une DBD homogène en N_2 :

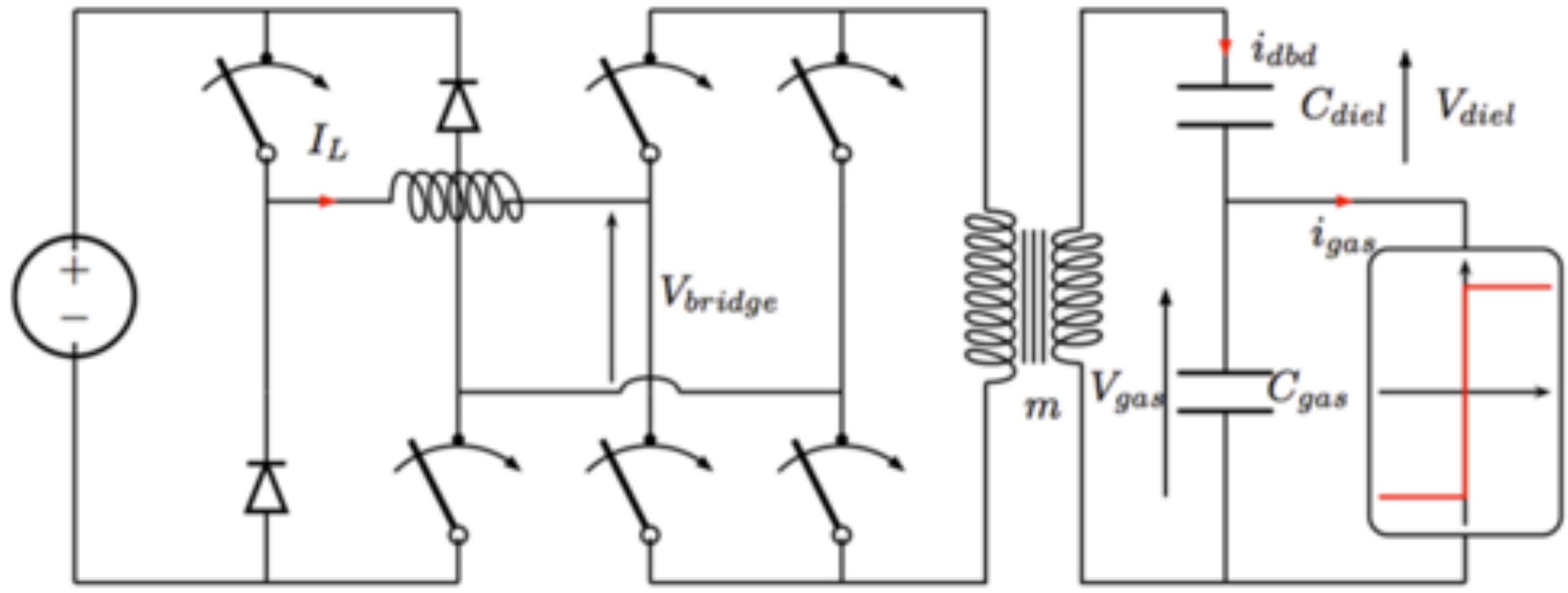
- *Limitation du courant*
- *Augmentation du temps d'allumage de la décharge*
- *Fréquence maximale inférieure à 20 kHz*

**Compréhension
Physique DBD**



**Compétences EdP +
Développement
alimentation**
coll. Hubert Piquet

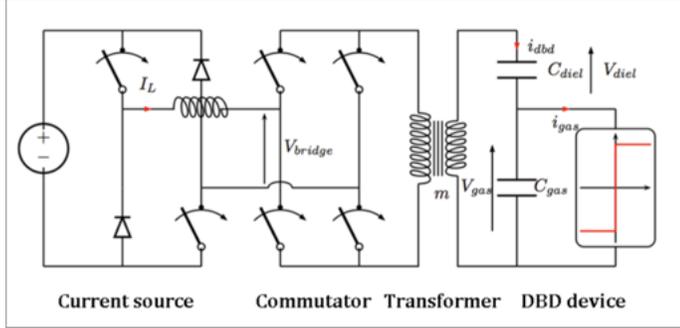




Current source

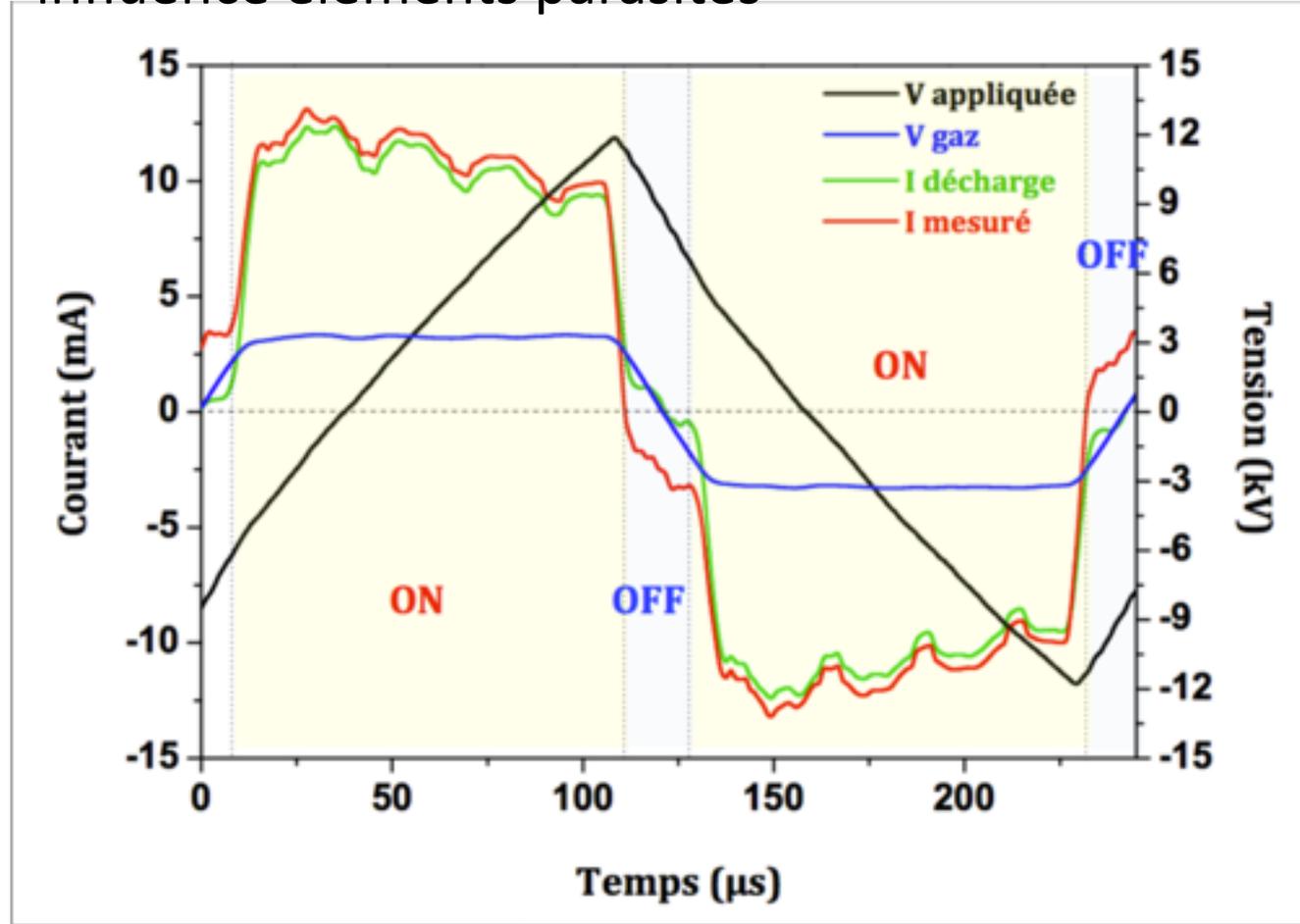
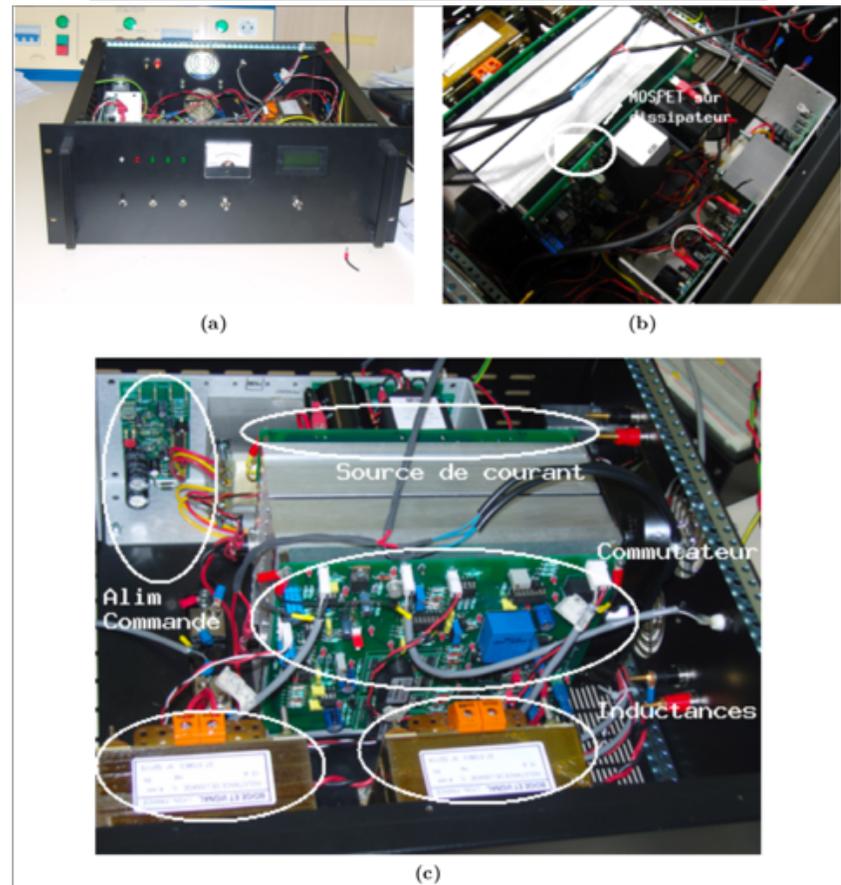
Commutator Transformer

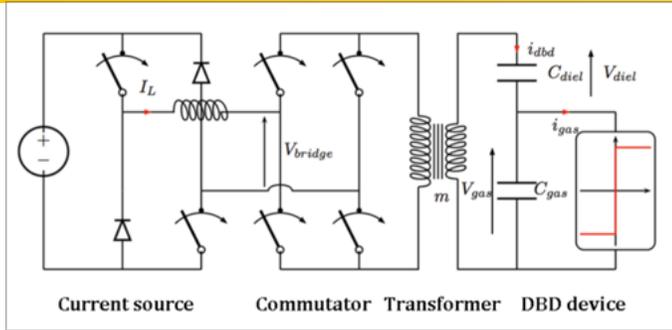
DBD device



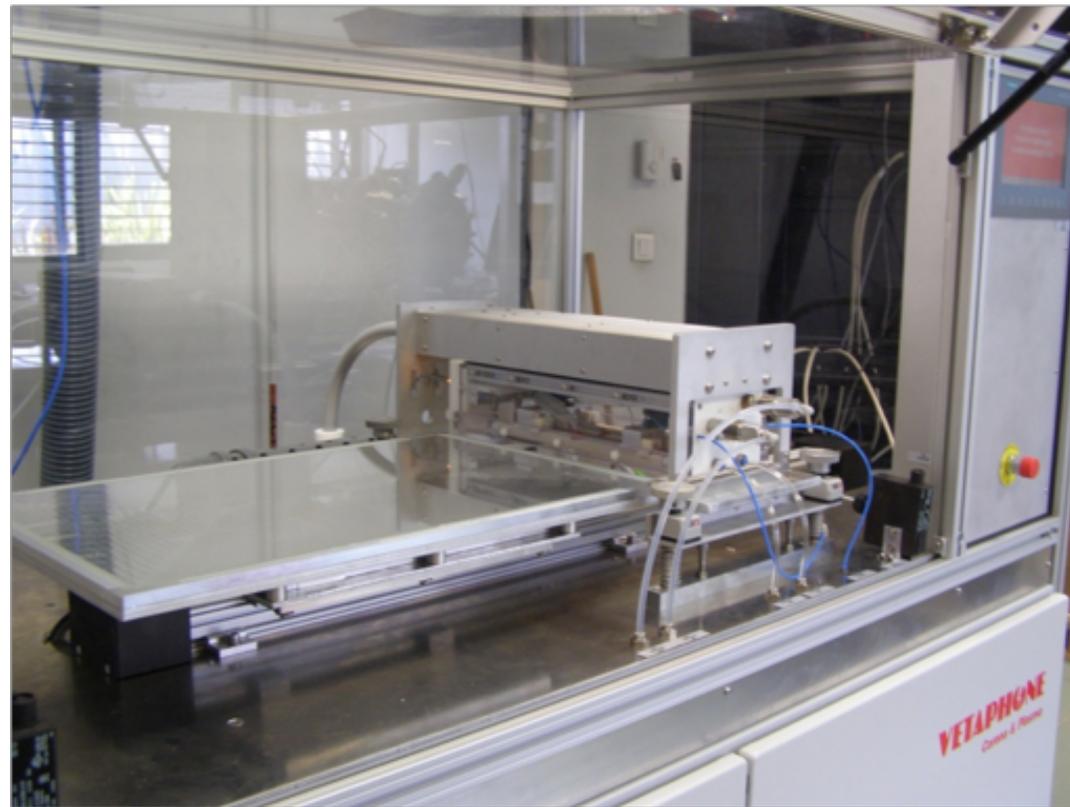
Test sur réacteur DBD laboratoire

→ influence éléments parasites

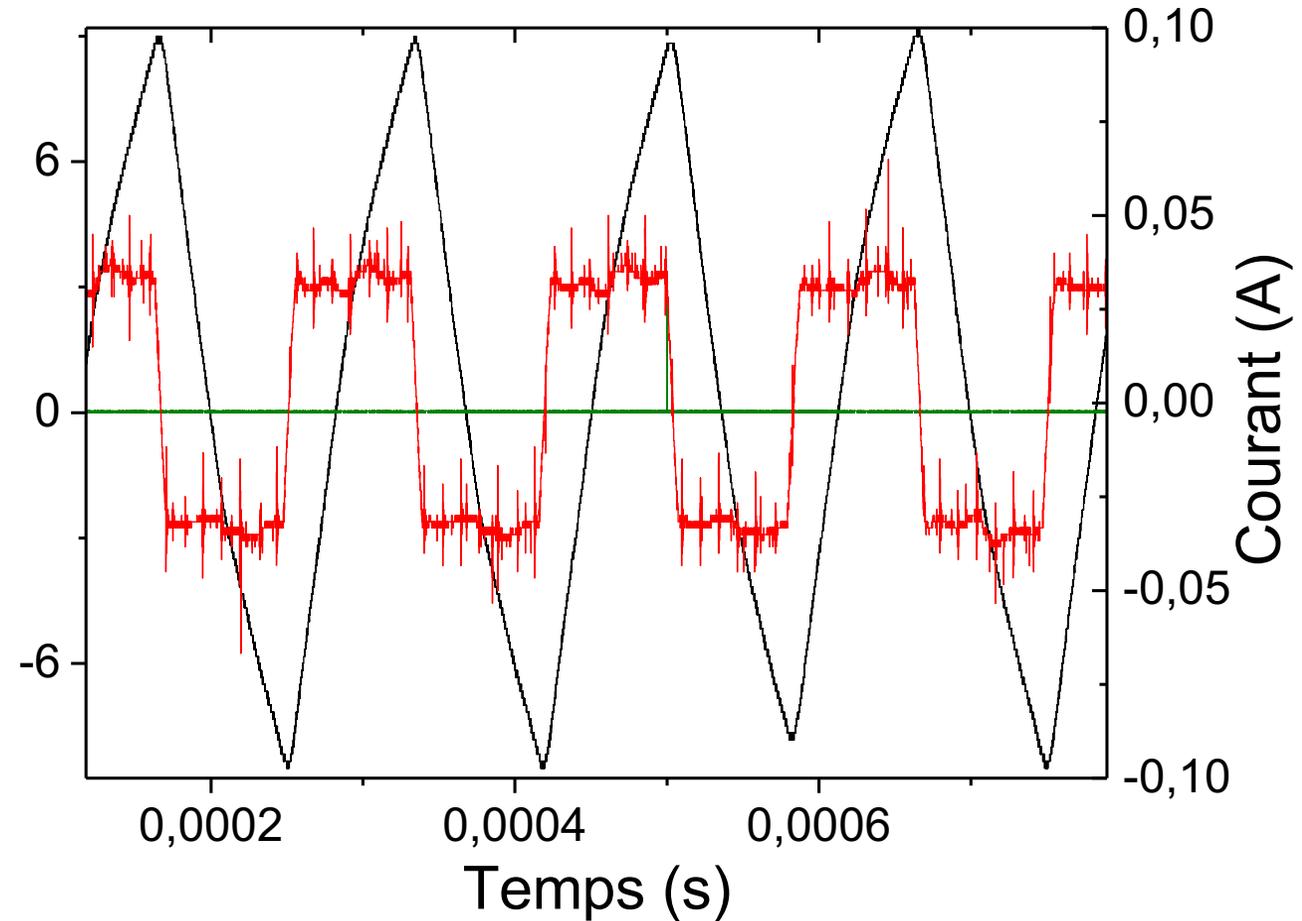




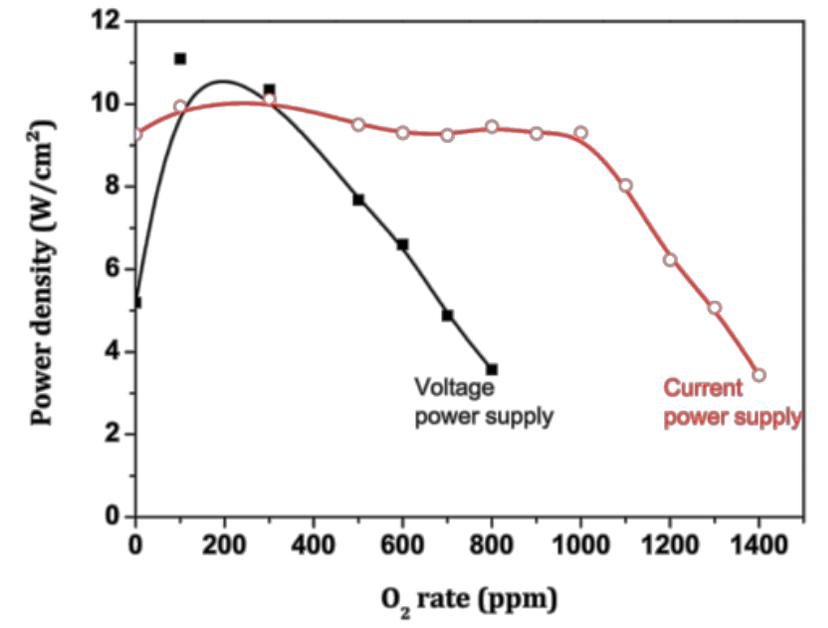
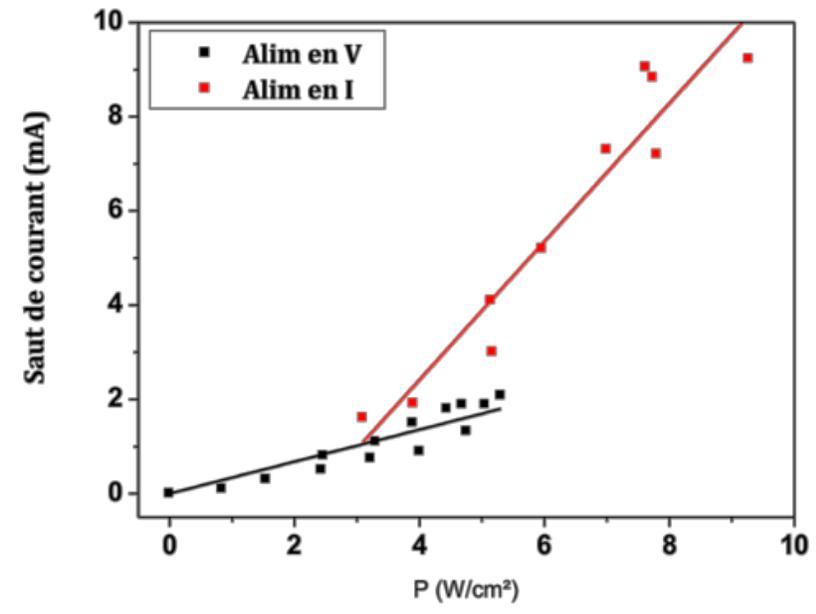
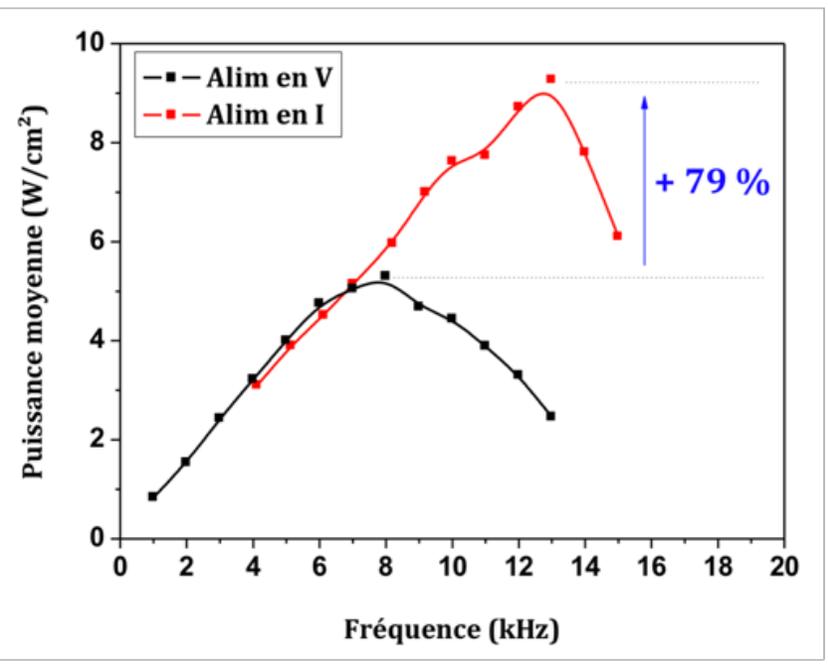
Test sur prototype pré-industriel



Tension (KV)



Performances ? Alim tension sinus vs Alim courant carré ...



- ↗ puissance maximale ($\approx 10 \text{ W.cm}^{-2} \approx 100 \text{ W.cm}^{-3}$)
- ↗ durée d'allumage (jusqu'à 85 % de la période)
- ↗ effet mémoire et ↘ sensibilité aux impuretés

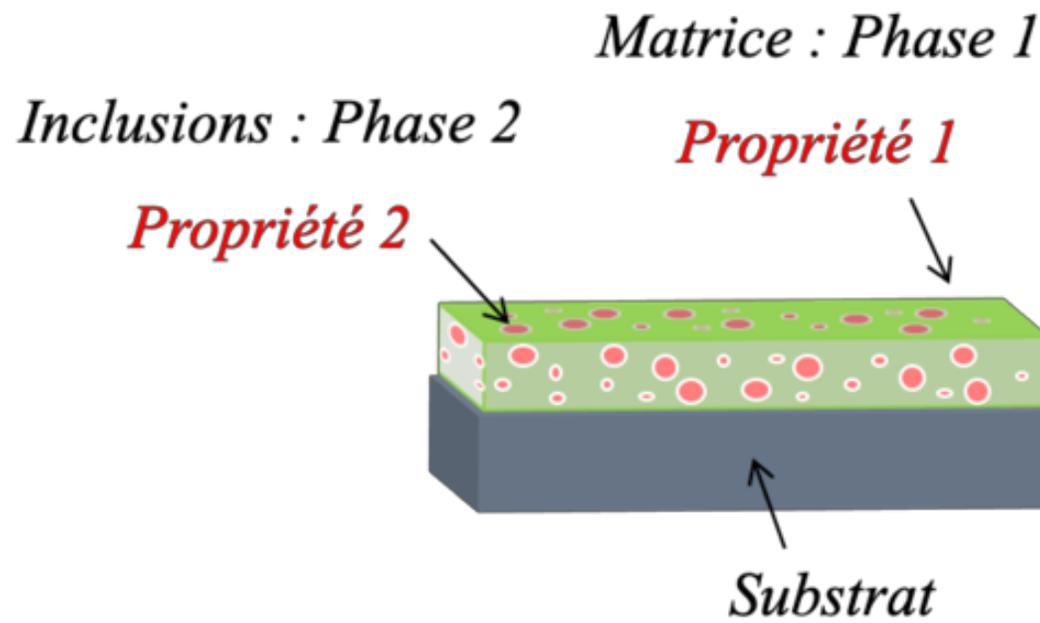
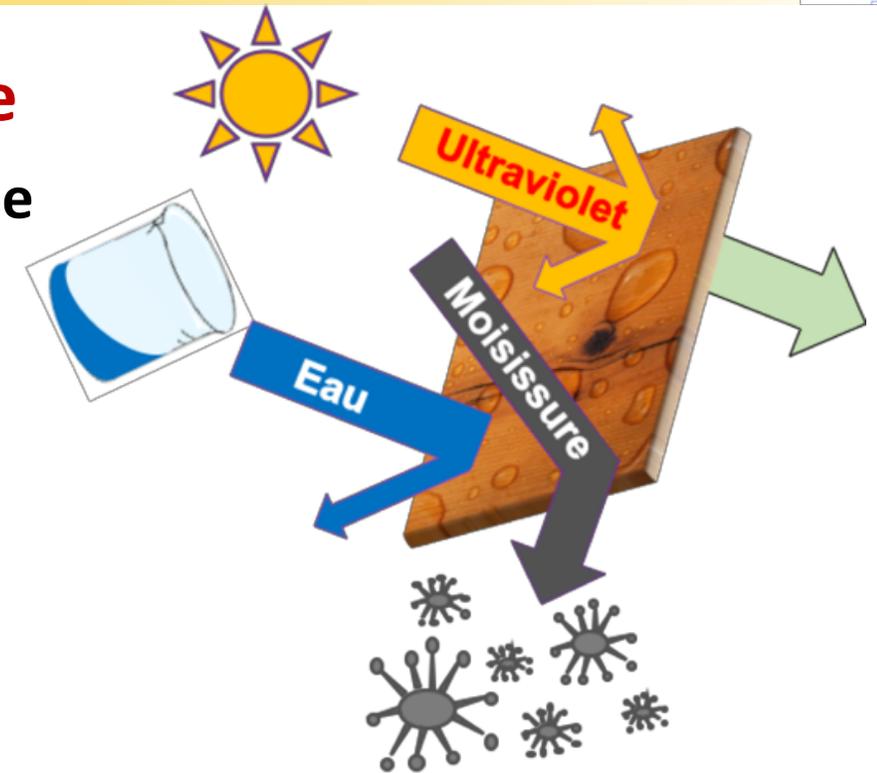


1. *Contexte*
2. *Optimisation du transfert de puissance*
 1. *Alimentation en tension sinus*
 2. *Alimentation optimisée*
- 3. *Injection de NPs***
4. *Synthèse*

3- Injection de NPs

→ **Objectif : réaliser une couche multifonctionnelle**

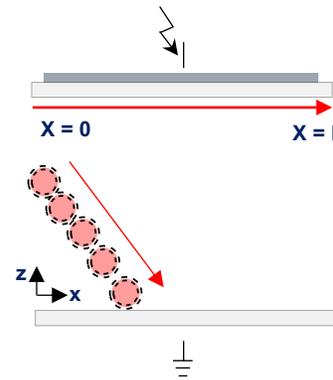
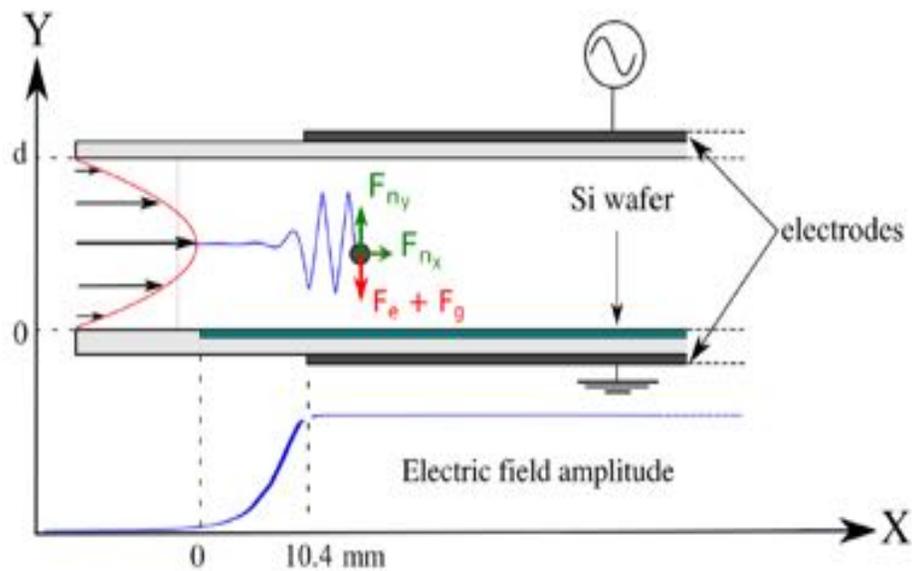
- incorporer des nanoparticules dans une matrice homogène
- injection solution colloïdale
- **décharge homogène**
- **densité homogène de NPs**



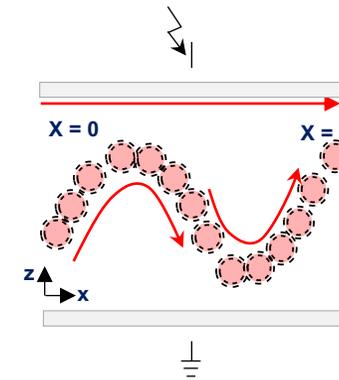
3- Injection de NPs

→ Particules chargées

→ Transport des nanoparticules gouverné par la force électrostatique

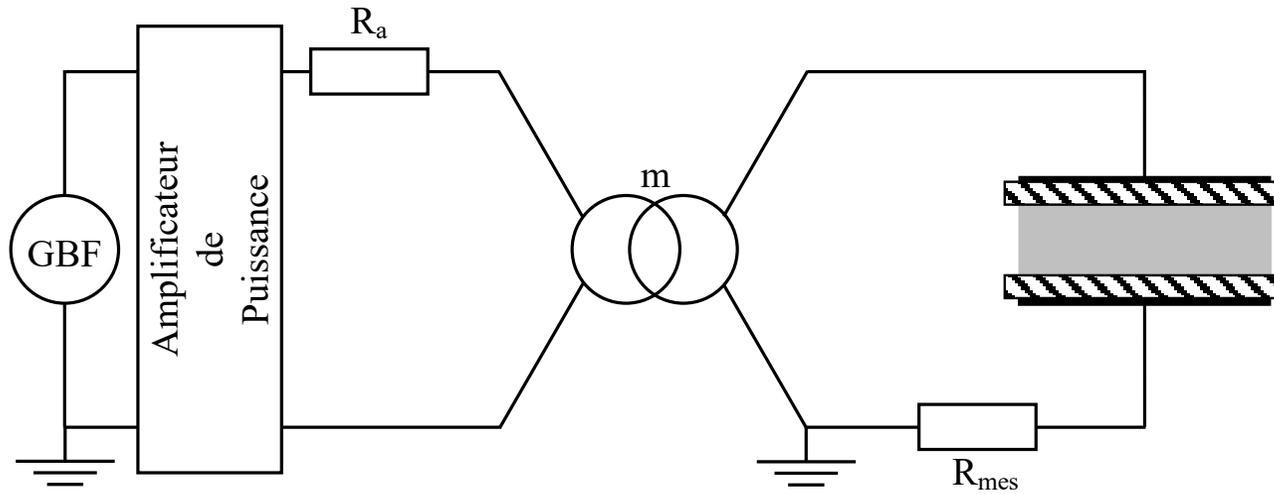


« Faible » fréquence:
Dépôt des particules en
entrée de décharge



« Haute » fréquence:
Confinement des
particules dans le gaz

→ Modulation de fréquence ? Variation de fréquence ?



→ 2 phases :

→ « Haute-fréquence »

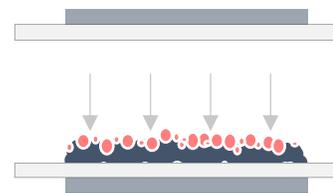
→ « Faible-fréquence »

« Haute » fréquence



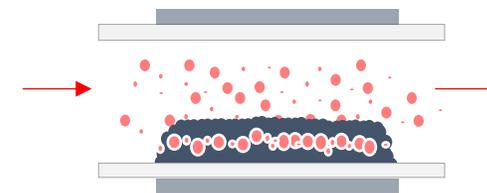
Confinement des NPs
+
Croissance de la couche

« Faible » fréquence



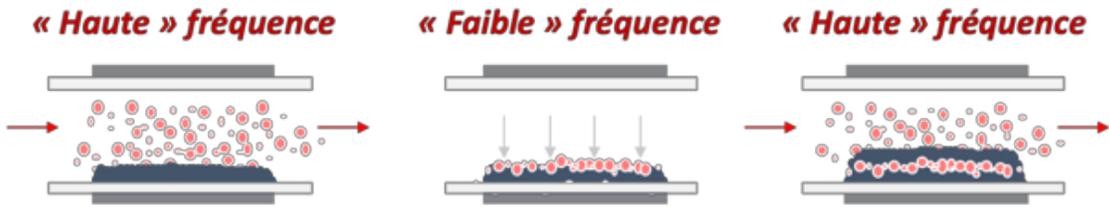
Collecte des NPs

« Haute » fréquence

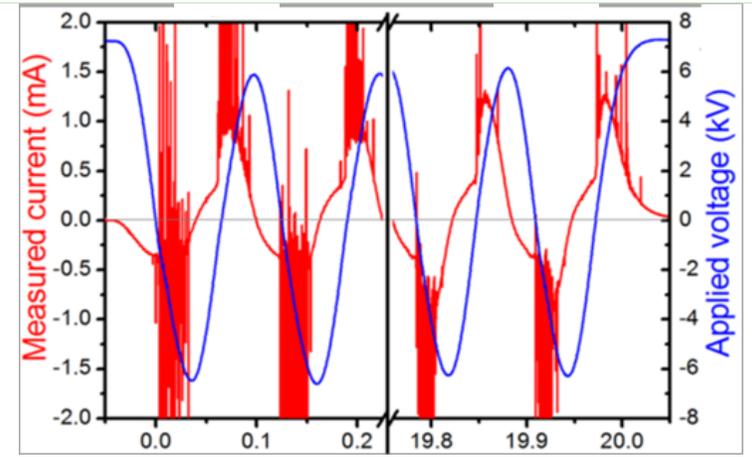
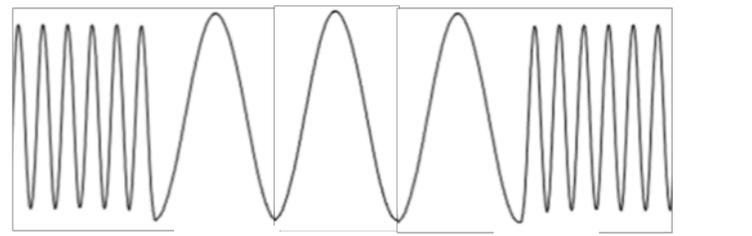


3- Injection de NPs

Thèse J. Profili, UPS 2016



8 kHz / 250 Hz

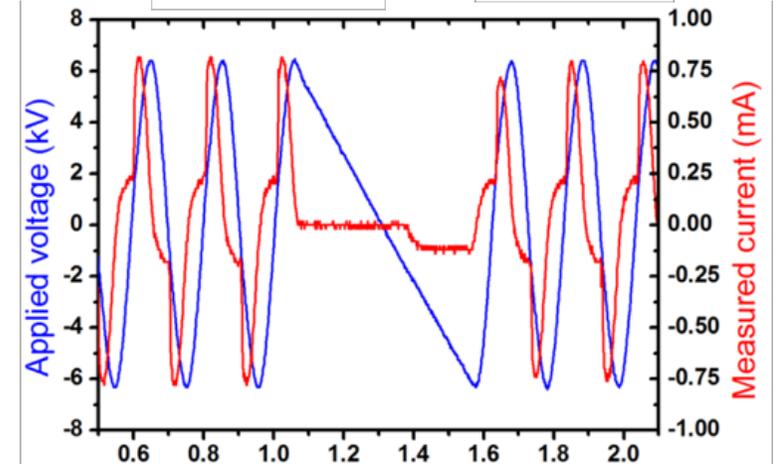
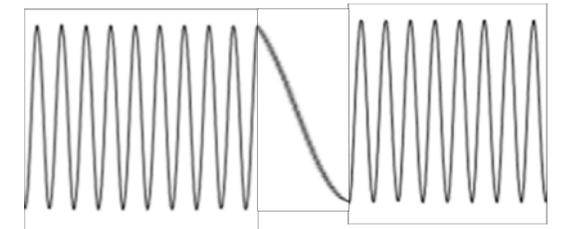


Décharge Filamentaire

→ Passage 250 Hz → 8 kHz
 → décharge filamentaire

→ Remplacement de la phase 250 Hz par une "dent de scie"
 → décharge homogène

8 kHz + "dent de scie"



Décharge Homogène



1. *Contexte*
2. *Optimisation du transfert de puissance*
 1. *Alimentation en tension sinus*
 2. *Alimentation optimisée*
3. *Injection de NPs*
4. ***Synthèse***

- Il n'y a **pas de solution unique** pour alimenter une DBD.
- **Solution(s) labo pas (forcement) adaptée(s) à un procédé industriel** : flexibilité, rendement, ...
- **Possibilité d'optimiser** le transfert de puissance, le régime de fonctionnement, *etc.* en « jouant » sur le circuit et/ou les paramètres.
- **Le développement d'un générateur électrique passe forcément par une bonne compréhension de la physique de ces décharges.**

Merci de votre attention ...