

# Plasma DC pulsé mesures à l'anode et à la cathode population relative et distribution en énergie des ions

**Christophe Cardinaud, Gilles Cartry, Ludovic Godet**

**Institut des matériaux Jean Rouxel – Nantes  
Varian Semiconductor Equipment Associates**

# "Le pourquoi"

## ❖ P<sup>2</sup>LAD: pulsed plasma doping

### ❖ Conditions type:

30 à 100mTorr (BF<sub>3</sub>)

100 à 1500V

500Hz à 2.5kHz – 20 à 50µs "on"

## ❖ Objectifs

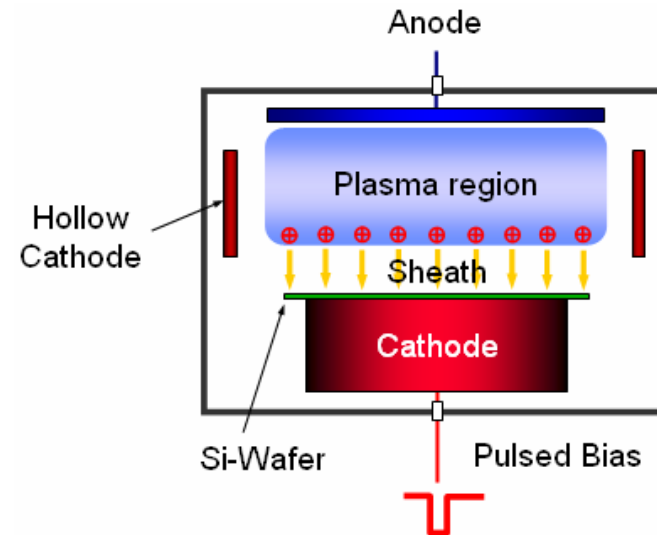
❖ Caractérisation des ions

❖ Mesure de leur distribution en énergie

❖ Quantification de la population

➔ Diagnostic résolu en temps

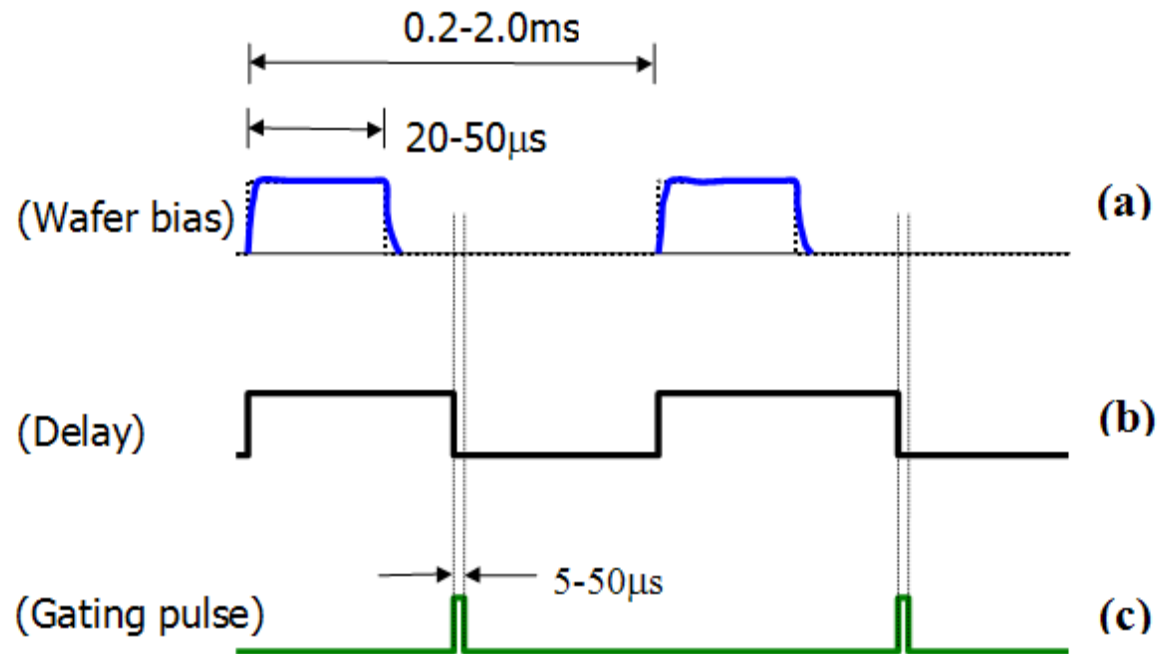
❖ Transport des ions dans la gaine / connaissance du plasma BF<sub>3</sub> / optimisation procédé implantation-dopage



thèse CIFRE de Ludovic Godet VSEA-IMN: 2003-2006

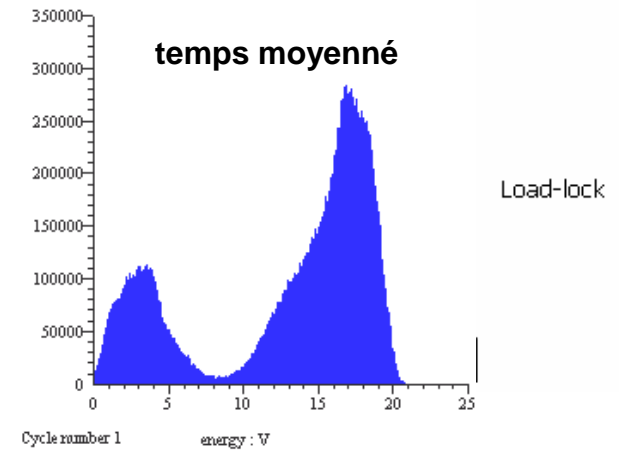
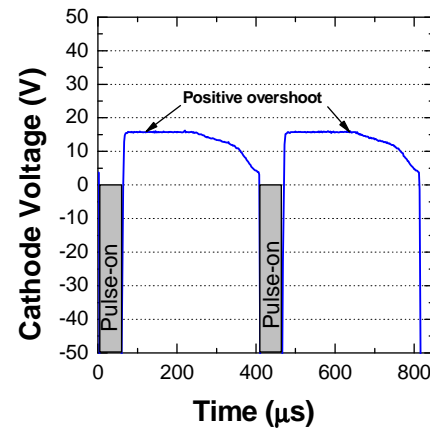
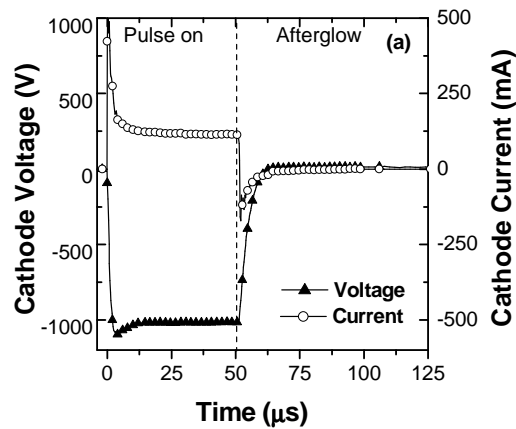
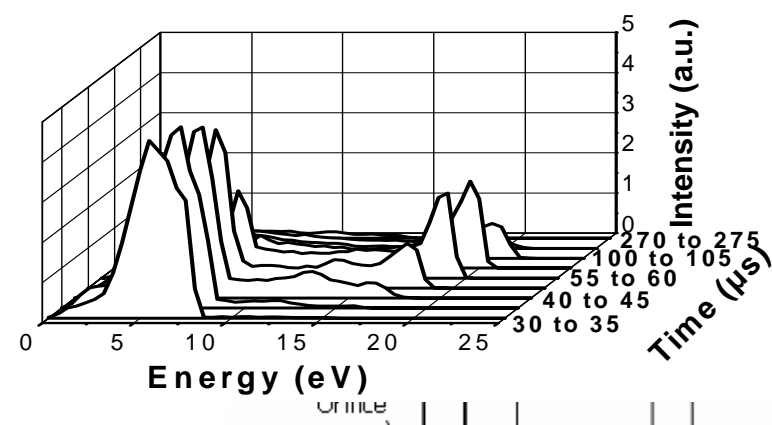
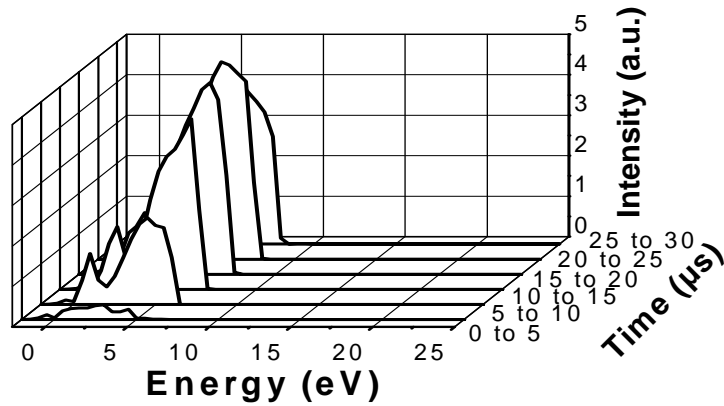
## Mesure résolue en temps: principe

- ❖ EQP commandé par signal TTL (+5V) synchronisé avec HV PLAD  
délai réglable 0-500 $\mu$ s  
porte minimale: 2 $\mu$ s



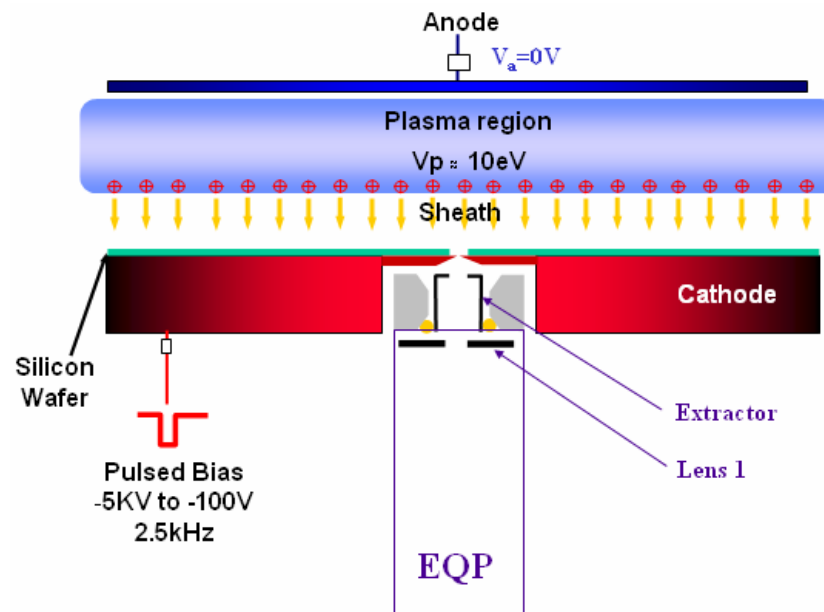
# Mesure résolue en temps: exemple

❖ Plasma Ar, 30 $\mu$ s "on", 2.5kHz, SM à l'anode (masse)



# Analyse des ions à la cathode

## ❖ Insertion du SM à la cathode (HV pulsée)

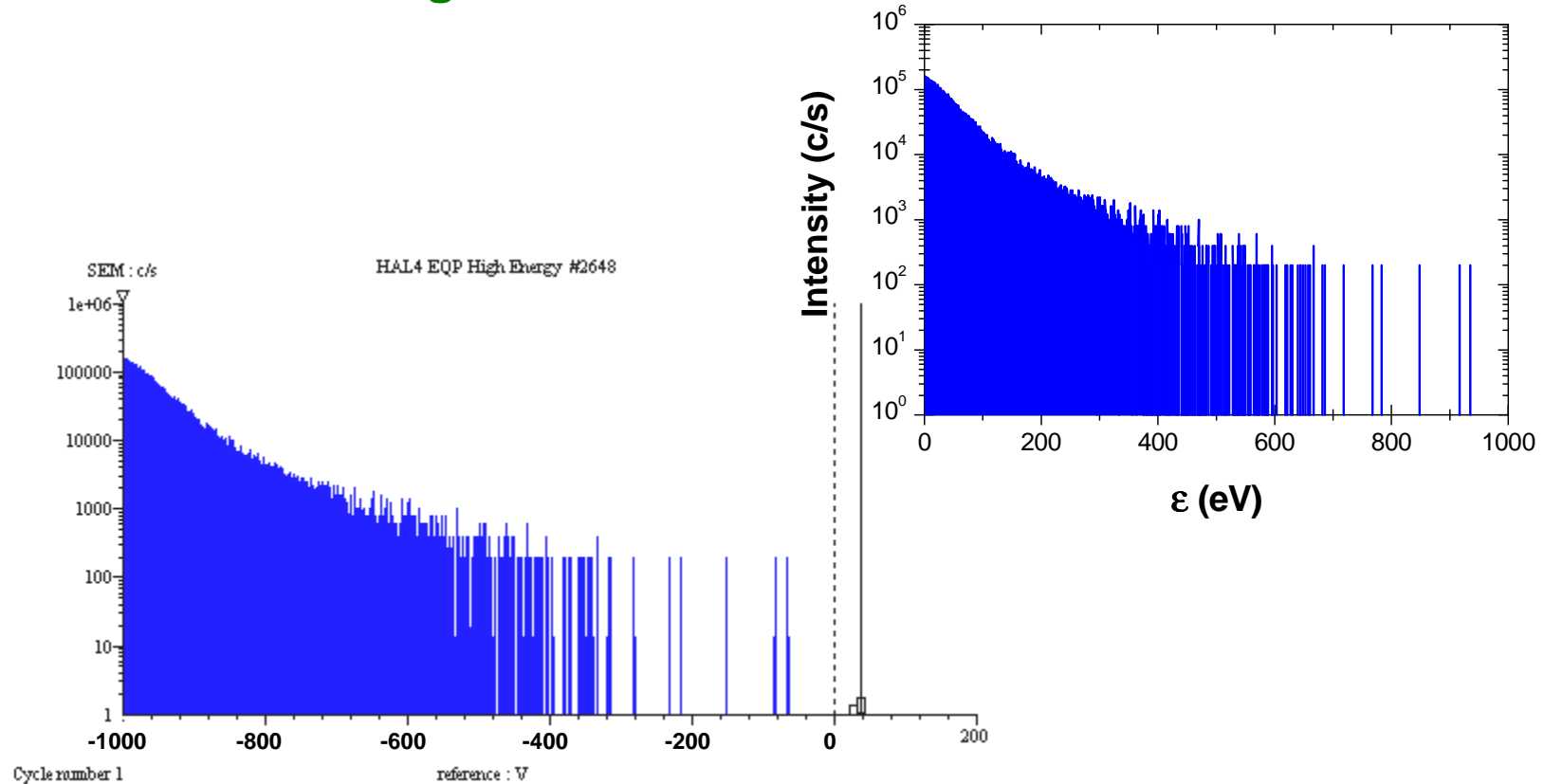


wafer Si percé (~2mm)  
orifice 75 $\mu$ m dans la cathode  
orifice extracteur 2mm

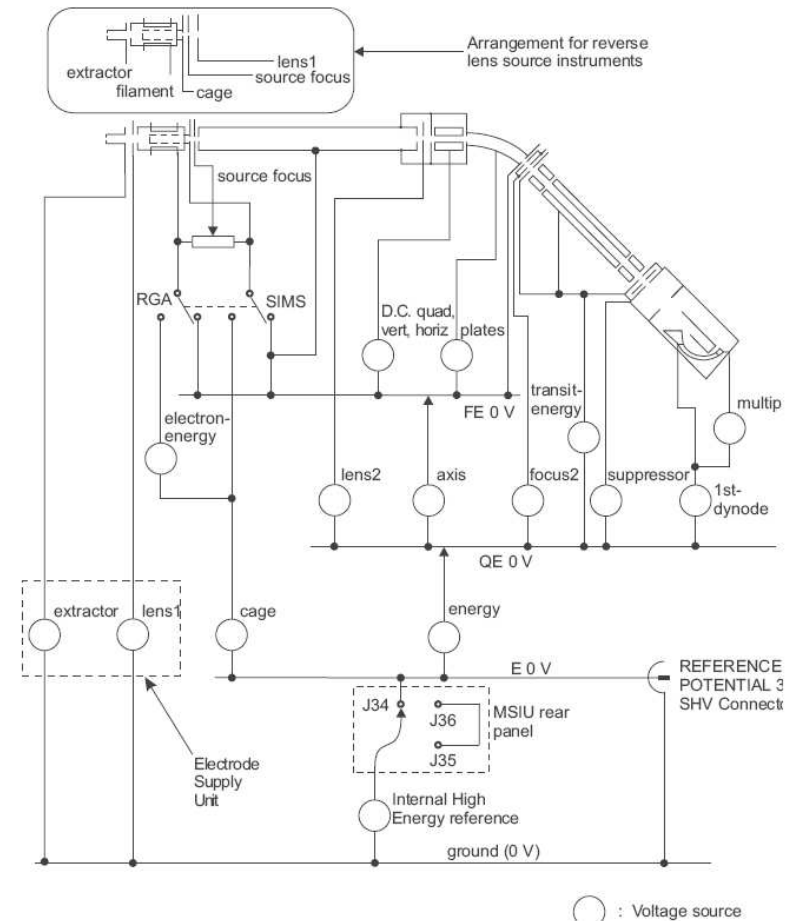
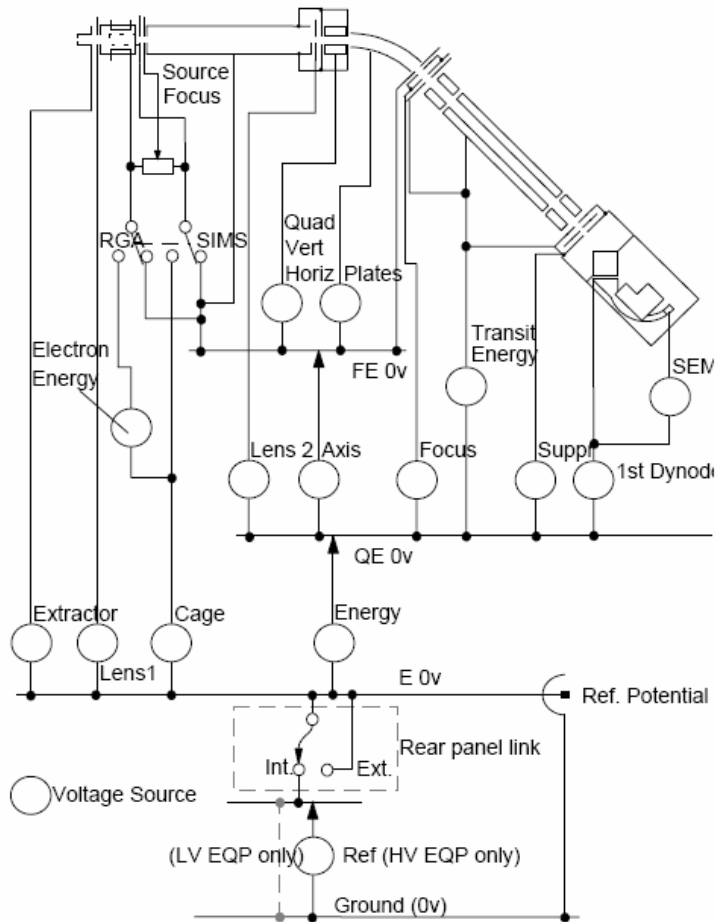
SM isolé de la cathode  
pompage différentiel

# Analyse des ions à la cathode

## ❖ Mesure de l'énergie des ions



# Analyse des ions à la cathode



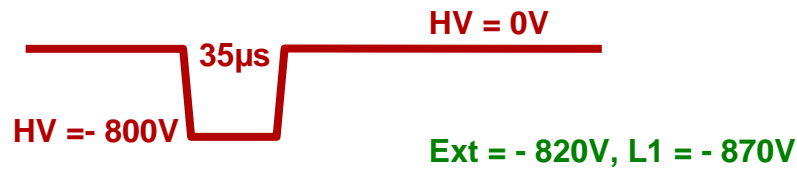
# Analyse des ions à la cathode

## ❖ Principe du balayage en énergie

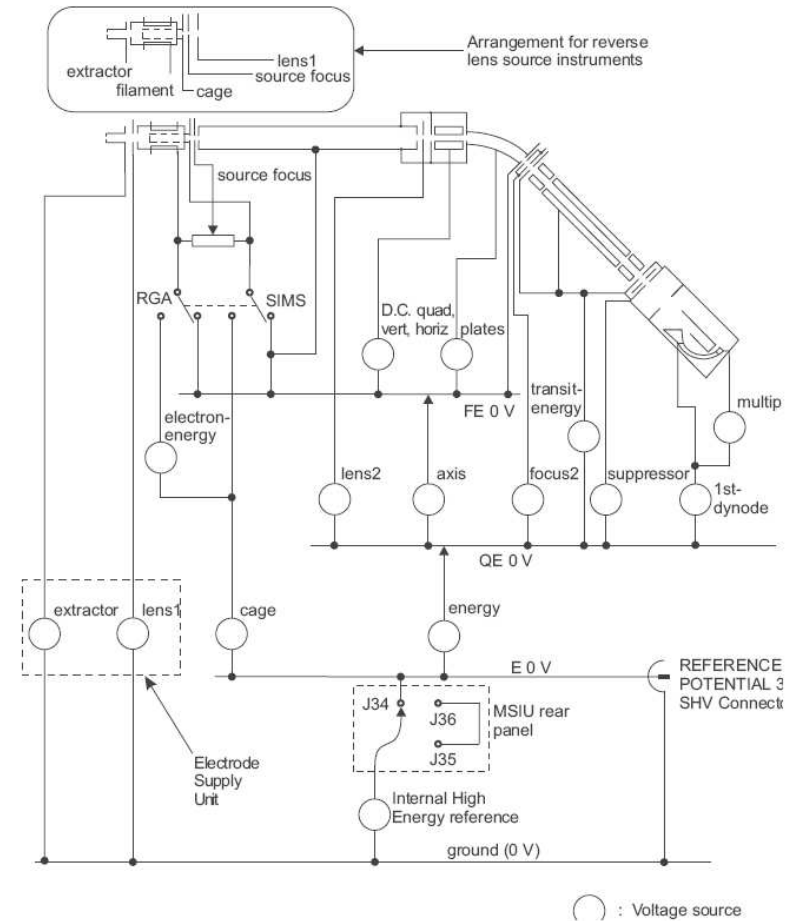
### Configuration 1

balayage par Ref Potential  $-1000/0V$

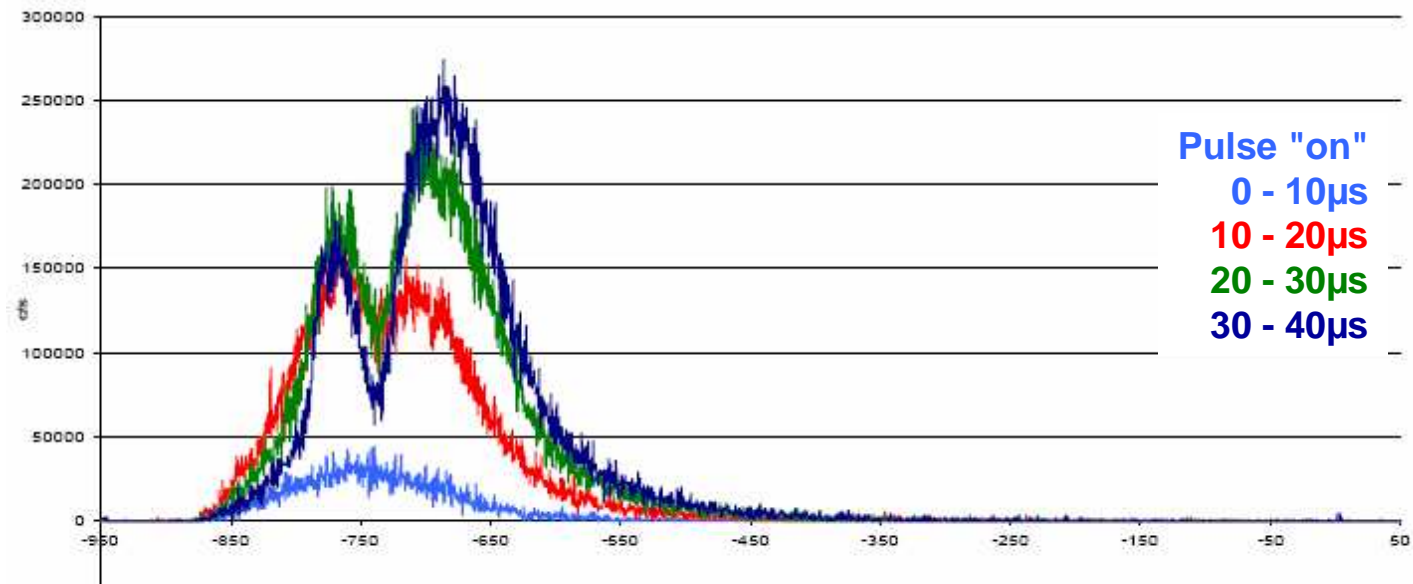
Ext et L1 indép<sup>t</sup> et constants



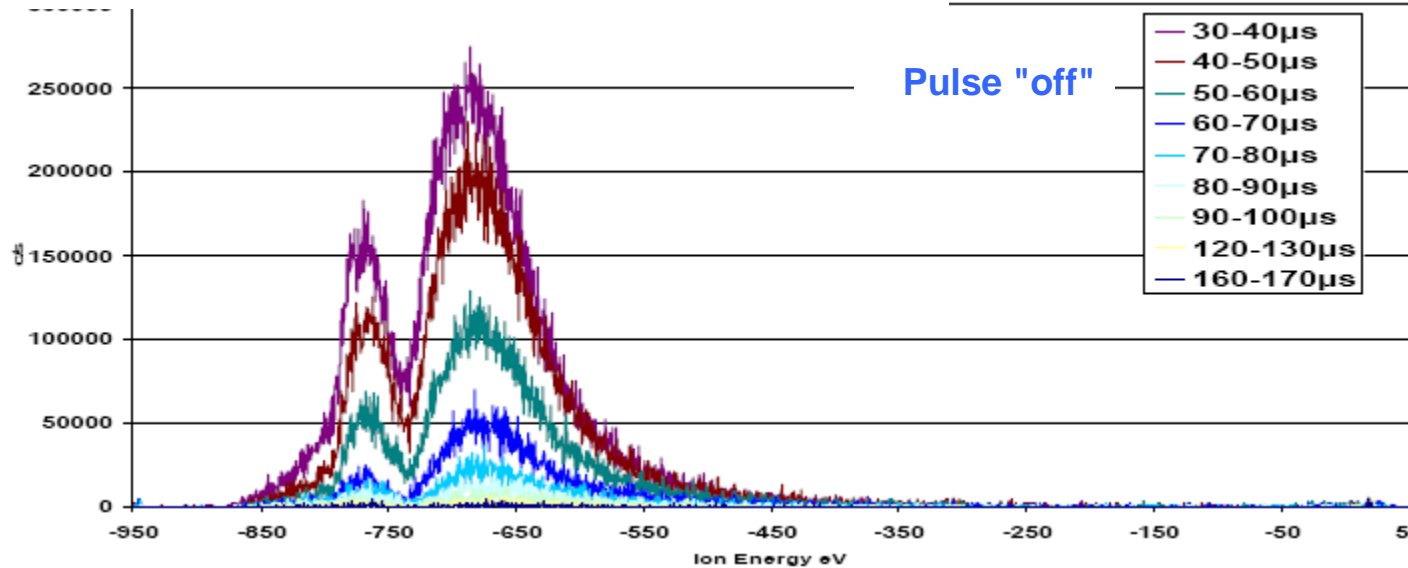
Résultat...





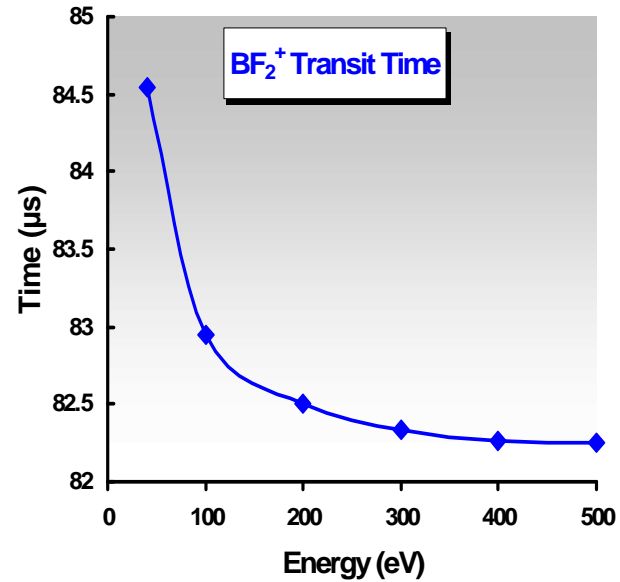


...des pic énergétiques pdt le temps "off" ...



## ❖ Temps de transit des ions

→ On ne peut pas séparer les ions de # énergies par le temps de vol



$\text{B}^+$	$\text{BF}^+$	$\text{BF}_2^+$	$\text{BF}_3^+$	$\text{B}_2\text{F}_3^+$	$\text{B}_2\text{F}_5^+$	
1.088	1.797	2.296	2.705	2.916	3.548	$\mu\text{s}$

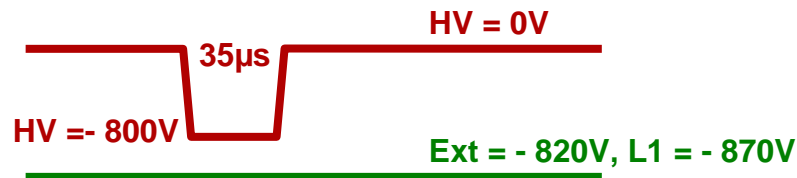
# Analyse des ions à la cathode

## ❖ Principe du balayage en énergie

### Configuration 1

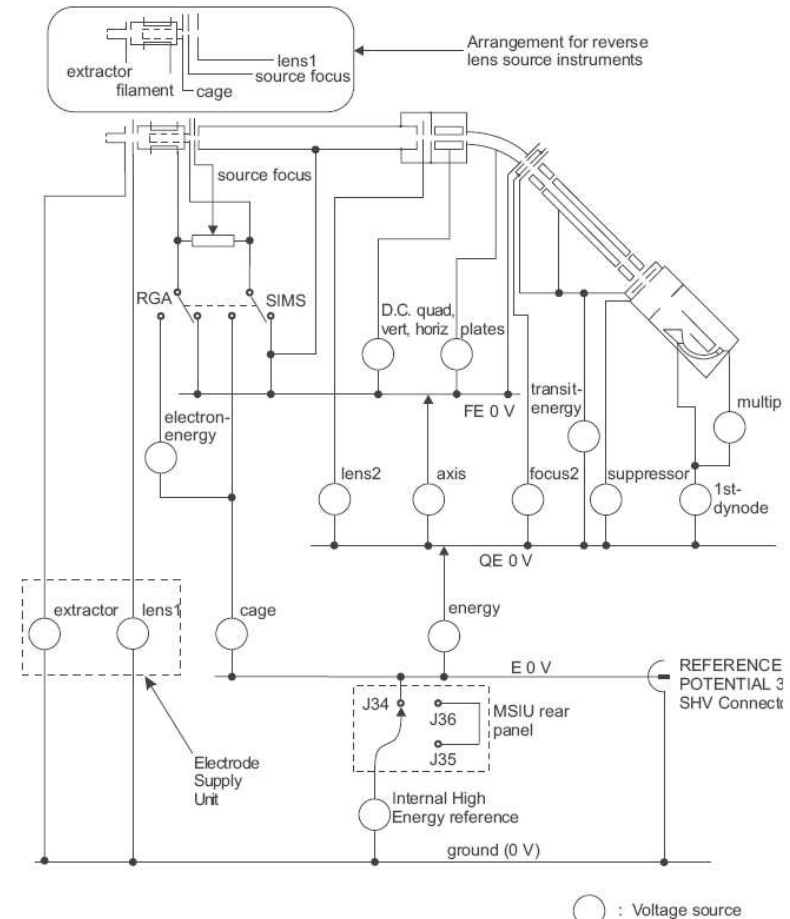
balayage par Ref Potential  $-1000/0V$

Ext et L1 indép<sup>t</sup> et constants



Résultat...

**Méthode inadaptée !**



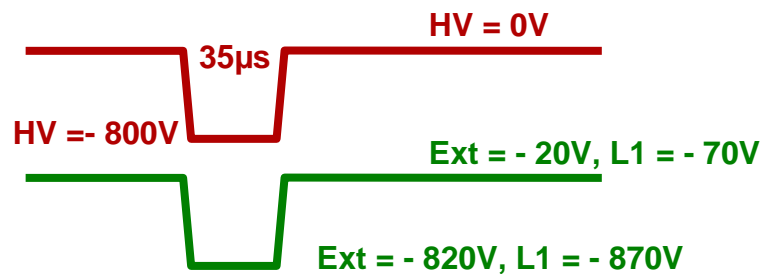
# Analyse des ions à la cathode

## ❖ Principe du balayage en énergie

### Configuration 1

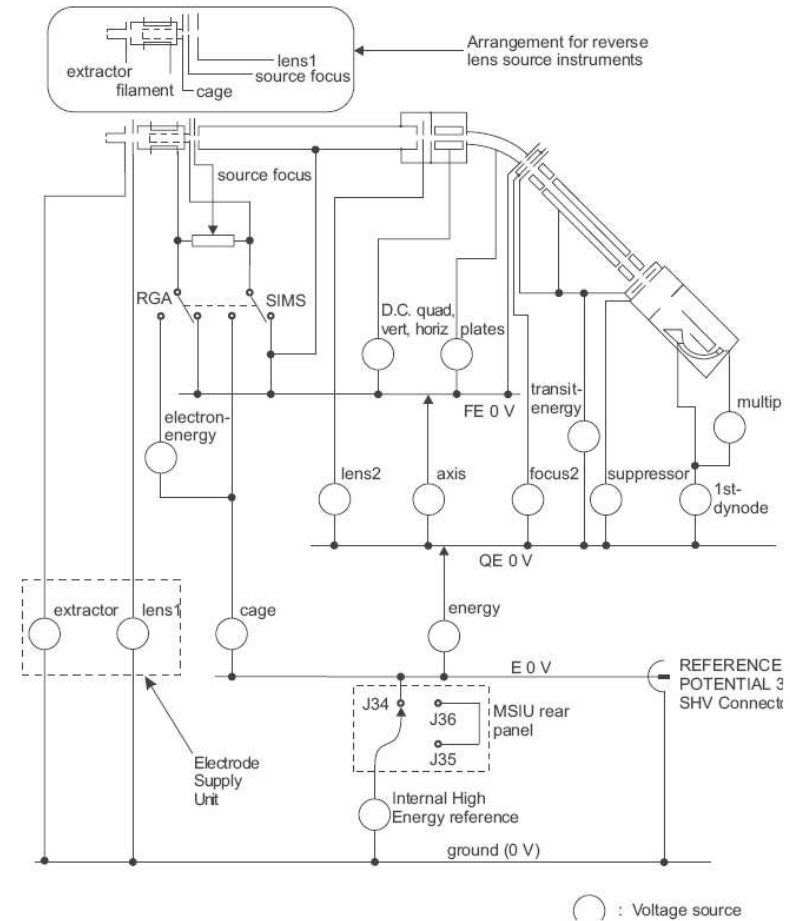
balayage par Ref Potential  $-1000/0V$

Ext et L1 pulsés (HV) + dc

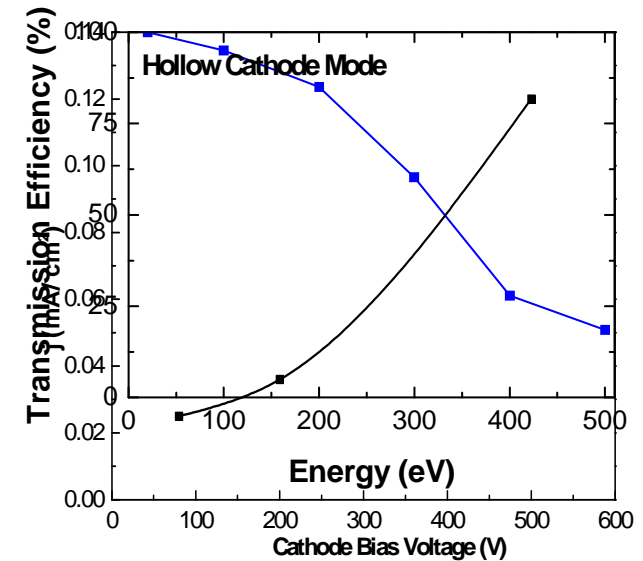
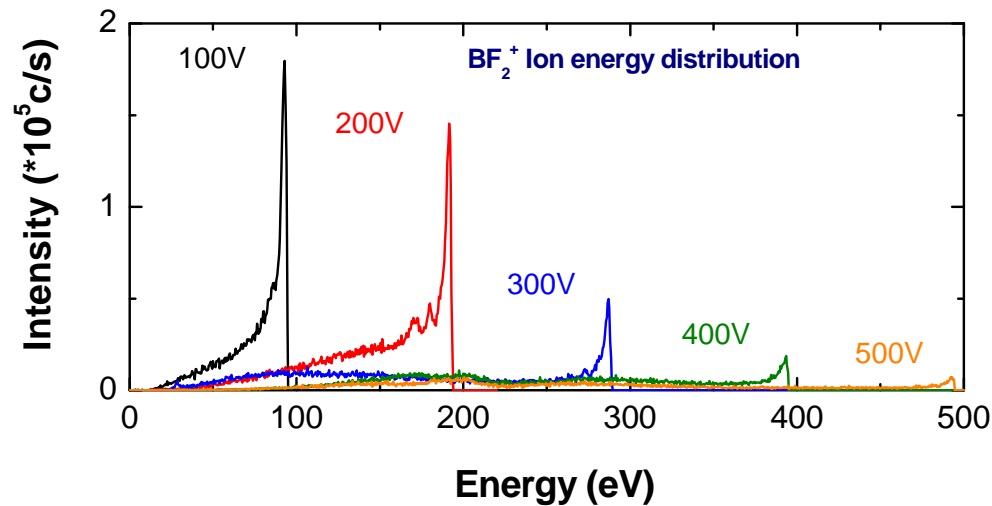


Résultat...

OK pour séparer "on" et "off" mais..



... une transmission qui chute avec l'énergie...



→ divergence du faisceau

parce que les ions sont décélérés après L1 et qu'il n'y a pas de lentille pour les focaliser sur L2

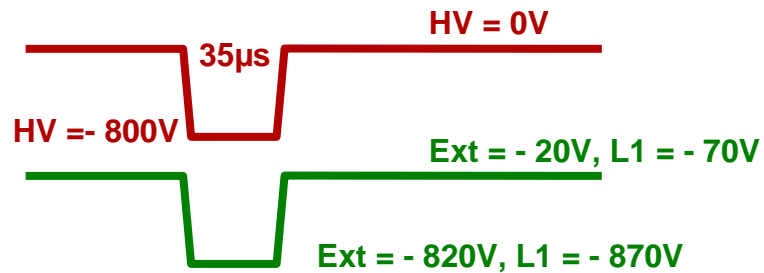
# Analyse des ions à la cathode

## ❖ Principe du balayage en énergie

### Configuration 1

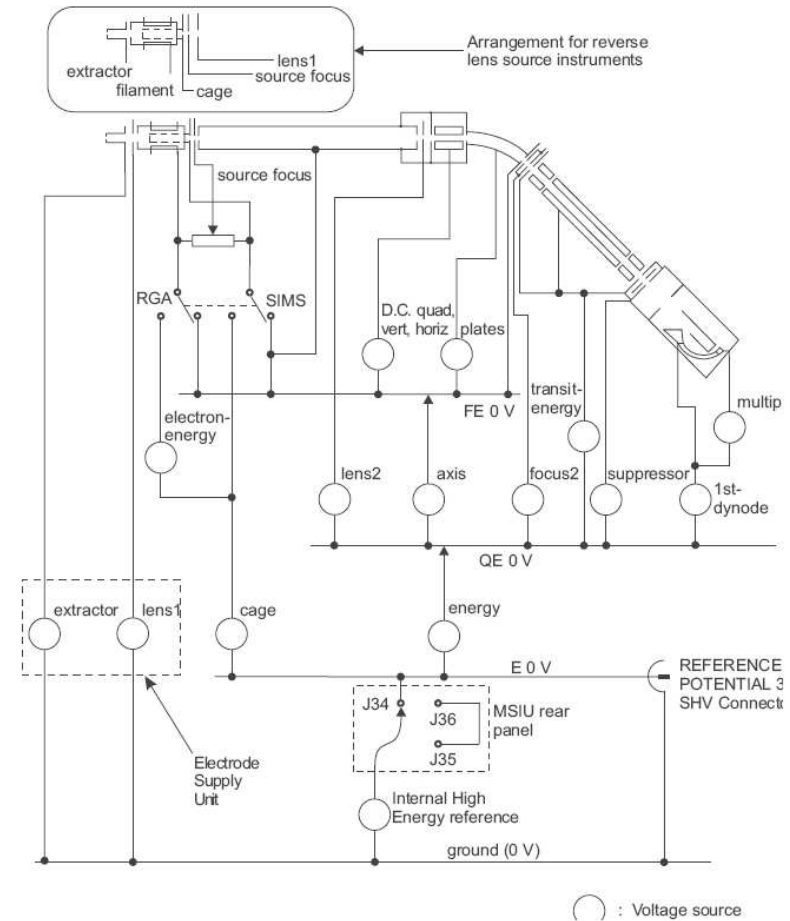
balayage par Ref Potential  $-1000/0V$

Ext et L1 pulsés (HV) + dc



Résultat...

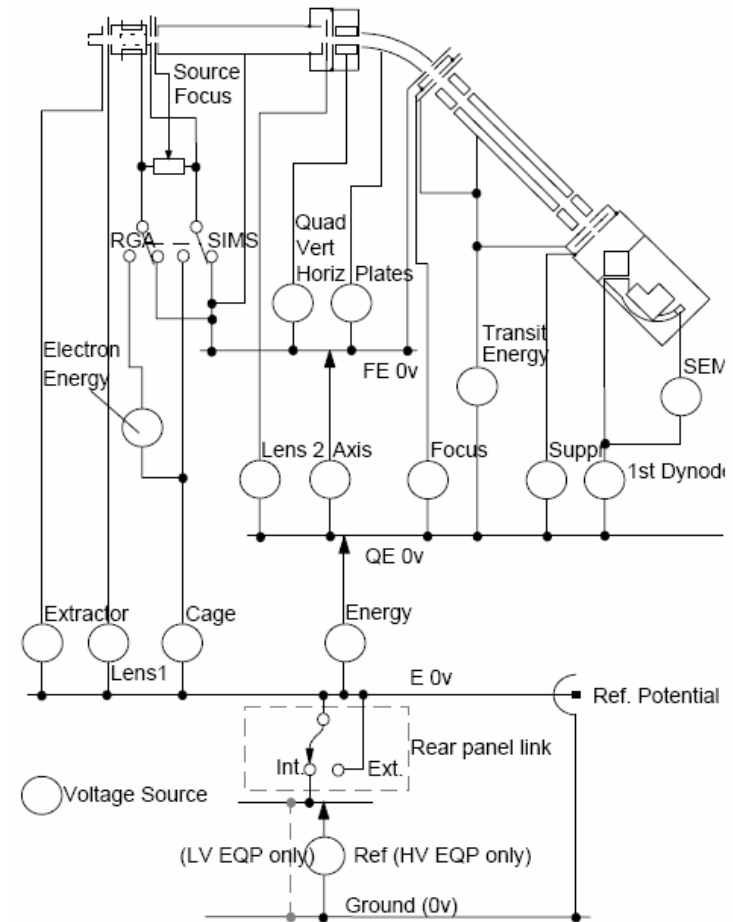
**Méthode inadaptée !**



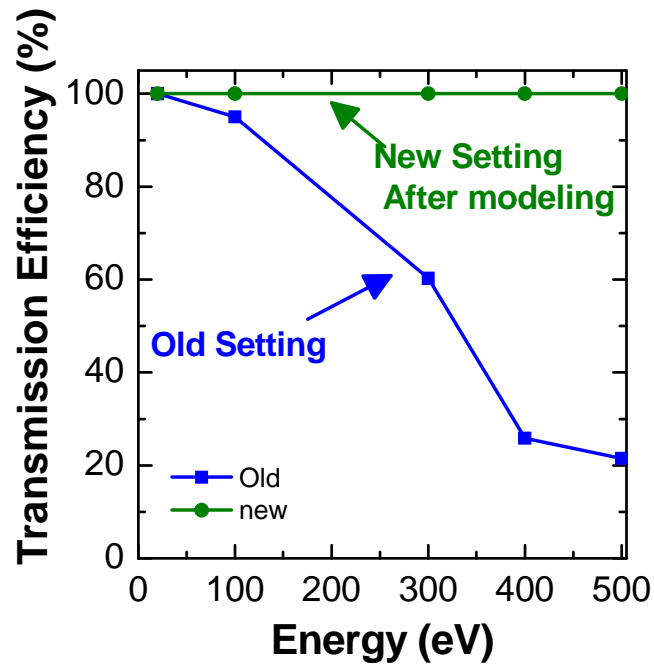
# Analyse des ions à la cathode

- ❖ Principe du balayage en énergie  
Configuration 2  
balayage par Ref Potential  $-1000/0V$   
...Ext et L1 reliés à Ref Potential

Résultat...

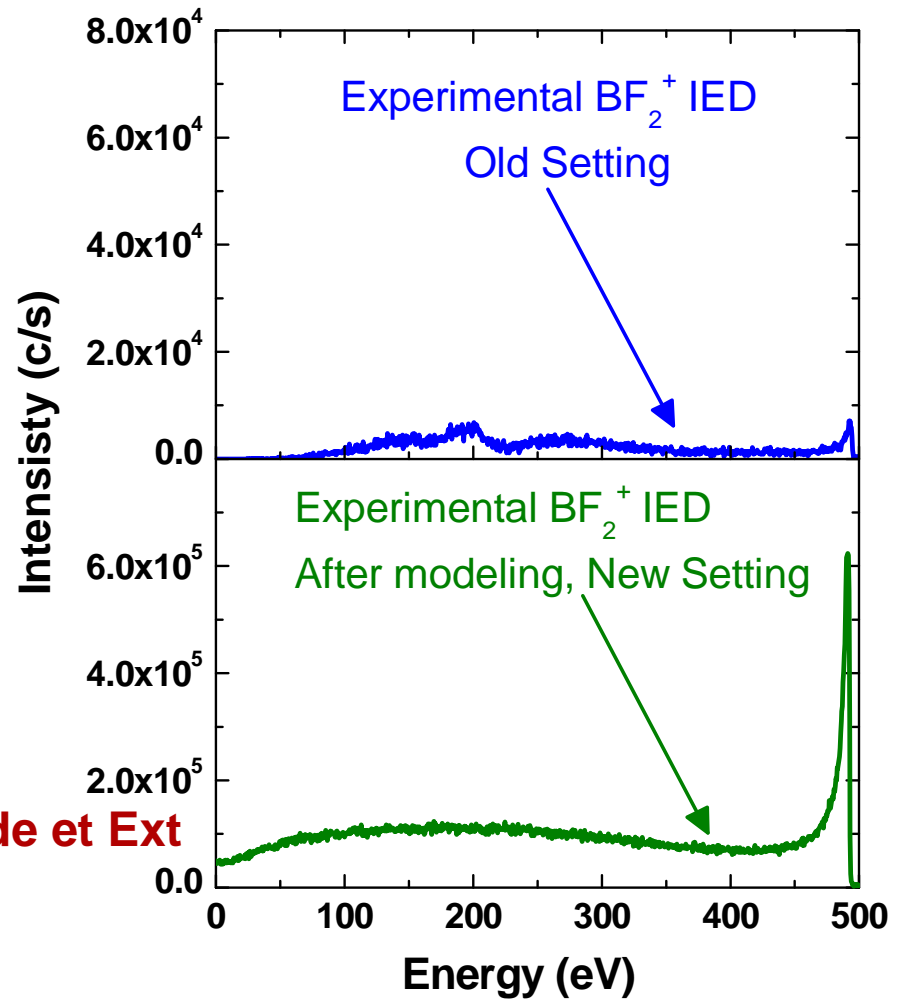


...transmission améliorée !



décélération des ions entre cathode et Ext

L1 permet de focaliser sur L2



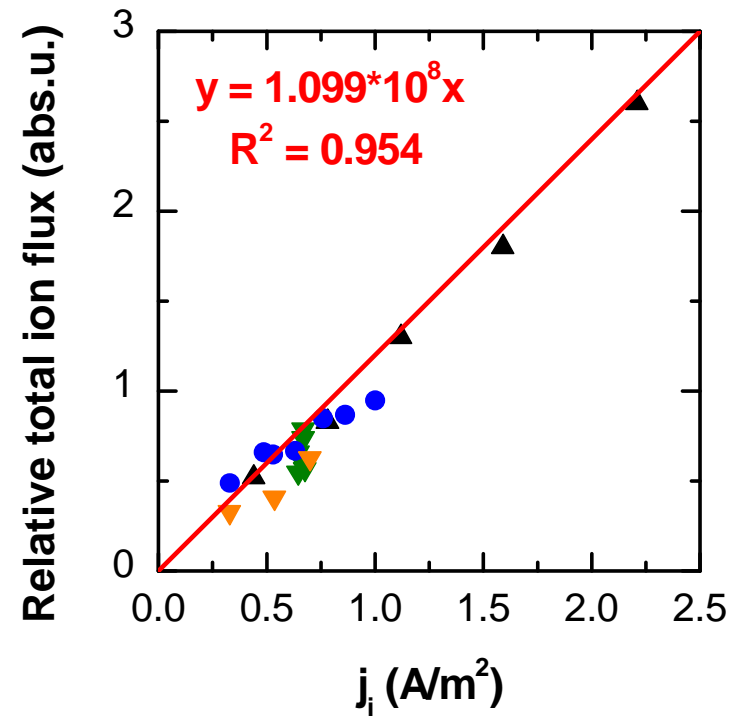


# Analyse des ions à la cathode

## ❖ "Validation"

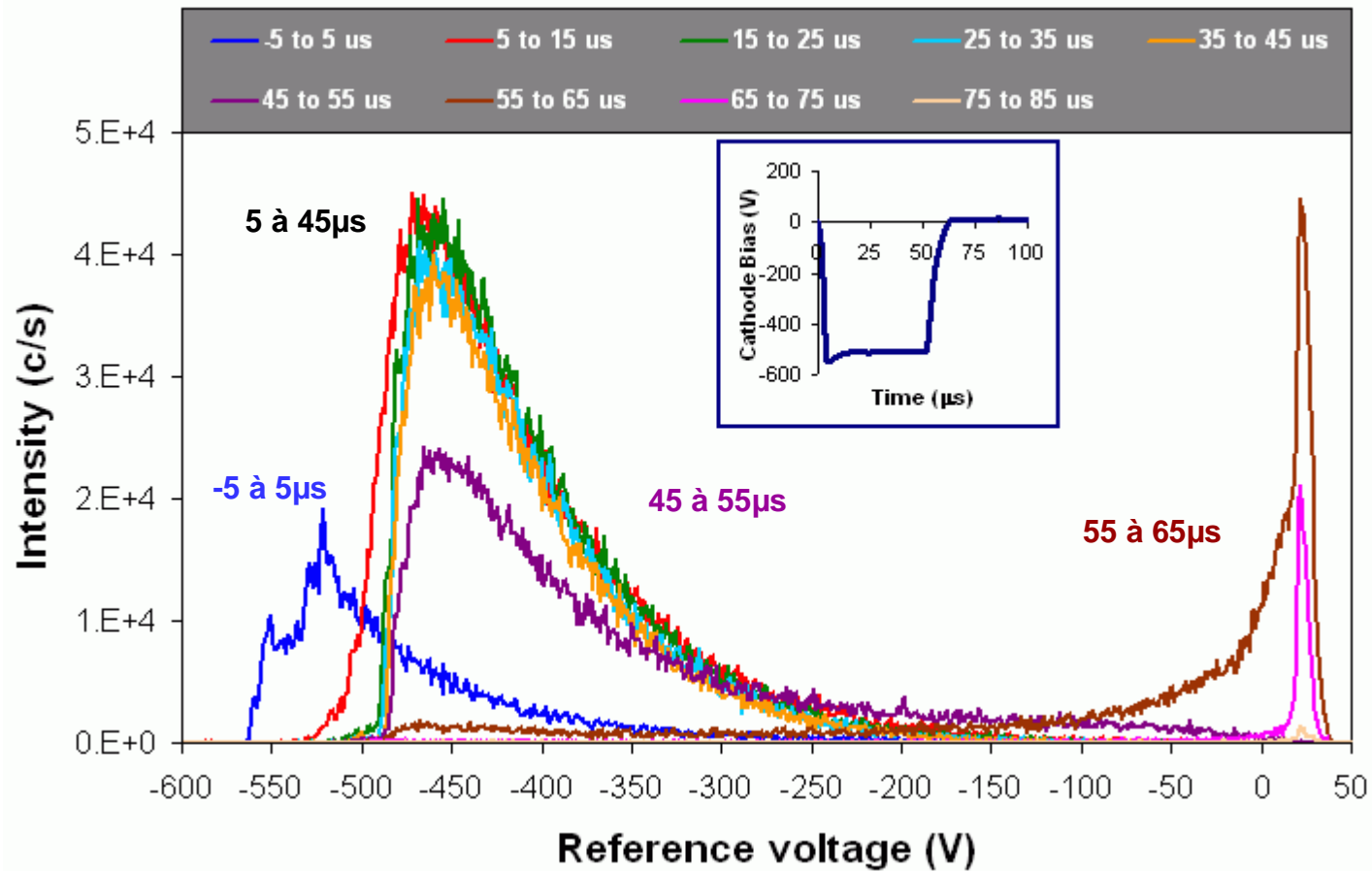
Conditions: pression  
fréquence  
HV

$$J = \frac{I_{cathode}}{A_{cathode} \cdot [1 + \gamma]}$$



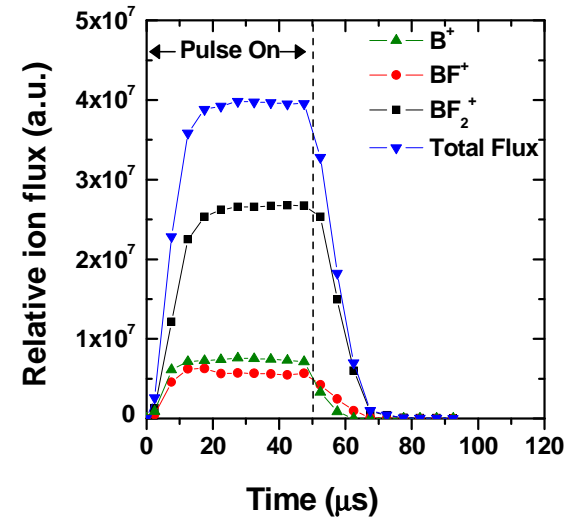
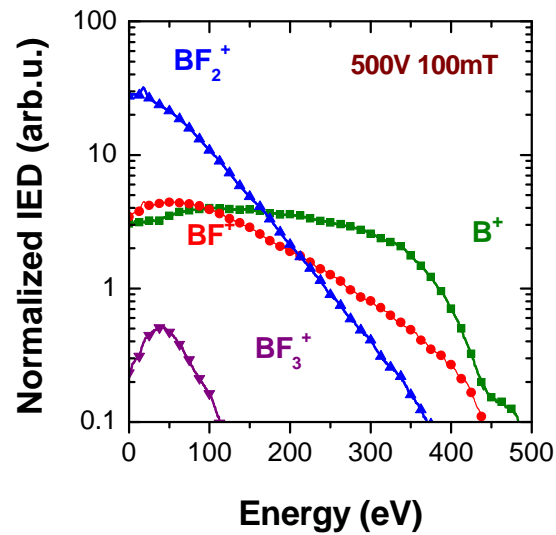
# Caractérisation du plasma $\text{BF}_3$

❖ Distribution au cours du pulse (HC1500V – 500V, 100mTorr, 50 $\mu\text{s}$ , 2.5kHz)



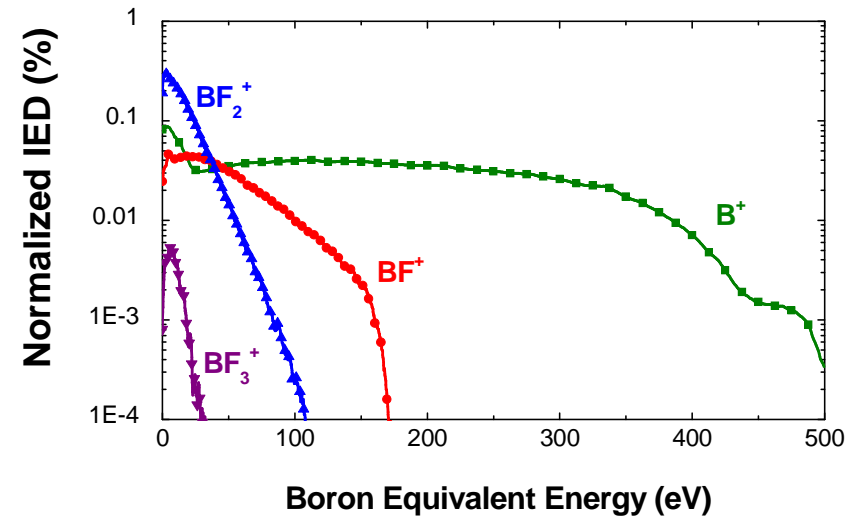
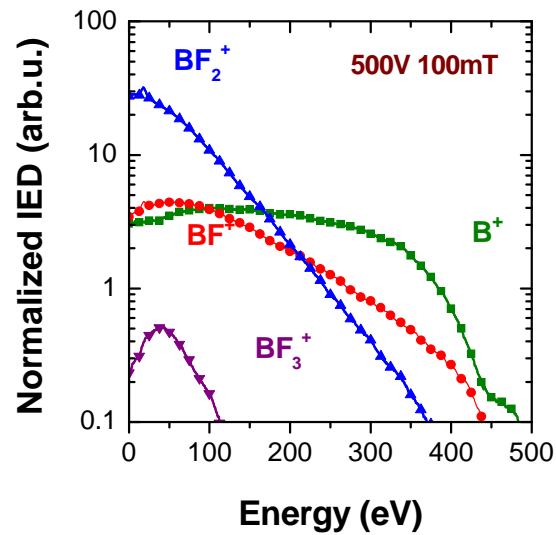
# Caractérisation du plasma $\text{BF}_3$

## ❖ Population relative (HC1500V – 500V, 100mTorr, 50 $\mu\text{s}$ , 2.5kHz)



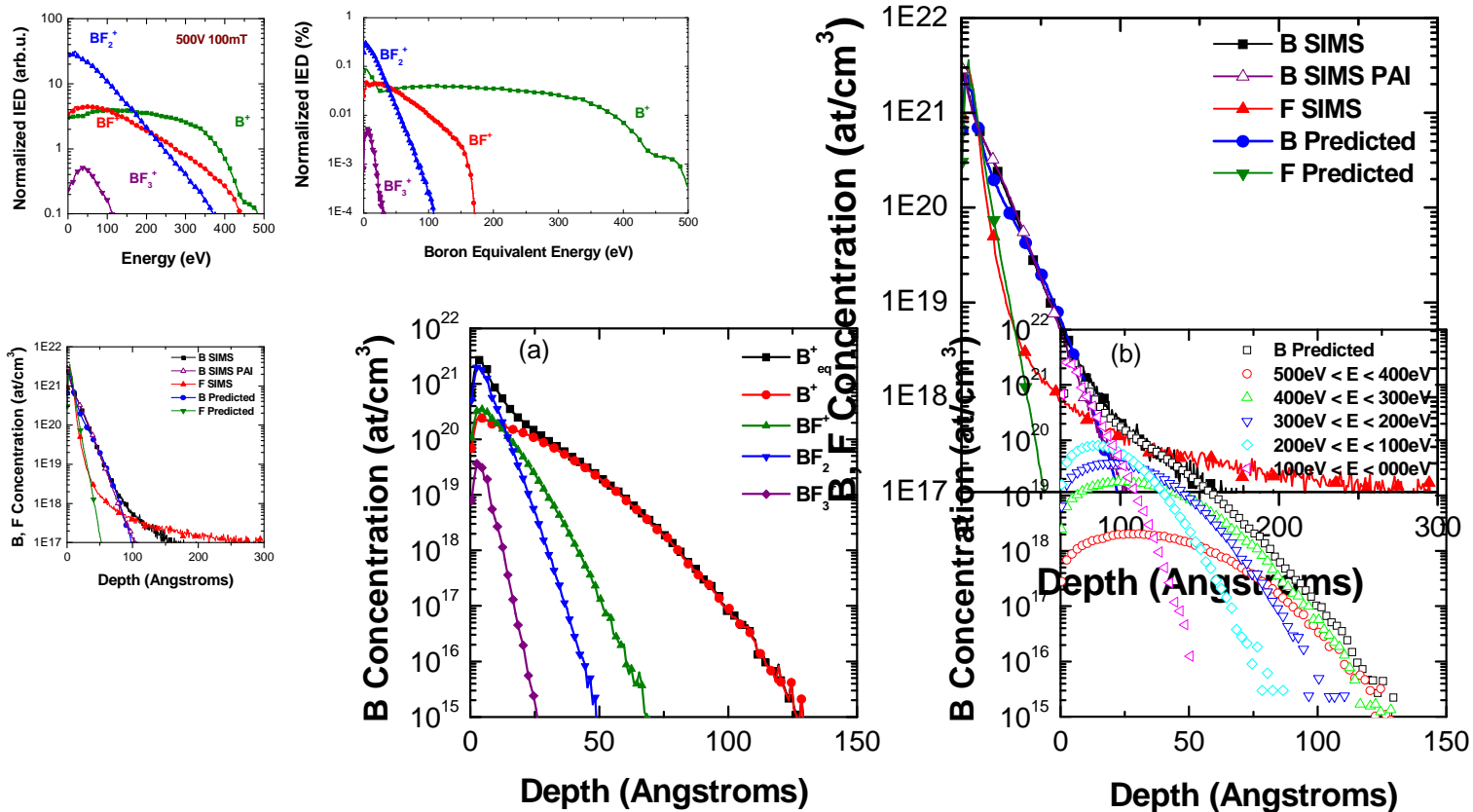
# Caractérisation du plasma $\text{BF}_3$

❖ Population relative → prédiction du dopage



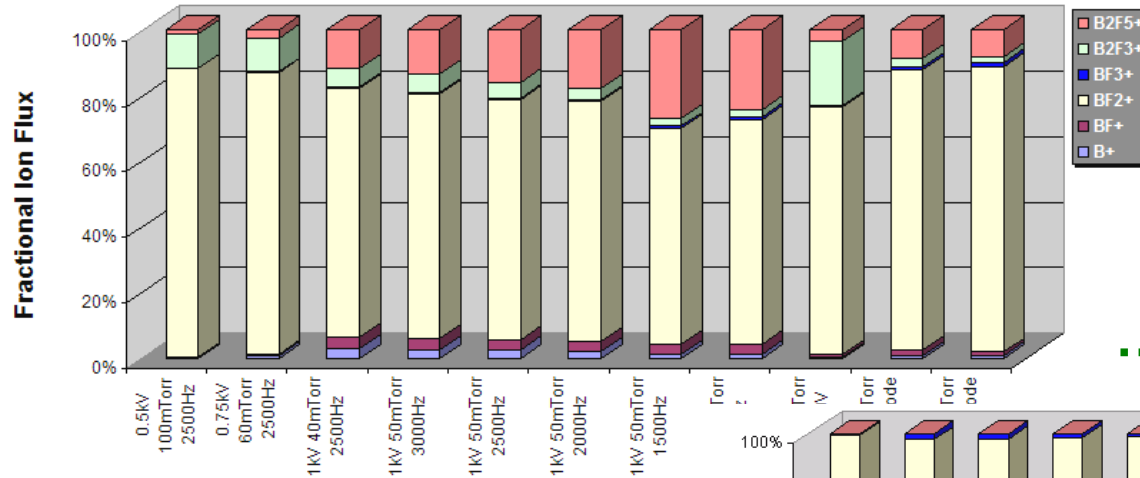
# Caractérisation du plasma $\text{BF}_3$

❖ Population relative → prédiction du dopage

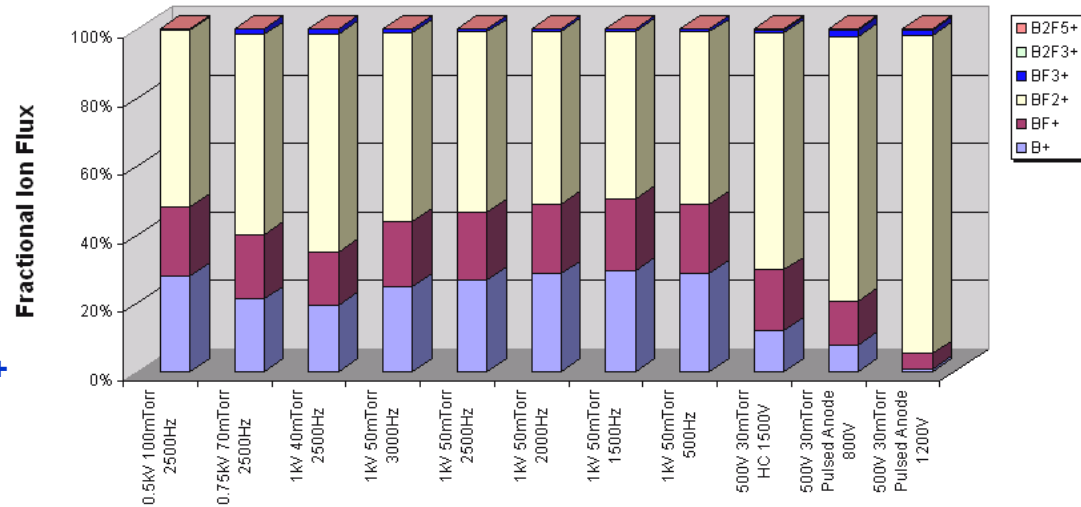


# Caractérisation du plasma BF<sub>3</sub>

## ❖ Population "on" à l'anode ...



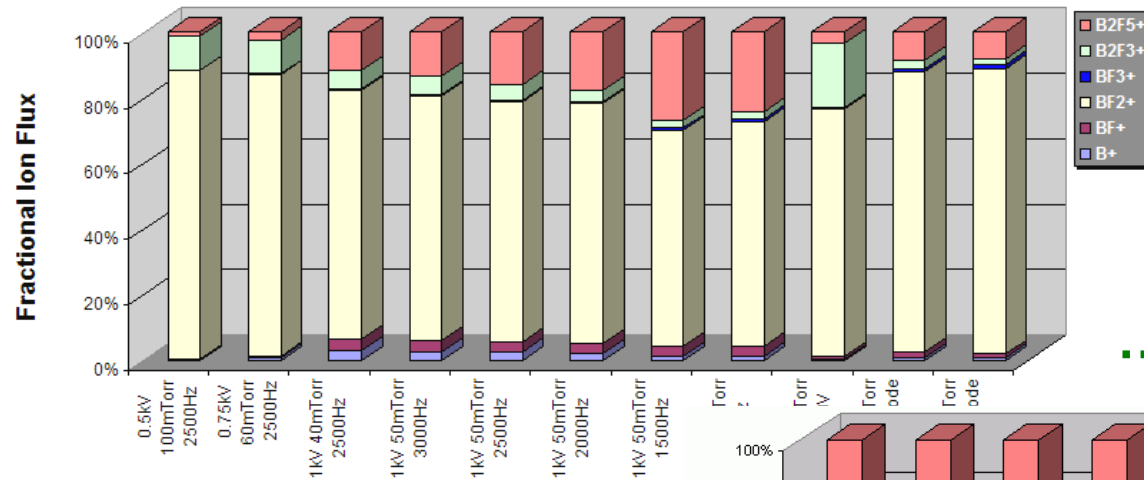
...et à la cathode



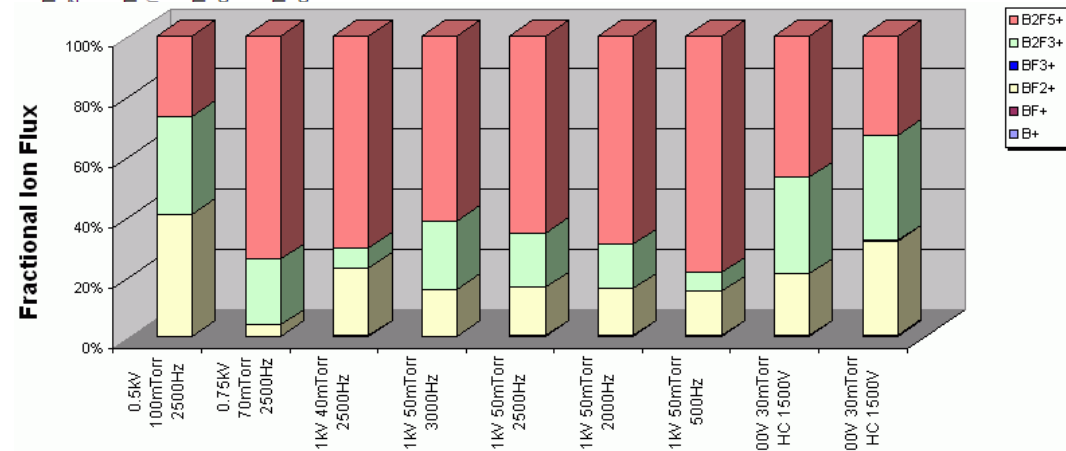
Pas de B<sub>x</sub>F<sub>y</sub> → destruction par collision  
Forte proportion de B<sup>+</sup> et BF<sup>+</sup>

# Caractérisation du plasma BF<sub>3</sub>

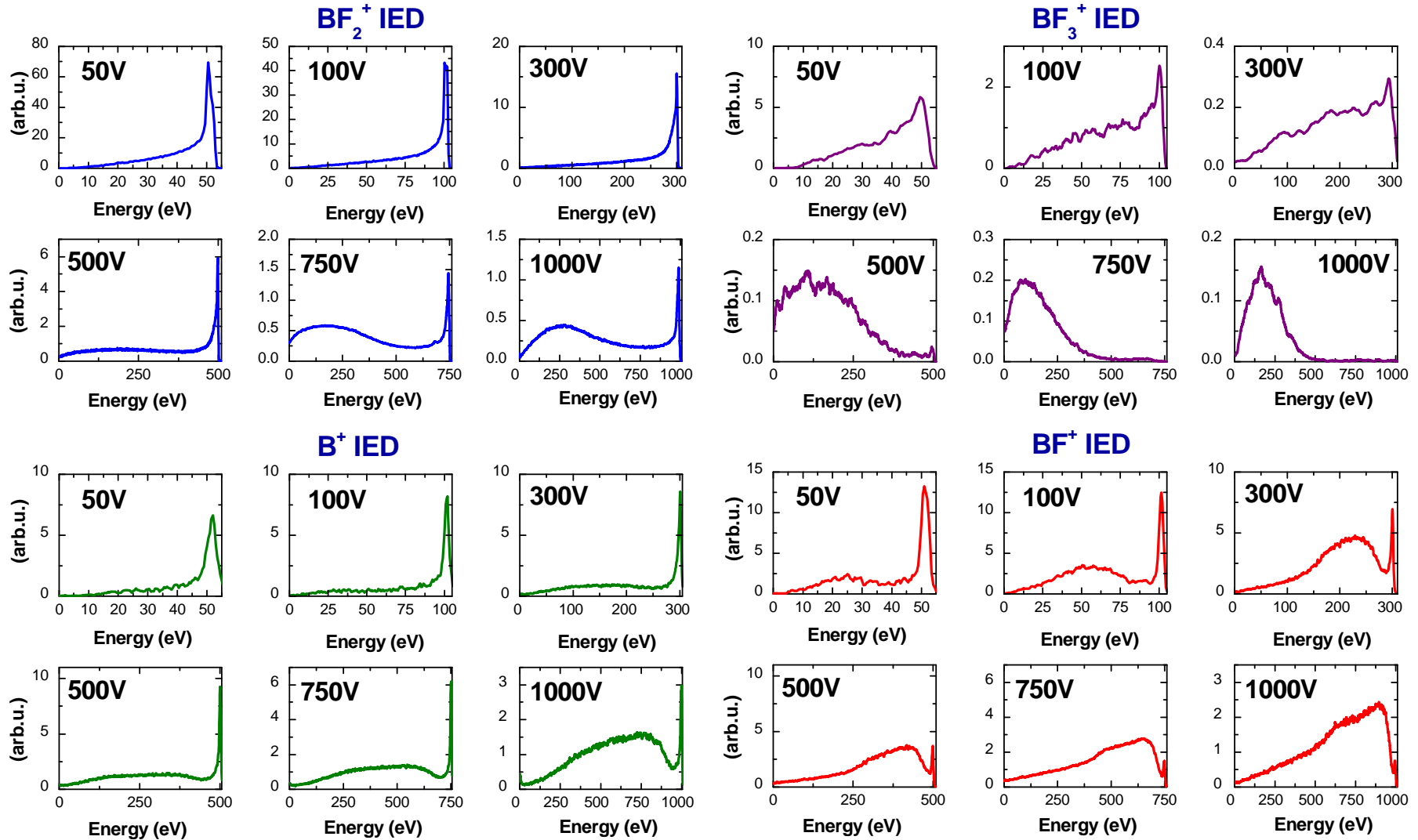
## ❖ Population à l'anode "on"...



...et "off"



# Distribution en énergie à la cathode (HC 1500V 30mTorr)





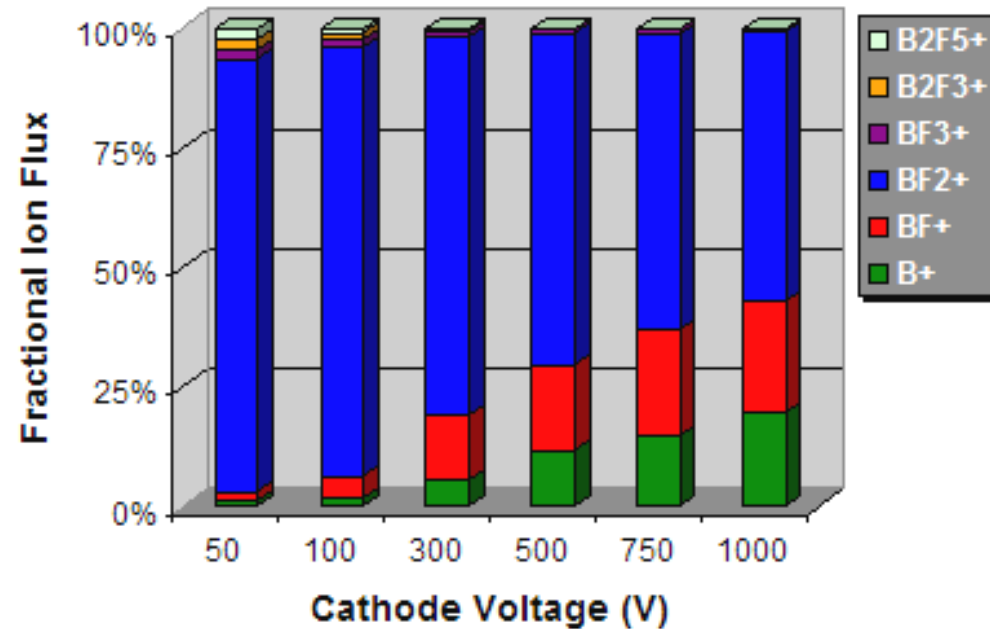
## Distribution en énergie à la cathode (HC 1500V 30mTorr)

HV ↗

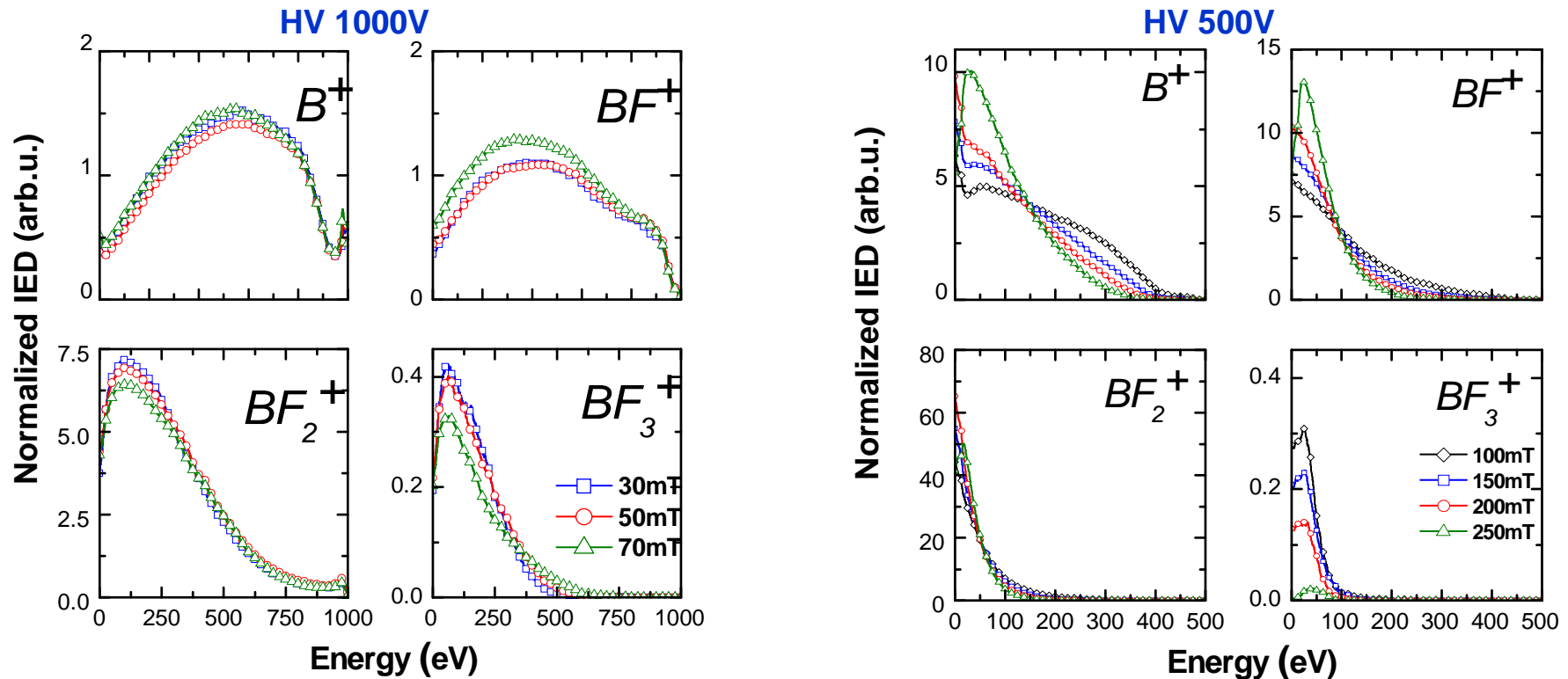
%  $\text{BF}_2^+$  ↘

%  $\text{BF}^+$  et  $\text{B}^+$  ↗

→ processus collisionnels



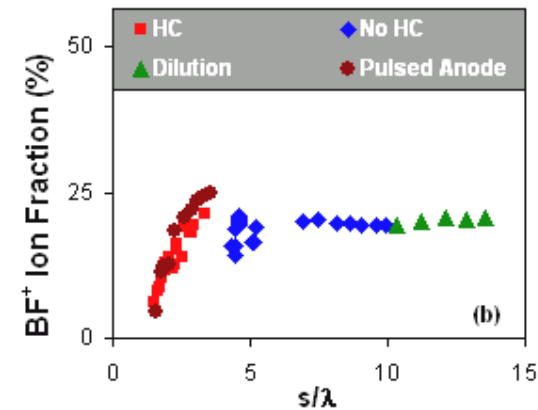
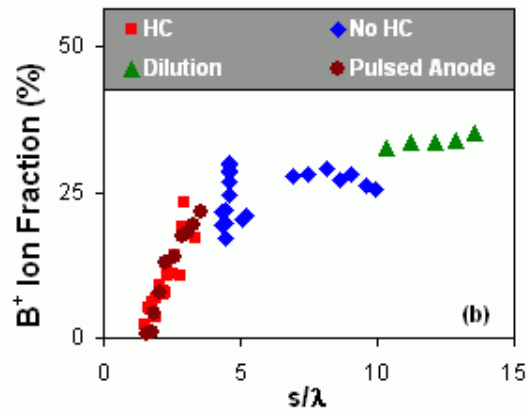
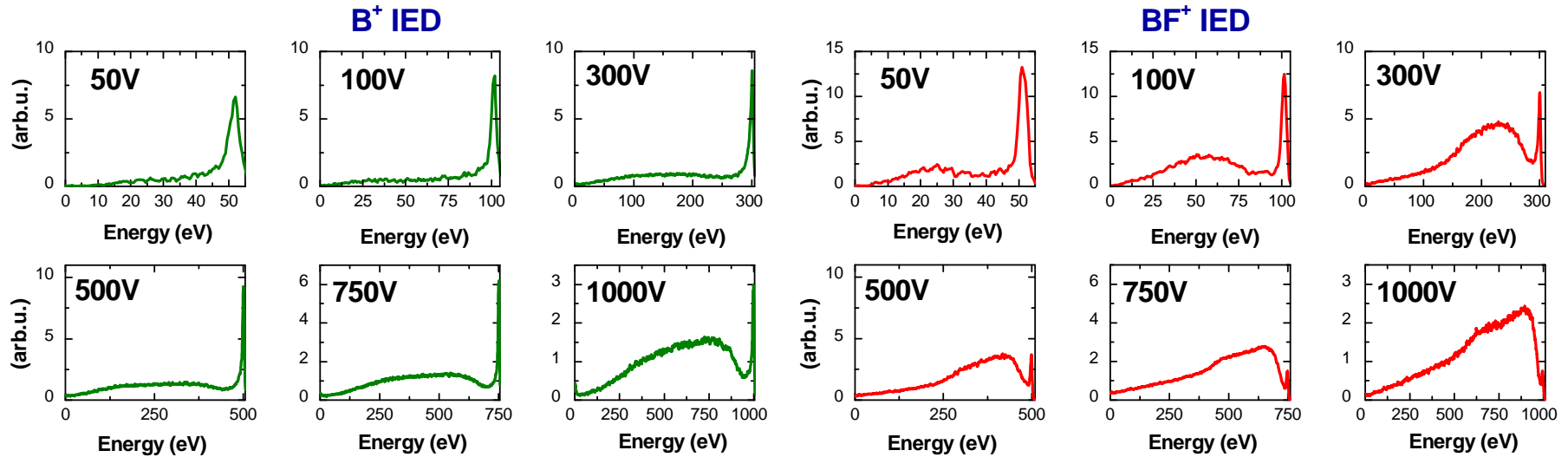
## Distribution en énergie à la cathode (sans HC)



❖ Avec HC et 300V → Ne  $\sim 6 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$ , peu de collisions

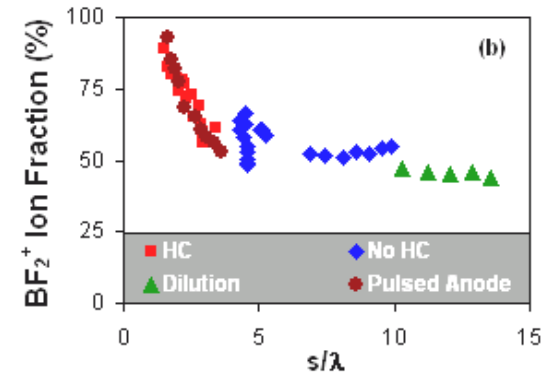
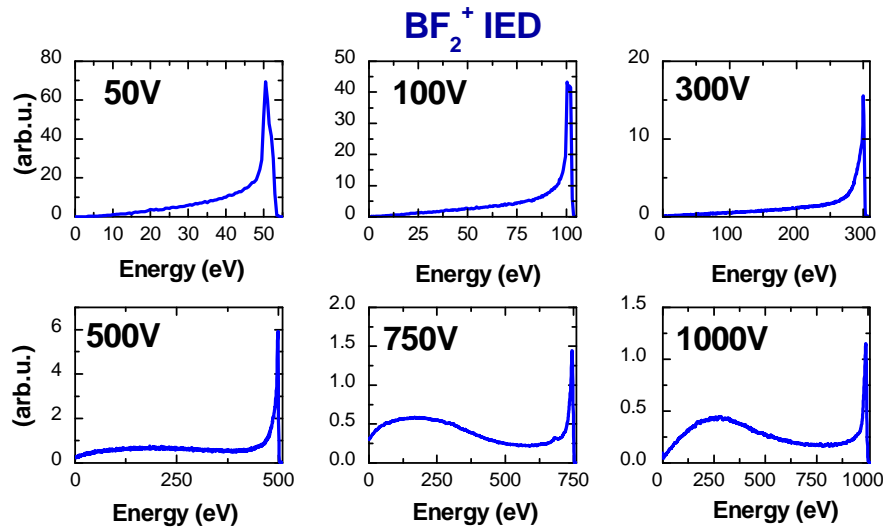
❖ Sans HC et 1kV → Ne  $\sim 2 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$ , plus de collisions

# Distribution en énergie à la cathode B<sup>+</sup> et BF<sup>+</sup>



**Ions faible énergie:**  $B_x F_y^+ + M \rightarrow BF^+ + \dots \text{ou } B^+ + \dots$

## Distribution en énergie à la cathode $\text{BF}_2^+$



Peu de collisions  $\rightarrow$  élargissement par transfert quantité mv

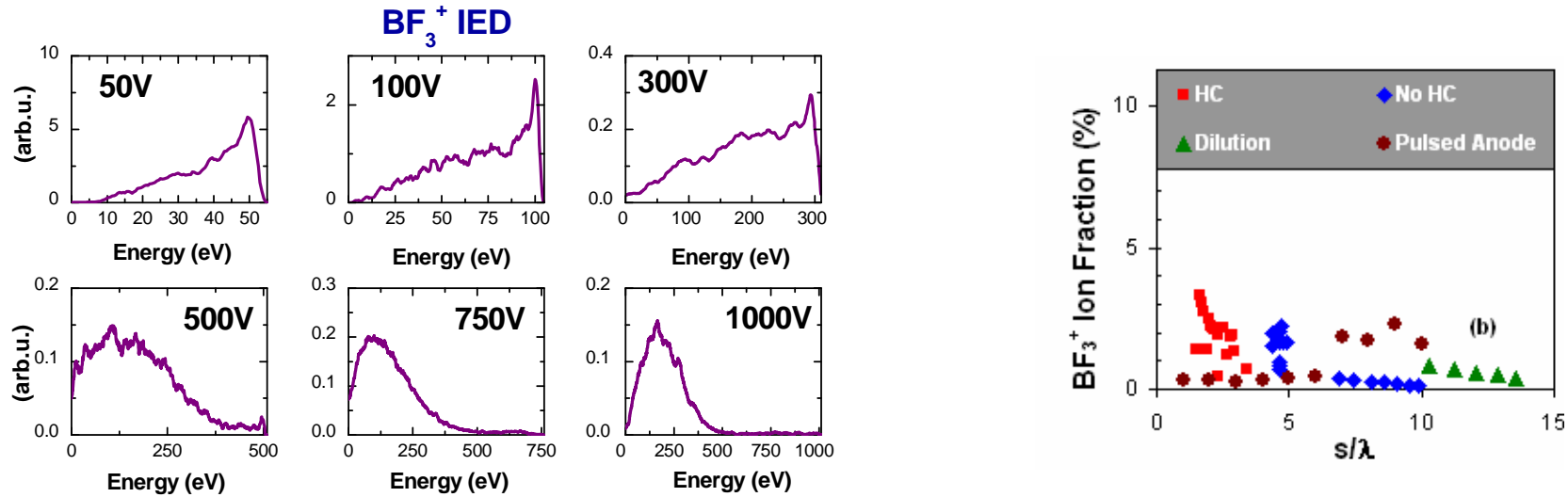
Qq collisions  $\rightarrow$  2<sup>ème</sup> pic ? ~~dissociation d'ions lourds~~

~~ionisation de  $\text{BF}_3$~~

collision + échange charge

Bcp de collision  $\rightarrow$  échange de charge (Davis Vandarslice)

# Distribution en énergie à la cathode $\text{BF}_3^+$



Dès qu'il y a des collisions → forme typique d'échange de charge