

La désorption moléculaire stimulée par les ions et l'instabilité du vide sur les accélérateurs

Bruno Mercier

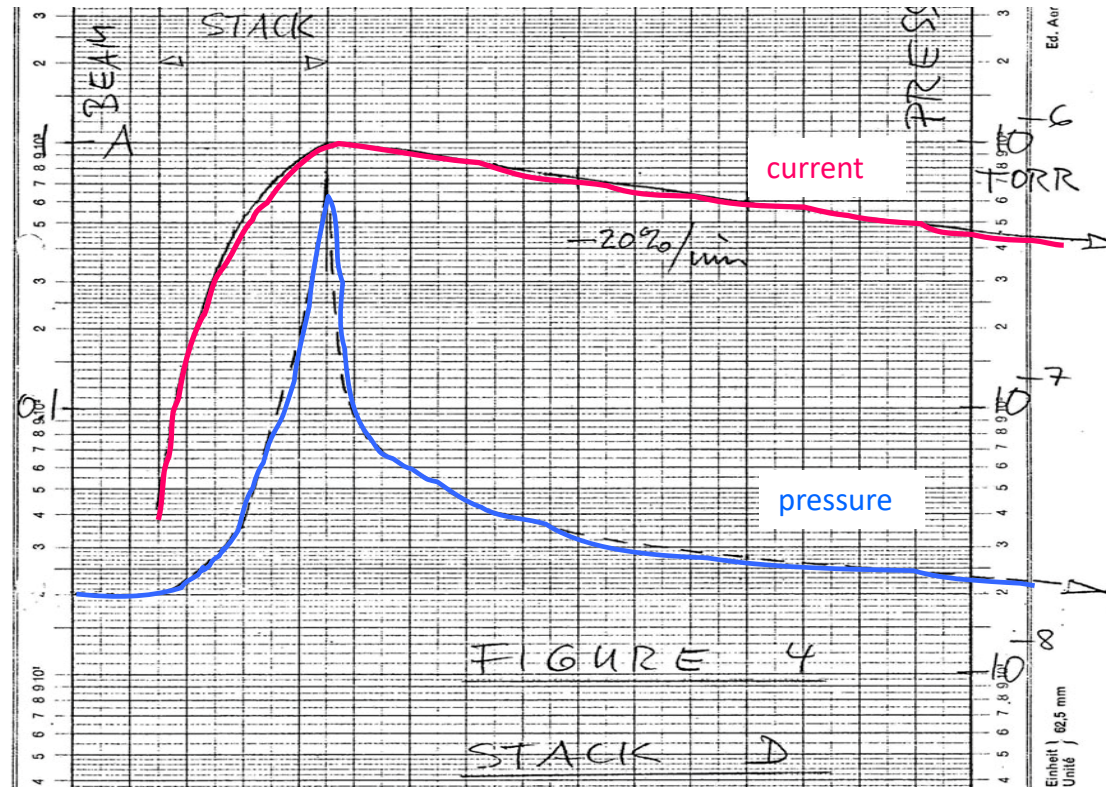
Journée ANDROMEDE du 18 janvier 2022



➤ Le phénomène

Accélérateurs à hauts courants : ISR, SNS, LHC

- Augmentation du courant de faisceau à 1 A
- augmentation de pression jusqu' 10^{-6} Torr (x 50 en une minute)
- Pertes de faisceau



First documented pressure bump in the ISR

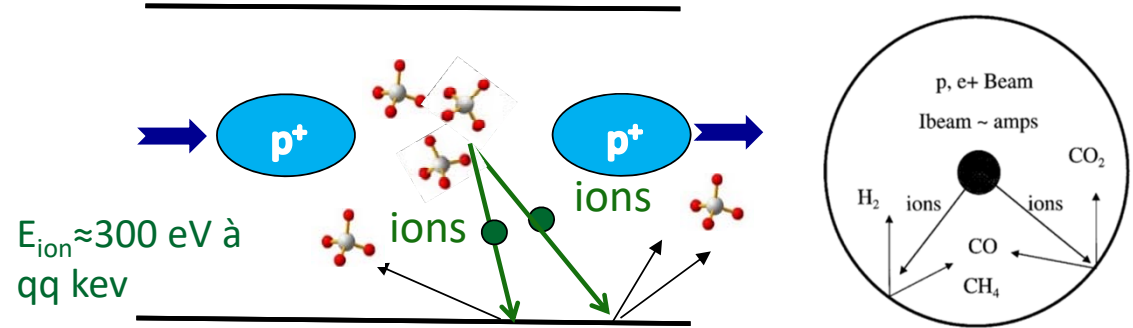
E. Fischer/O. Gröbner/E. Jones 18/11/1970

La désorption moléculaire stimulée par les ions

(Ion Stimulated Desorption ISD)

Le mécanisme:

- Ionisation du gaz résiduel par le faisceau
- Accélérations de ces ions par le champ électrique du faisceau (e+,p)
- L'Impact ions surface engendre une désorption moléculaire

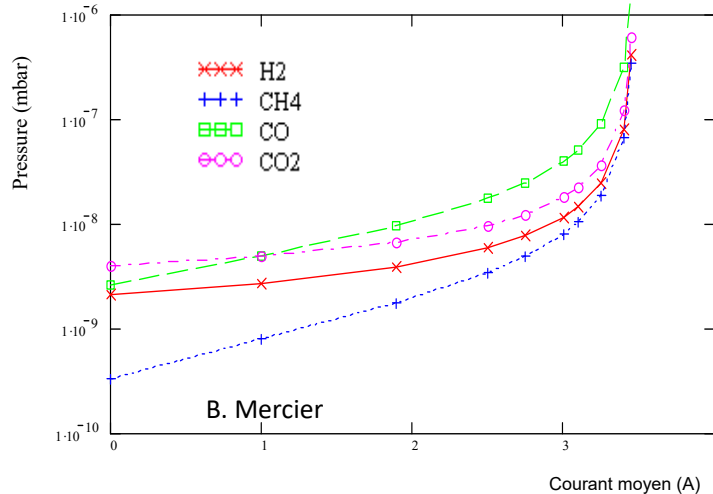


Instabilité de la pression:

la pression diverge fortement pour un courant moyen critique I_{crit}

• Accélérateurs à haut courant (& haute énergie) : ISR, SNS, LHC...FCC

Exemple: anneau de collision e+ HER (SuperB) simulation



$$I_{crit} \approx \frac{1 eS}{\eta \sigma}$$

Capacité de pompage effective

Section efficace d'ionisation
(Attention aux gaz lourds)

Rendement de désorption ionique

$$\eta = \frac{\text{molécules désorbées}}{\text{Incident ions}}$$

La désorption moléculaire stimulée par les ions

➤ Un paramètre important

Rendement de désorption ionique

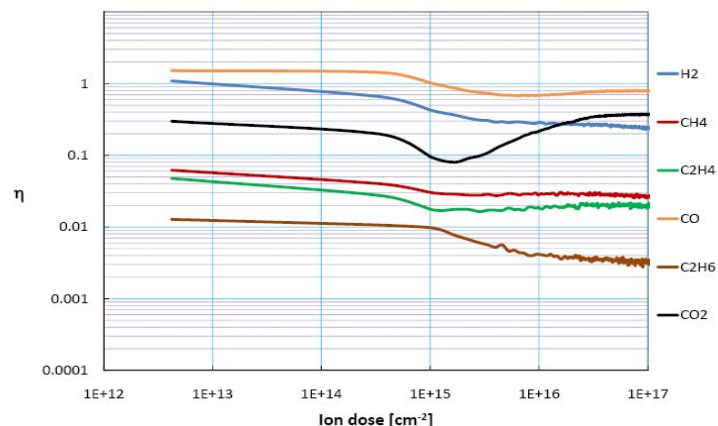
$$\eta = \frac{\text{molécules désorbées}}{\text{Incident ions}}$$

Type de matériaux, état de surface,
énergie et type de la particule, angle
 d'incidence, dose de particule

Déterminer expérimentalement

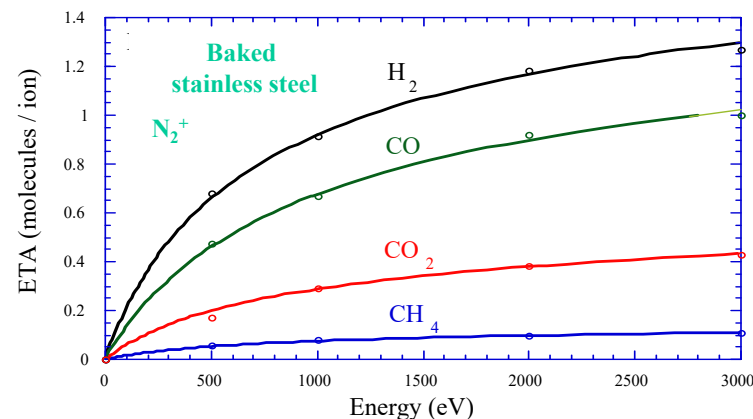
7 keV, Cu Baked, CO⁺

η versus ion dose



G. Hulla, PhD Thesis, Vienna Tech. U, 2009
 LHC : ion dose ~ 3 10¹⁵ ions/(cm².an)

η versus energy



A.G. Mathewson, CERN ISR-VA/76-5

➤ Très peu de données

M. P. Lozano « Ion-induced desorption yield measurements from copper and aluminium » Vacuum 67 (2002)

G. Hulla « low energy ion induced desorption on technical surfaces at room temperature » Thèse Cern (2009)

η A déterminer sur de nouveaux matériaux d'intérêt (carbone coating, NEG film mince, Cu traitement laser,...)

La désorption moléculaire stimulée par les ions

Le dispositif expérimental du CERN

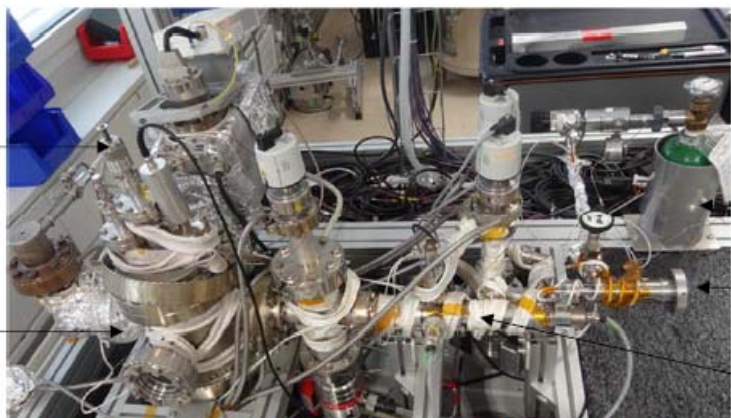


Figure 3-1: Experimental setup for the ISD measurements- CERN

Sample holder lift

Experimental vessel

Gas injection

Gas injection needle valve

Ion gun

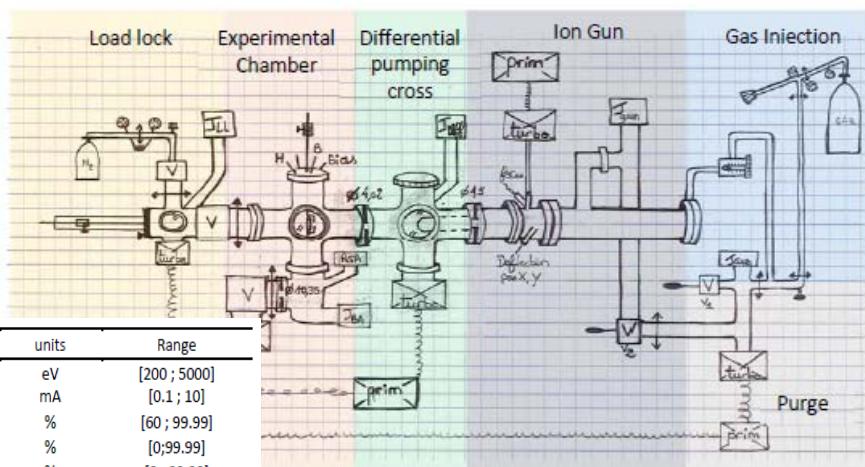


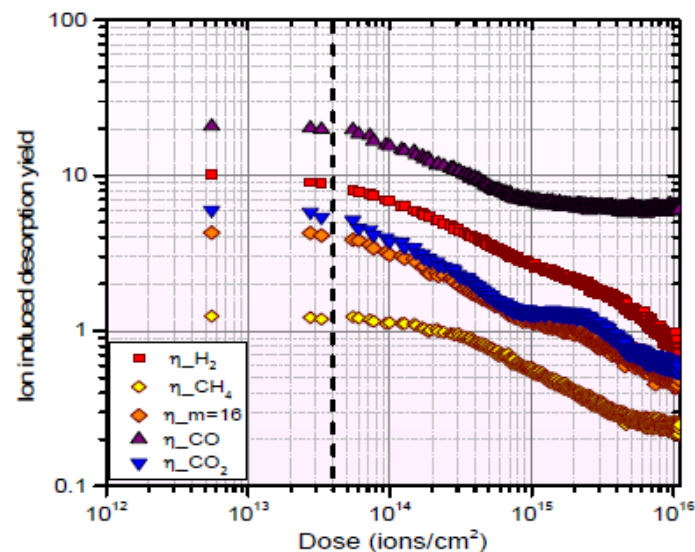
Figure 3-2: Schematic of the ISD setup

Gun parameters	units	Range
Energy	eV	[200 ; 5000]
Emission	mA	[0.1 ; 10]
Extractor	%	[60 ; 99.99]
Focus 1	%	[0;99.99]
Focus 2	%	[0 ; 99.99]
PosX	mm	[-5 ; 5]
PosY	mm	[-5 ; 5]

Qualification du bâti ISD effectué par Suheyly Bilgen (MAVERICS/IJCLAB) 2020

Des premiers résultats:

Irradiation par des ions CO⁺ d' 1 Kev sur du Cu du beam screen LHC



Suheyly Bilgen PhD Thesis (IJCLab 2020)

Poursuivre notre collaboration avec Le CERN sur ce setup

La désorption moléculaire stimulée par les ions

L'intérêt du dispositif expérimental TANCREDE pour la mesure des rendements de désorption moléculaire

- Complémentarité avec le dispositif du CERN
- Avec une analyse fine in situ de la physicochimie de surface lors de son conditionnement
- Calcul également des rendements ion +/ion ion-/ion e-/ion à la température ambiante et cryo
- Nécessite l'adaptation de la chambre d'analyse pour une pression UHV

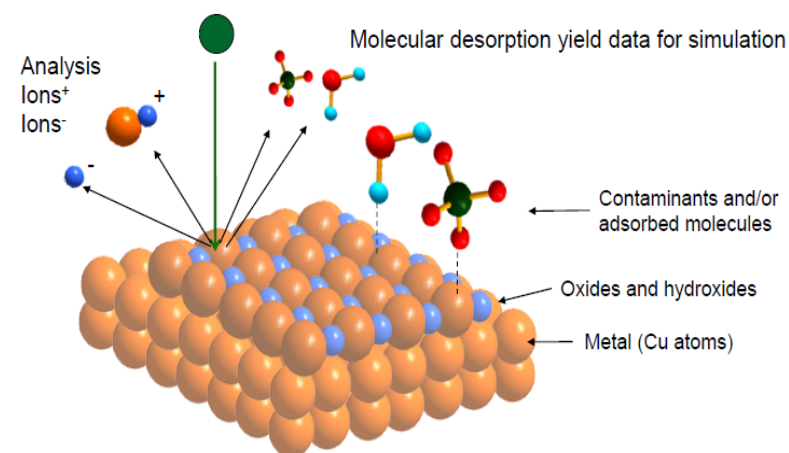
TANCREDE FACILITY



désorption stimulée des molécules adsorbées + analyse de surface

Ions atomiques/moléculaires
(Ar⁺, H⁺, H₂⁺, C⁺, CO⁺, CO₂⁺, CH₄⁺)

1 keV – 10 keV (Tancrede)
1 MeV - 10 MeV (Andromede)



BACK UP

ION DESORPTION VACUUM STABILITY IN THE LHC
 THE MULTIGAS MODEL O.B. Malyshev and A. Rossi,
 CERN, Geneva, Switzerland

Table 1. Ion stimulated desorption yields

Gas	Impact energy	H_2	CH_4	CO	CO_2
χ (molecules/ion)					
H_2^+	500 eV	0.8	0.045	0.28	0.09
CH_4^+	300 eV	2.6	0.17	1.4	0.45
CO^+	300 eV	4.3	0.3	2.8	0.9
CO_2^+	300 eV	5.2	0.39	3.9	1.26
χ'_{max} (molecules/ion) at more than 3 monolayers					
H_2^+	500 eV	8000	—	20	20
Ar^+	500 eV	15000	—	25	25

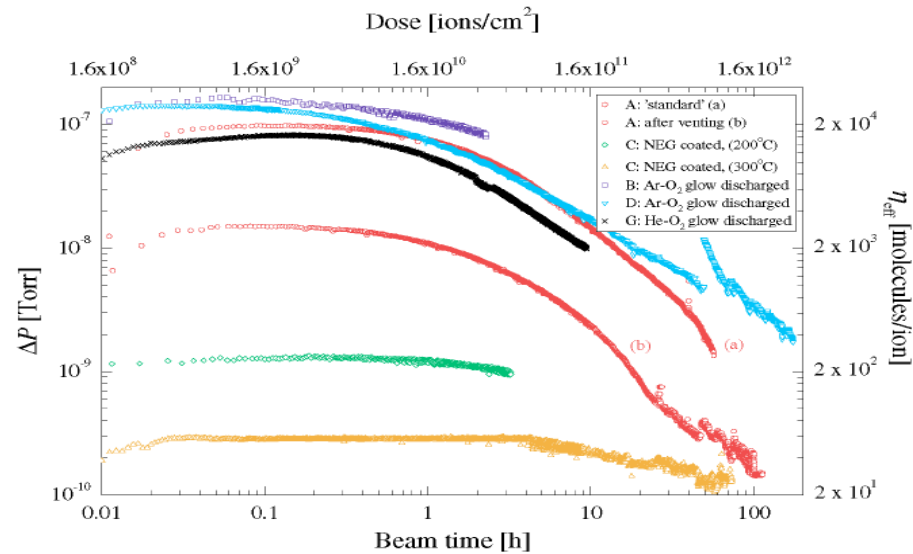
Table 2. The ion stability of different elements of the LHC (v6.0).

Elements	I_{max} (A)	I_c (A)	Domin. gas	$\frac{I_c}{I_{max}}$	Stable or not
Arcs					
Beam screen	0.85	13.8	CO	16	Yes
Inter-connections		4.6	CO	5.4	Yes
		1.54	CO	1.8	No
IR1, IR5, IR2 and IR8					
Q1–Q3	1.7	0.86	H ₂ +CO	—	No
D2+Q4	0.85	0.74	H ₂ +CO	—	No
Q5, Q6		1.5	H ₂ +CO	1.7	No
Q6,Q7 with b.s.		13.8	CO	16	Yes
IR4					
Q3, Q4	0.85	1.8	H ₂ +CO	2.1	Yes
Q5		1.5	H ₂ +CO	1.8	No
Q6+D3		0.68	H ₂ +CO	—	No
D4		1.1	H ₂ +CO	—	No
IR6					
Q4, Q5	0.85	2.8	H ₂ +CO	3.3	Yes
DFB		1.1	H ₂ +CO	1.3	No
For all elements with a beam screen or a liner					
With b.s.	1.7	13.8	CO	8.1	Yes
With liner		8.1	CO	4.8	Yes

Ions à très haute énergie

Pb^{53+} , 4.2 MeV/u, 14 mrad

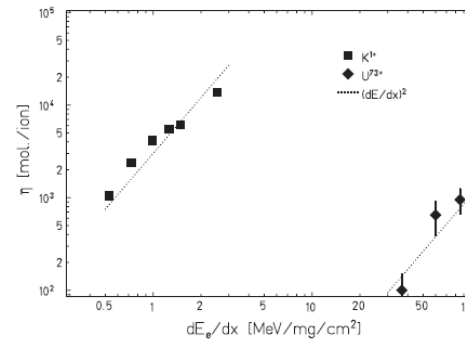
E. Mahner *et al.*, Phys. Rev. ST Accel. Beams 6, 013201 (2003)



- La désorption est déterminée par l' énergie donnée aux électrons (pouvoir d'arrêt électronique)

$$\eta_{ion} \propto \left(\frac{dE_e}{dx} \right)^2$$

L. Prost *et al.*, PRL 98, 064801 (2007)



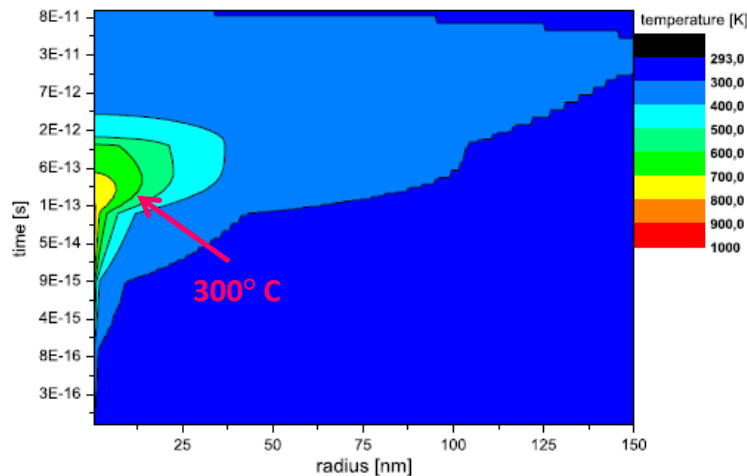
Mécanisme

- Effet de surface (sauf diffusion H₂) dû à une activation thermique
- « Inelastic thermal spike model » : carte de température couplée au modèle de désorption thermique

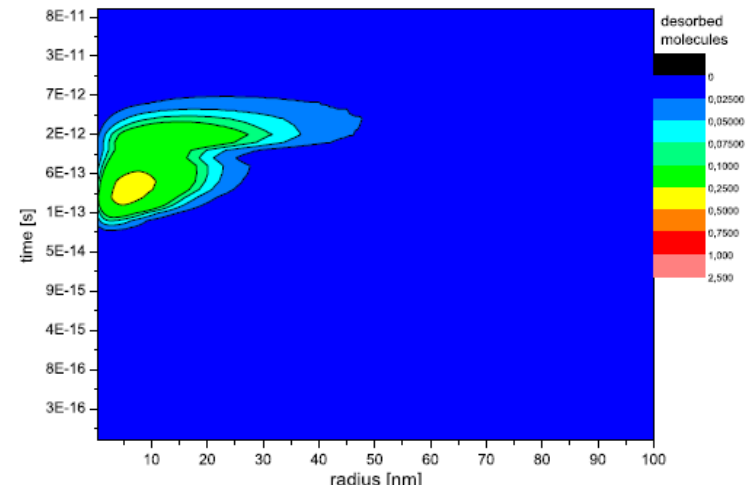
$$\eta = \int_0^{t_{max}} \int_0^{r_{max}} v_0(T(r,t)) \cdot \tilde{n}(r,t) \cdot \exp\left(-\frac{E_{des}}{k_B \cdot T(r,t)}\right) \cdot 2\pi \cdot r dr dt,$$

M. Bender *et al.*, NIM B 267 (2007) 885-890

Xe²⁹⁺, 1.4 MeV/u, Perpendiculaire



Temperature of atomic Cu subsystem after Xe impact

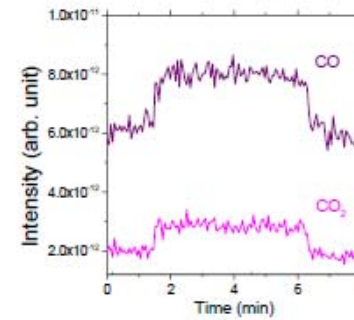
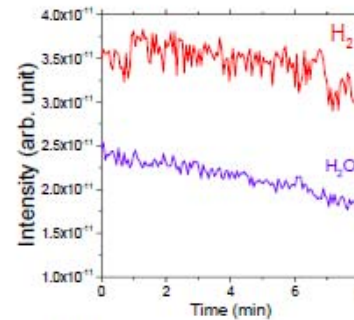
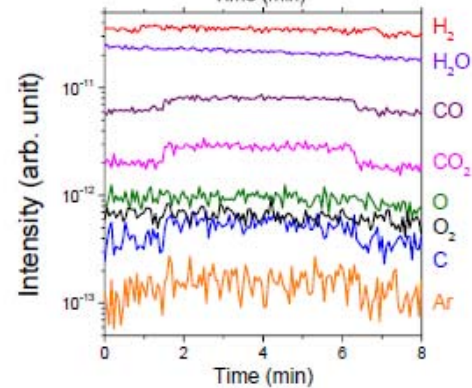
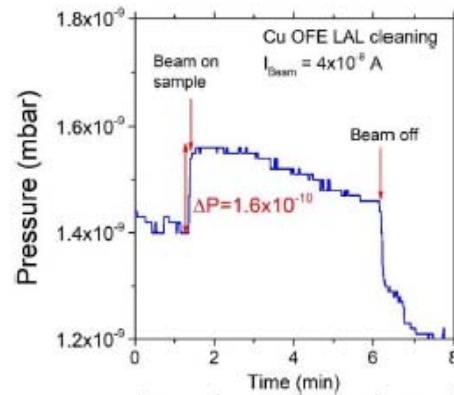


Desorbed particles per Xe per dt

$$\eta_{calculated} = 185$$

Swift heavy ion induced desorption

GSI - Ca¹⁹⁺ _ 4,8 MeV/uma _ 230 MeV _ faisceau pulsé à 5 hz, durée du pulse 5 ms



pumping speed = 149 l/s for N₂

