

Journées thématiques RTV (Grenoble, 02/12/2014)

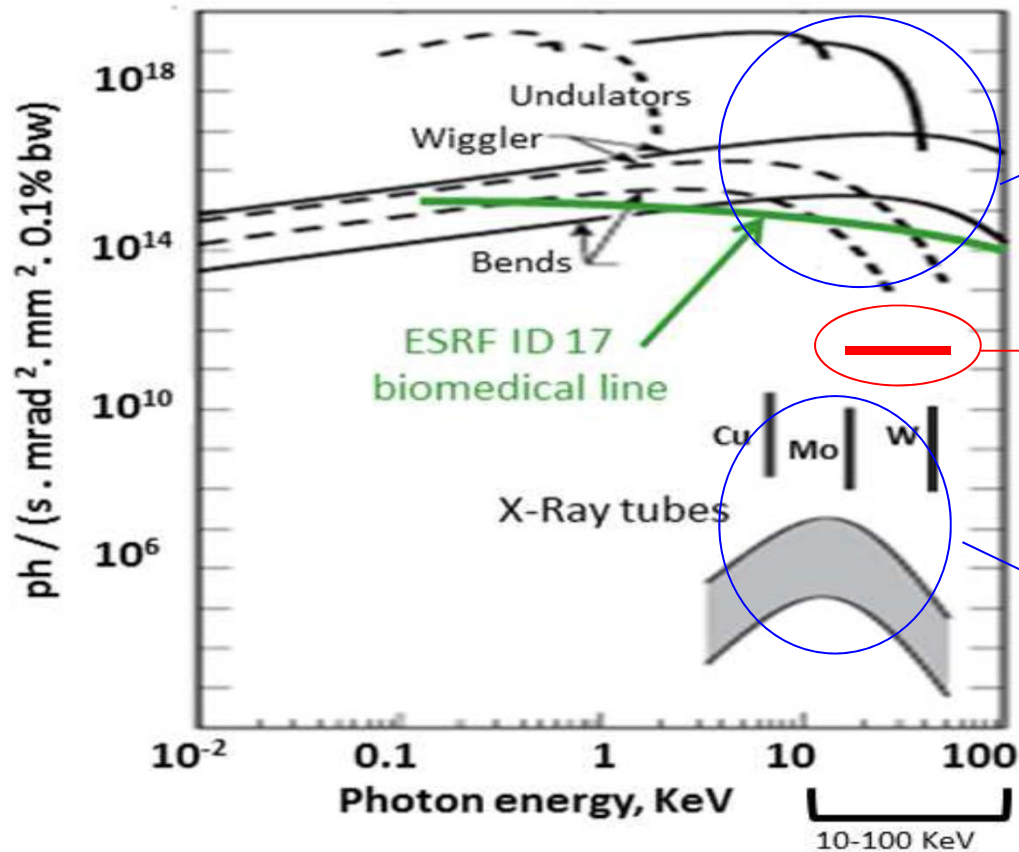
Mercier Bruno (LAL)

Les enjeux du vide sur une nouvelle source
compacte de rayons X :



Une source X compacte

• Pourquoi une nouvelle source de rayons X ?



ThomX
Sa compacité
Sonde X tenant dans
une pièce de 100 m²

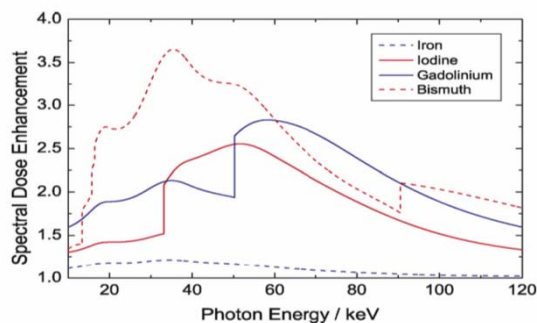


Marie Jacquet, LAL

THOMX: Les applications

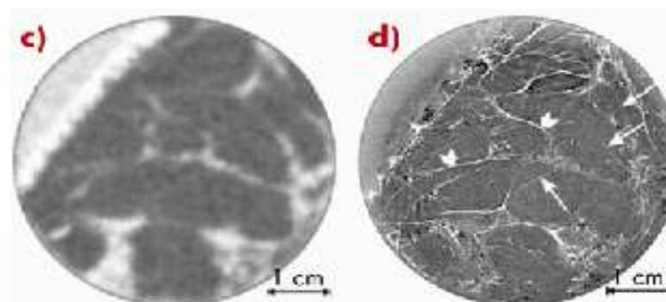
Pour quelles applications ?

radiothérapie



Agent de contraste + RX

Imageries médicales



(Phys. Med. Biol. 52, 2007, 2197-2211)

Analyse chimique et structurale

Spectrométrie par fluorescence, Xanes, ...
Diffraction

Sciences des matériaux

Biologie structurale

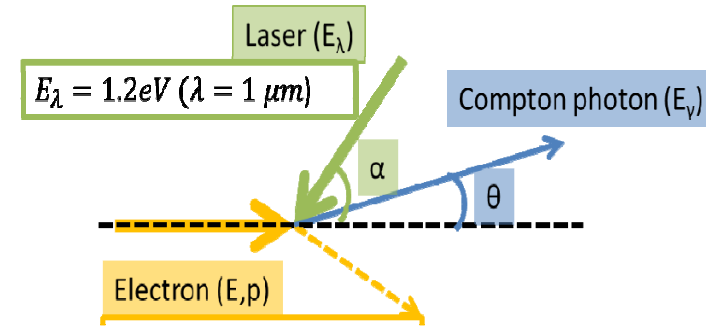
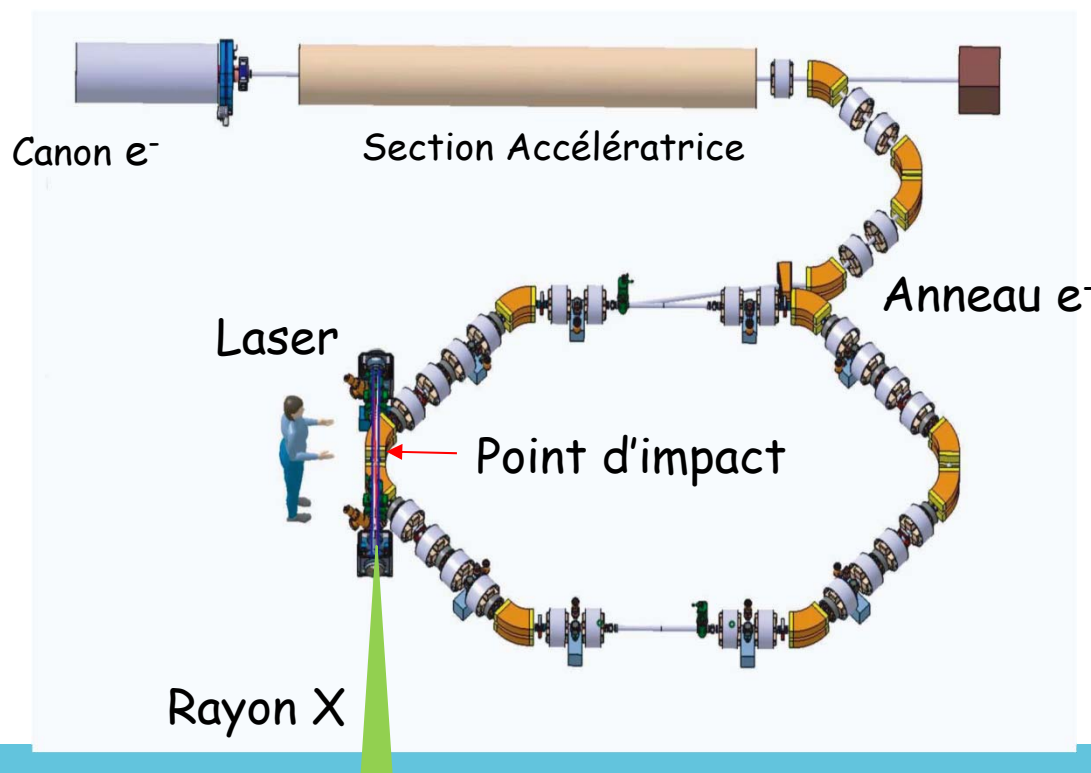
Sciences du patrimoine (héritage culturel)

intégrable dans un hôpital et à l'échelle d'un laboratoire

THOMX: Le principe

Le principe physique:

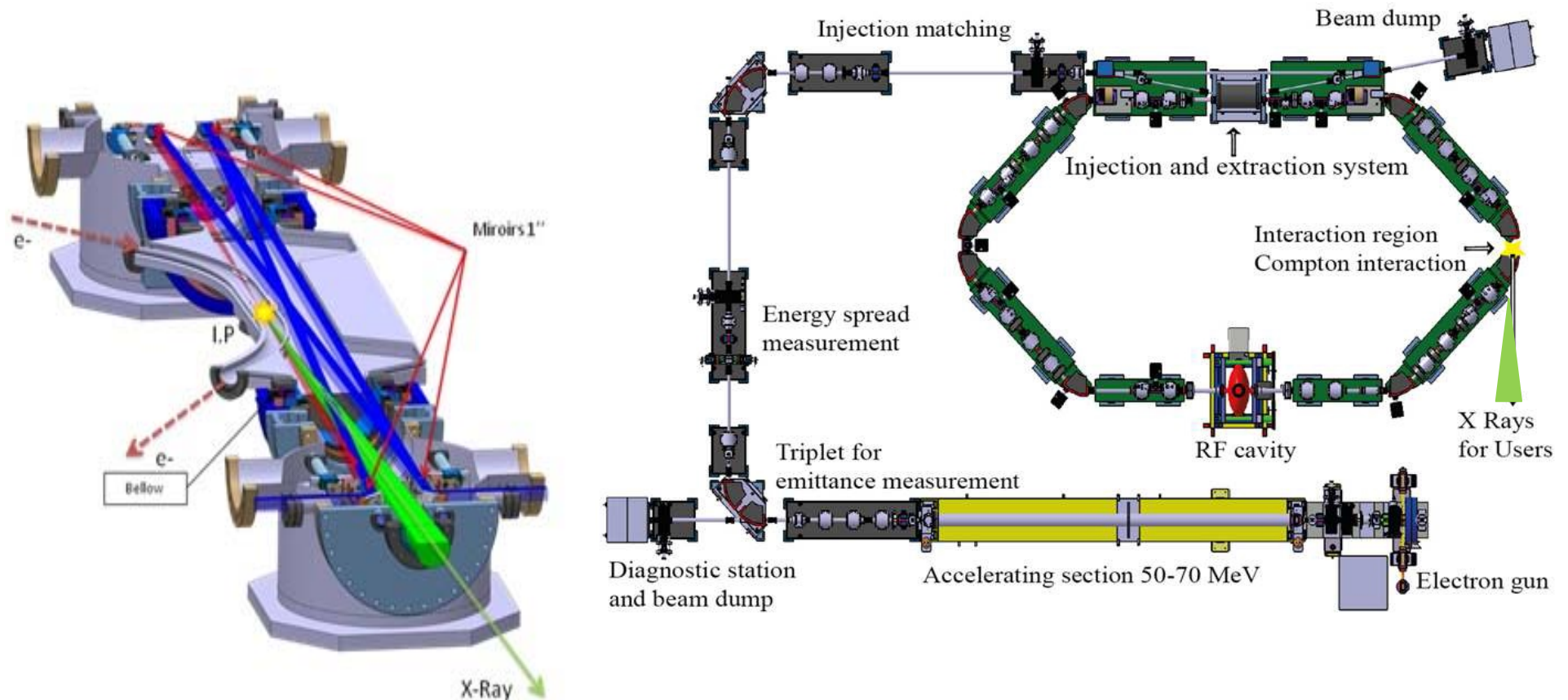
Rétro-diffusion Compton entre un faisceau d'électrons et un faisceau laser amplifié



Circonférence anneau ~20m

THOMX: caractéristiques

Design et caractéristiques



THOMX: Les caractéristiques

Laser /Cavity system (~9m)

- Laser ~ 1W average; 1,24 eV
- Optical fiber amplification (100 W) 2-3 $\mu\text{J}/\text{pulse}$
- Optical FP cavity amplification (gain 10000)

1 MW stored inside the cavity
(20-30 mJ/pulse)

Dimension transverses rms (μm) 40

Durée des paquets (ps) 1

Linac Electron beam:

Charge: 1nC, 50 Hz inj. freq.

Bunch length: ~ 4ps (RMS)

Transverse emittance: ~4 $\pi\cdot\text{mm}\cdot\text{mrad}$

Energy: 50-70 MeV

Energy spread: ~0.4%

Storage ring:

Revolution frequency: 18,7 MHz

waist $\sigma_e \sim 70 \mu\text{m}$

Energy spread x1.5

Bunch length x2

Emittance x4

Critical energy of SR radiation
0.8 eV

Rayons X:

Flux: 10^{13} ph/s

Brightness 10^{11}

Transv. Size $70 \mu\text{m}$

Energy: 30-90 KeV

THOMX: Les enjeux du vide

Les enjeux principaux du vide :

-Injecteur : durée de vie des photocathodes en CSTe UHV $\sim 10^{-10}$ mbar
test cathode en Mg moins de contrainte

L'anneau de stockage: collision avec le gaz résiduel, piégeage des ions
 \sim qq 10^{-10} mbar

Cavités Laser:
diminution du flux dégazé

Anneau:
optimisation de la répartition du pompage et des Té de pompage

THOMX: La cavité laser

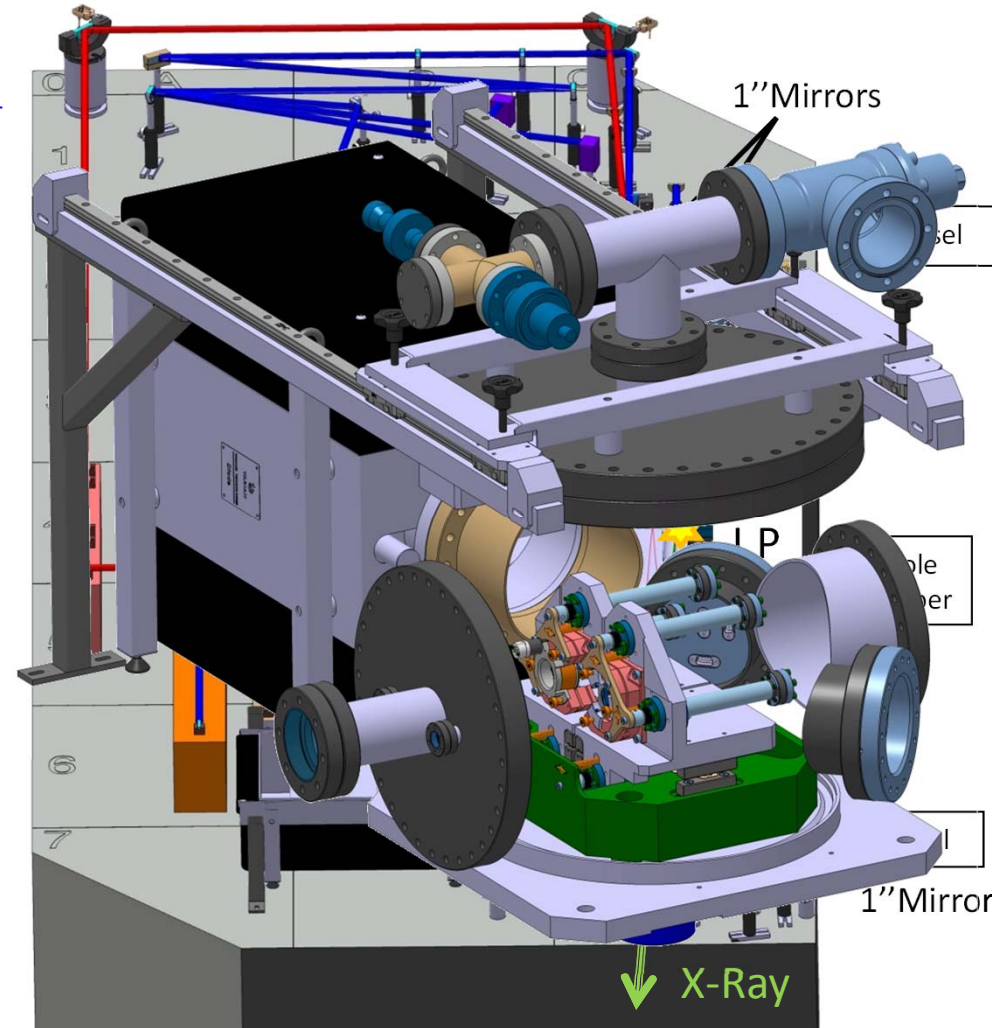
Cavités Laser:

diminution du flux dégazé

Difficulté de faire résonner cette cavité Fabry Perot (9m, ~1Mw)

Challenge sur le réglage de la cavité FP après un étuvage malgré l'automatisme des miroirs → ouverture cavité

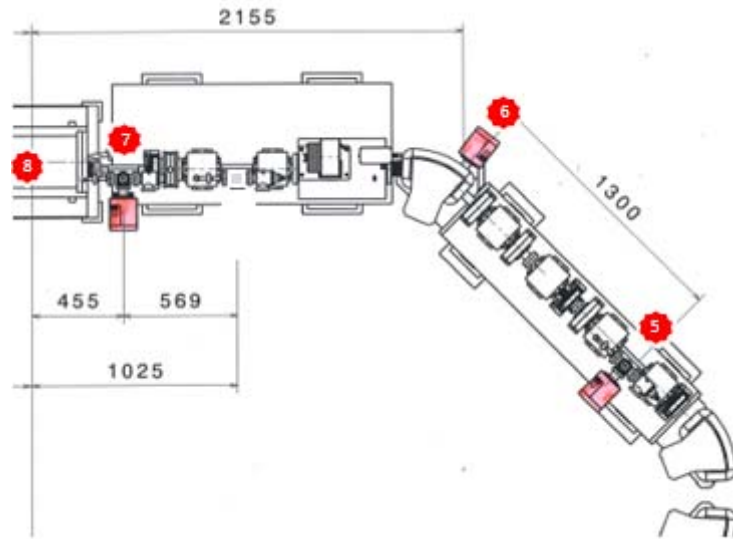
Dans ce cas le flux dégazé par les cavités optiques non étuvées est très important : $2 \times 4.10^{-8} \text{ Pa.m}^3.\text{s}^{-1}$ (c'est approximativement 40 fois ce qui est dégazé par la totalité de l'anneau).



THOMX: La distribution de pression

Distribution de pression sur $\frac{1}{4}$ d'anneau (cavité optique non étuvé)

Christophe Prévost



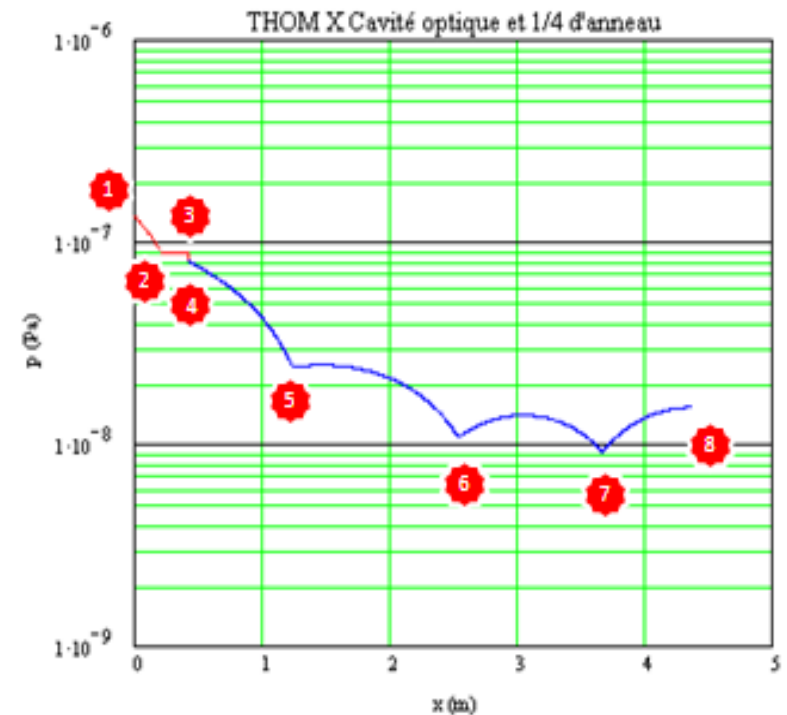
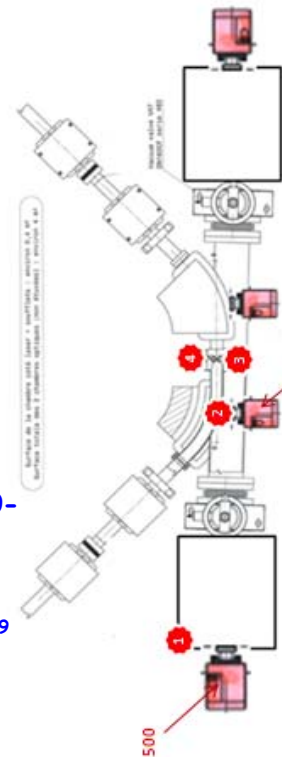
Conductance spécifique de l'anneau de section elliptique (40-28):

$$c = 4,52 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Dégazage spécifique de l'anneau de section elliptique $\sigma = 10^{-9}$ Pa.m.s⁻¹ : $q = 1,08 \cdot 10^{-10}$ Pa.m³.s⁻¹m⁻¹

Pompes ioniques anneau : VacIon Plus 40 diode $S = 30$ l.s⁻¹ à $\sim 10^{-10}$ mbar; port de pompage $C = 36,2$ l.s⁻¹ $\rightarrow S_{\text{eff}} = 1,9 \cdot 10^{-2}$ m³.s⁻¹

~ 650 l/S ensemble cavité FP



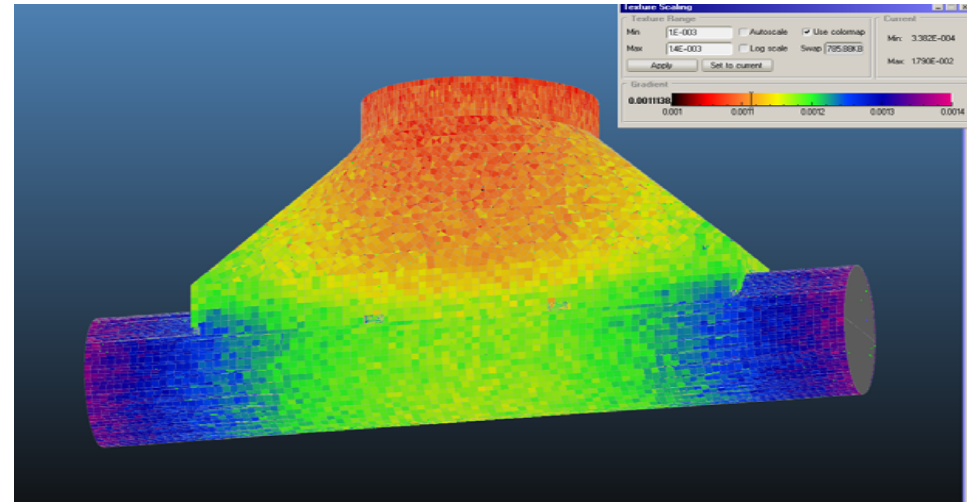
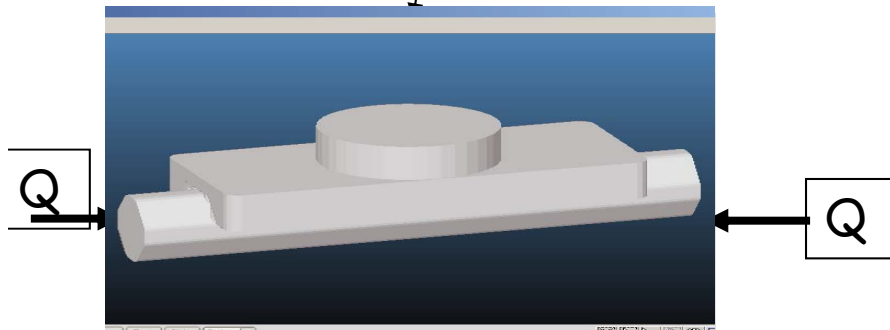
Nouvelle configuration (PI section rectangulaire)

$p_{\text{moy}} = 3,06 \cdot 10^{-8}$ Pa mais point haut $\sim 1,31 \cdot 10^{-7}$ Pa

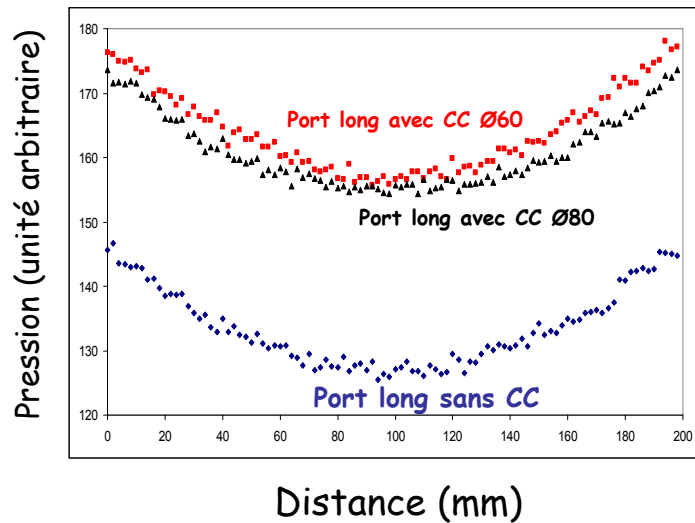
THOMX: Le Té de pompage

Optimisation Té de pompage (Avec Frédéric Letellier)

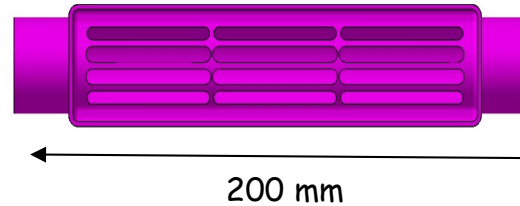
PI 18,5 l/s



Q_d flux dégazé



La grille de pompage



Surface Ouverture fentes
~45 cm²
Longueurs fentes ~ 145 mm

Té de pompage $C=58$ l/s (N₂@293K)
Conductance tube faisceau (40*28) $C=4.5$ l.m/s (N₂@293k)

Efficacité accrue si les fentes sont pour une même surface plus longues que larges

Pression due au confinement des ions

Le mécanisme:

Ionisation du gaz résiduel par le faisceau (e^-)



le champ électrique engendré par le faisceau (e^-) va focaliser des ions au centre de la chambre



Défocalisation des ions entre deux paquets



Oscillations et possible piégeage des ions

Les conséquences:

Augmentation de la densité ionique vu par le faisceau



Influence sur la dynamique faisceau

THOMX: Les ions

Critère de stabilité des ions :

Calcul de la masse critique¹ :

Tous les ions de masse supérieure à la masse critique seront accumulés.

$$A_c = \frac{N_e}{N_b^2} \cdot r_p \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\beta \cdot b^2 \cdot (1 + a/b)}$$

avec N_e nombre total d'e-, N_b nombre de bunch, r_p rayon classique du proton, $2 \cdot \pi \cdot R$ circonférence de l'anneau, β « vitesse » réduite, a et b dimension du faisceau.

Si la distribution du faisceau est gaussienne $a = \sigma_x \cdot \sqrt{2}$ $b = \sigma_y \cdot \sqrt{2}$

En prenant $\sigma_x = \sigma_y = 0.6$ mm **$A_c = 0.1$**

Tous les ions seront accumulés

Facteur de neutralisation

$$\eta = \frac{\text{Nombre de charges positives (ions)}}{\text{Nombre de charges négatives (électrons du faisceau)}}$$

[1] Neutralisation of accelerator beams by ionisation of the residual gas Y. Baconnier, A. Poncet and P.F. Tavares CERN

THOMX: Les ions

facteur de neutralisation $\eta(t)$:

Pour un faisceau **non continu** et avec des **ionisations successives** (piégeage de tous les ions, pas de fragmentation,...)

$$dn_i = (\sigma \cdot n_0 + \sigma^* \cdot n_i) \cdot n_e \cdot \beta \cdot C \cdot \left(\frac{\tau}{T}\right) \cdot dt$$

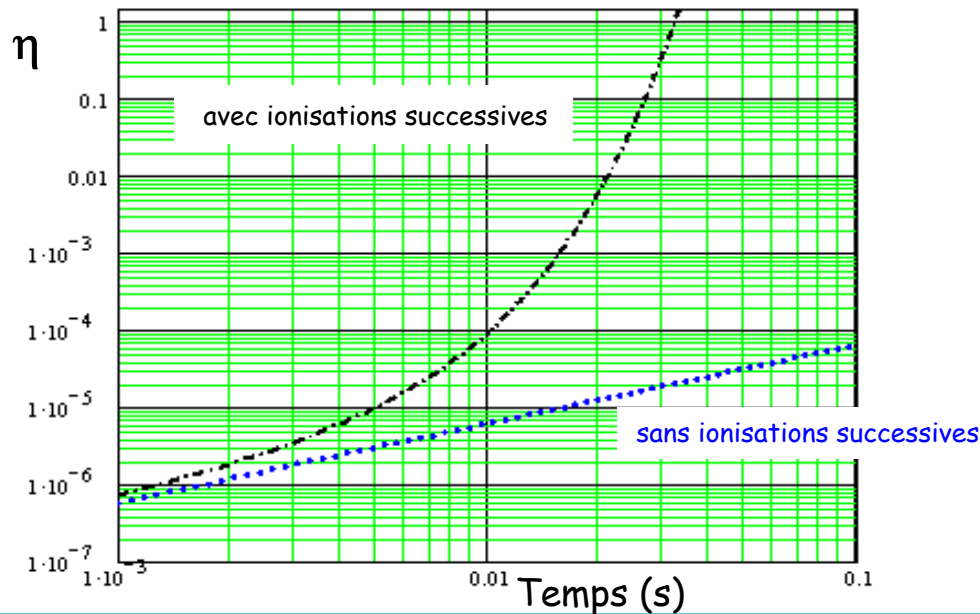
$$\tau = 18 \text{ ps} \quad T = 48 \text{ ns}$$

n_0 densité moléculaire

n_e densité électronique du faisceau

Au point d'impact $P \approx 2 \cdot 10^{-9}$ mbar

80% H₂O, 15% H₂ et 5% CO



[1] Section efficace d'ionisation simple E=50 Mev

$$\text{H}_2 \sigma = 23 \cdot 10^{-24} \text{ m}^2 \quad \text{H}_2\text{O} \sigma = 109 \cdot 10^{-24} \text{ m}^2$$

$$\text{Co} \sigma = 122 \cdot 10^{-24} \text{ m}^2 \quad \text{Co}_2 \sigma = 192 \cdot 10^{-24} \text{ m}^2$$

$$\sigma^* \approx \sigma$$

THOMX: Les ions

Pression ionique vue par le faisceau

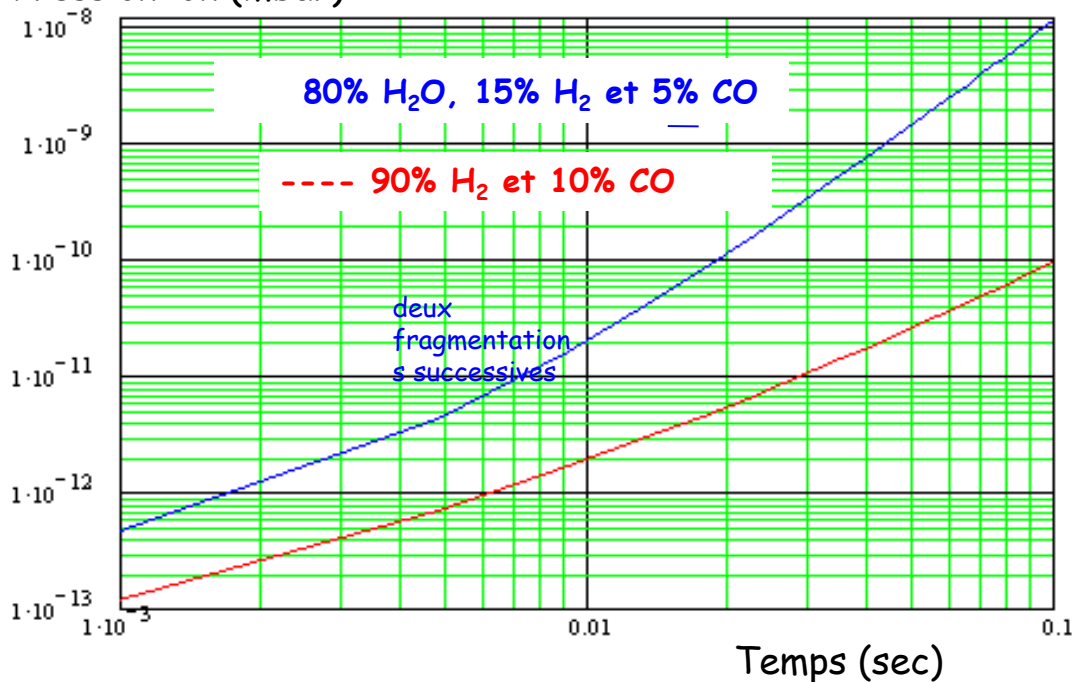
Augmentation de la pression due à la densité ionique.

$n_i = \eta^* \cdot n_e$ avec pour un faisceau cylindrique et gaussien

$$P_{\text{ion}} = \frac{I}{e} \cdot \frac{\eta^* \cdot k \cdot T}{\beta \cdot C \cdot \pi \cdot 2 \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y}$$

à l' IP $\sigma_x = \sigma_y = 0.07$ mm et avec $P \approx 2 \cdot 10^{-9}$ mbar

Pression ion (mbar)



Sans étuvage des cavités optiques

Au point d'impact $P \approx 2 \cdot 10^{-9}$ mbar (80% H₂O, 15% H₂ et 5% CO)

Pour 20 ms

$$\eta \approx 3 \cdot 10^{-3} \quad P_{\text{int}} \approx 1 \cdot 10^{-10} \text{ mbar}$$

Avec étuvage in situ des cavités optiques

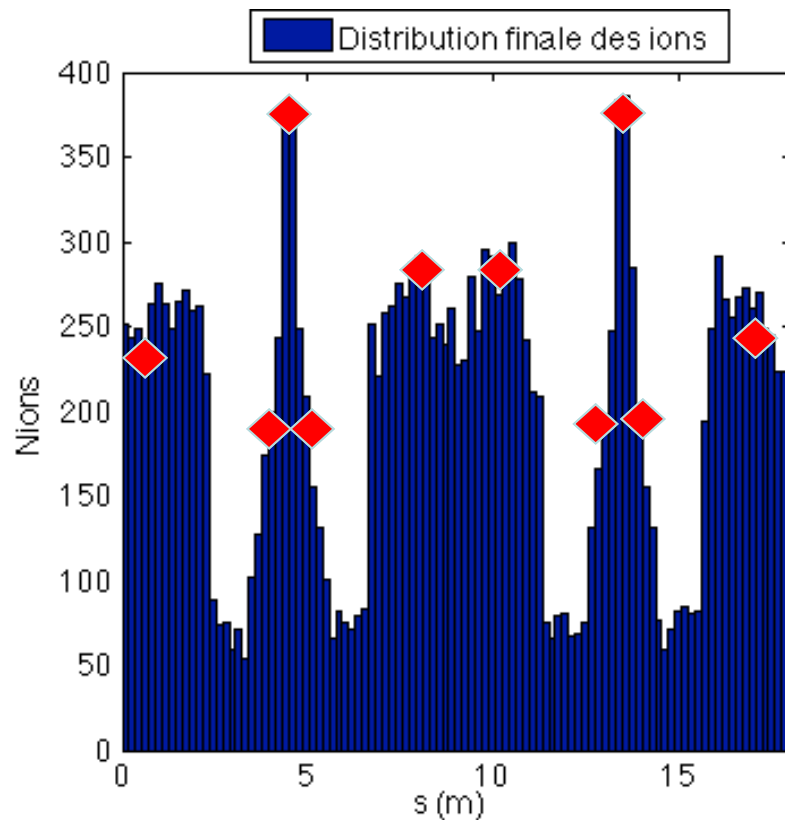
Au point d'impact $P \approx 2 \cdot 10^{-10}$ mbar (90% H₂, 10% Co)

Pour 20 ms

$$\eta \approx 3 \cdot 10^{-5} \quad P_{\text{int}} \approx 6 \cdot 10^{-13} \text{ mbar}$$

THOMX: Les ions

Accumulation des ions sur l'anneau Thomx



Accumulation vers les IP et les grandes sections

◆ Ajout d'électrodes aux IP + BPM (~-200V)

Elimination des ions:
H2 98% H2O 85% CO 79%

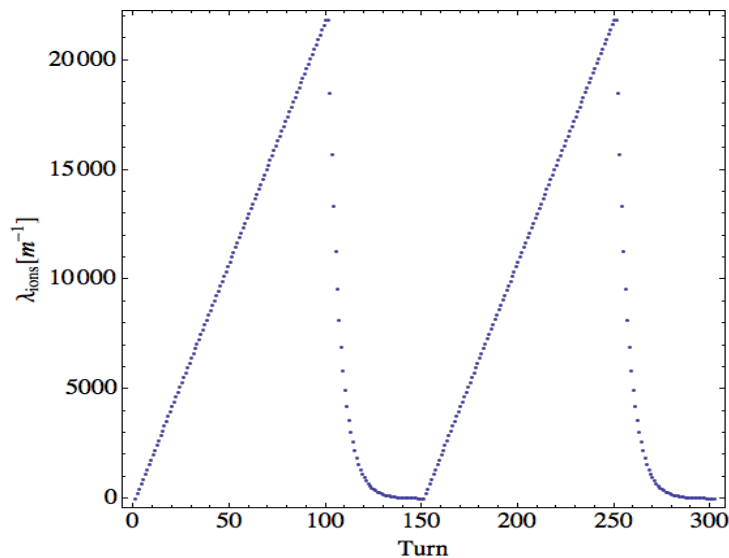
C. Bruni, J. Haissinski, T. Demma

THOMX: Les ions

Accumulation des ions sur l'anneau Thomx

C. Bruni, J. Haissinski, T. Demma

Gap entre deux injections:



$1,3 \cdot 10^{-9}$ mbar H₂O

Un gap de 5 μ s suffit pour converser une densité ionique maximale constante

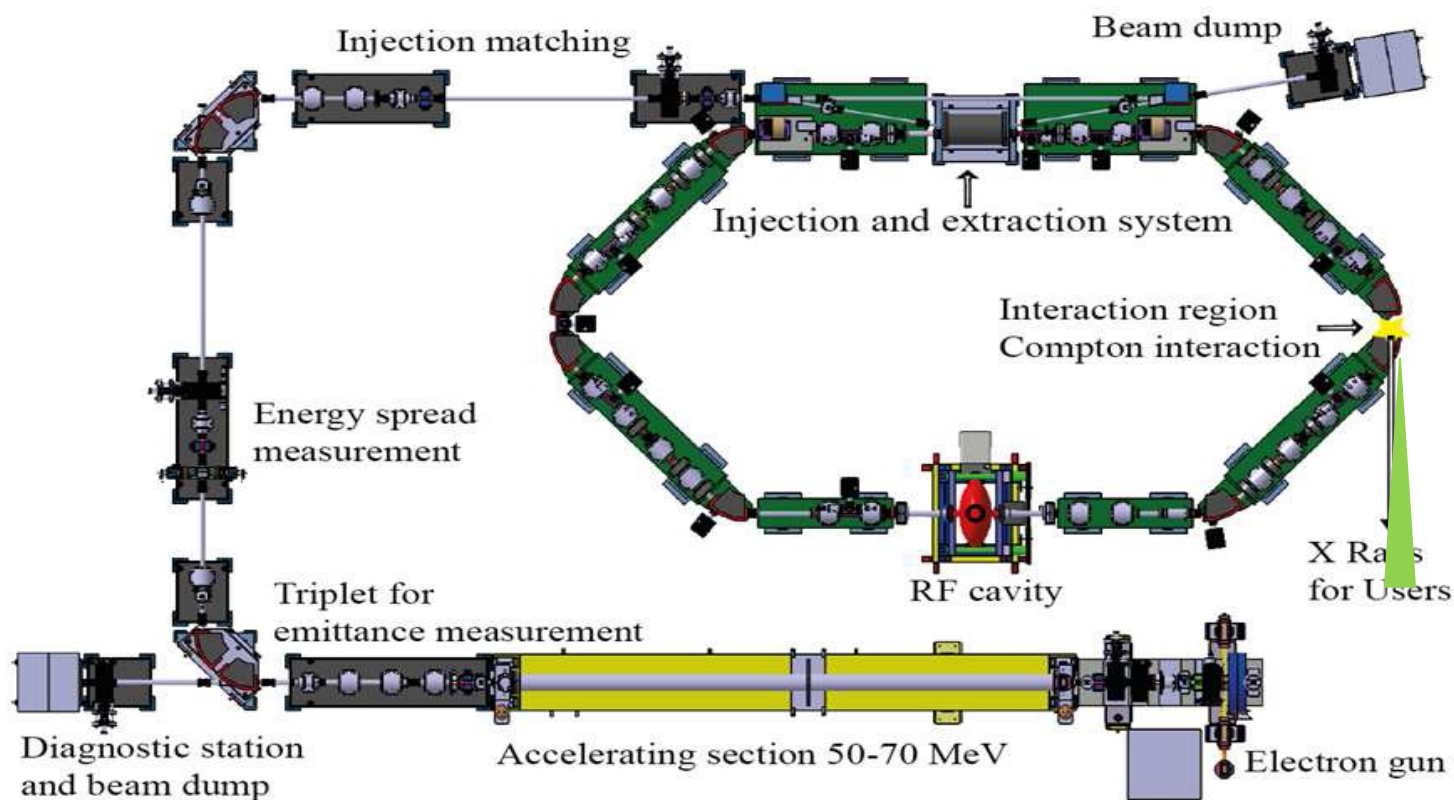
Electrodes + gap



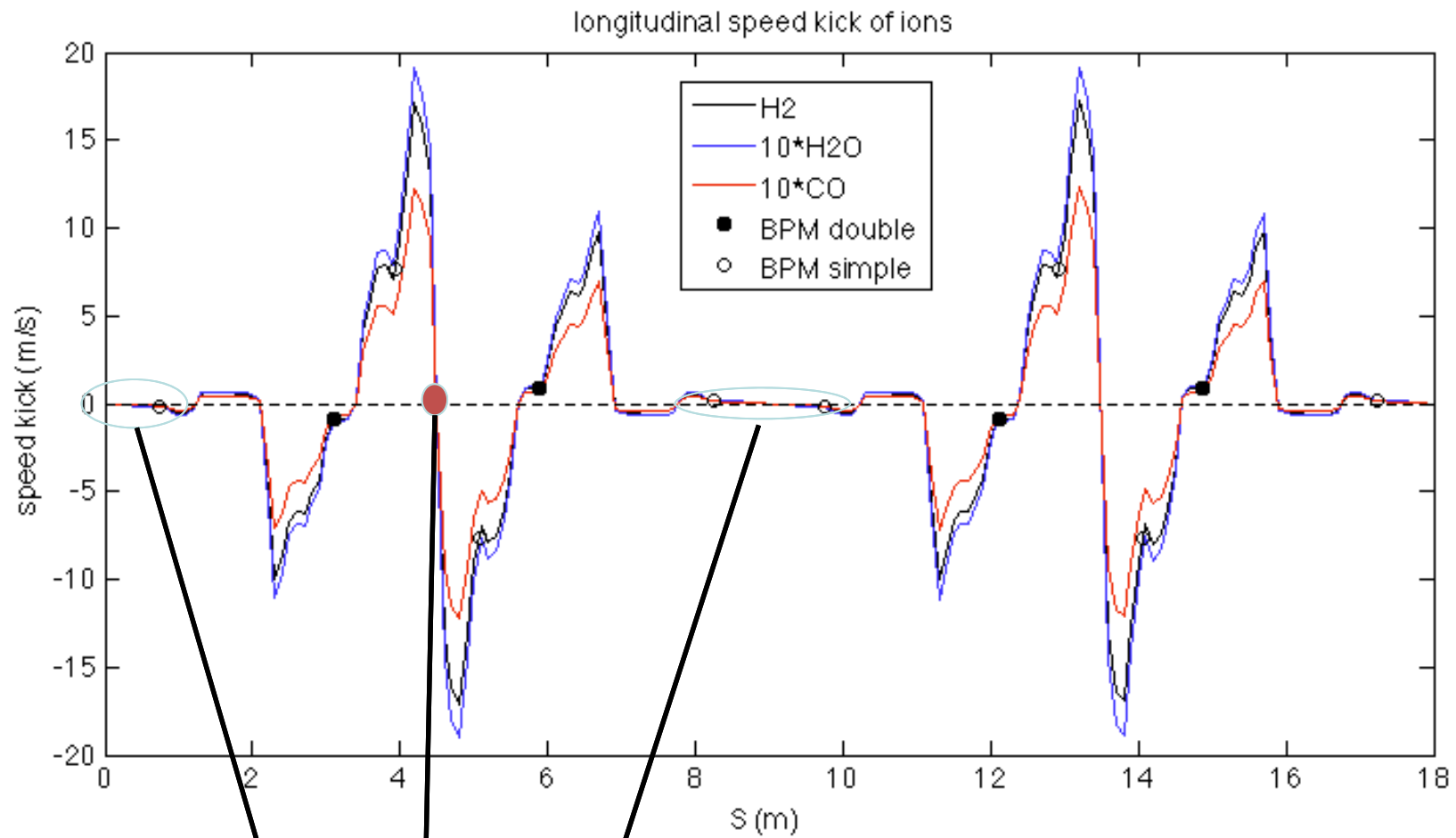
η ↘ par injection



Peu d'impact sur le faisceau e^-

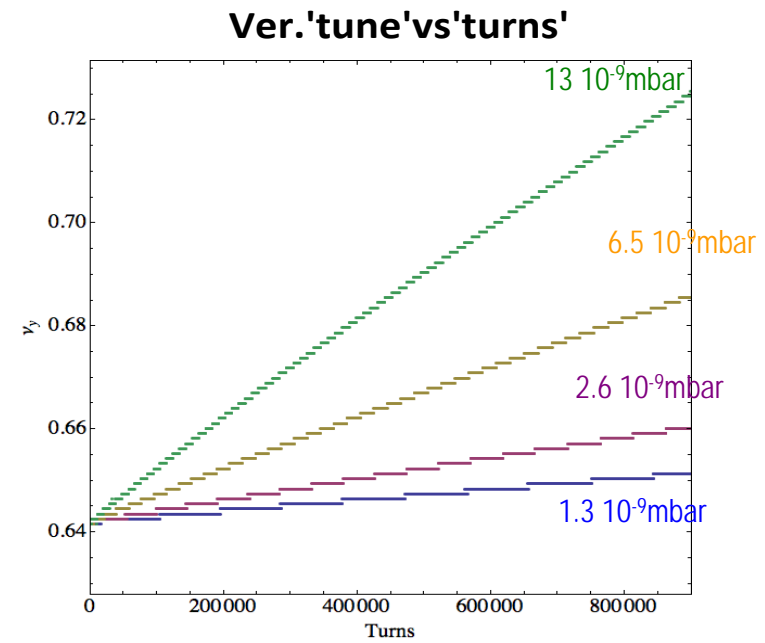
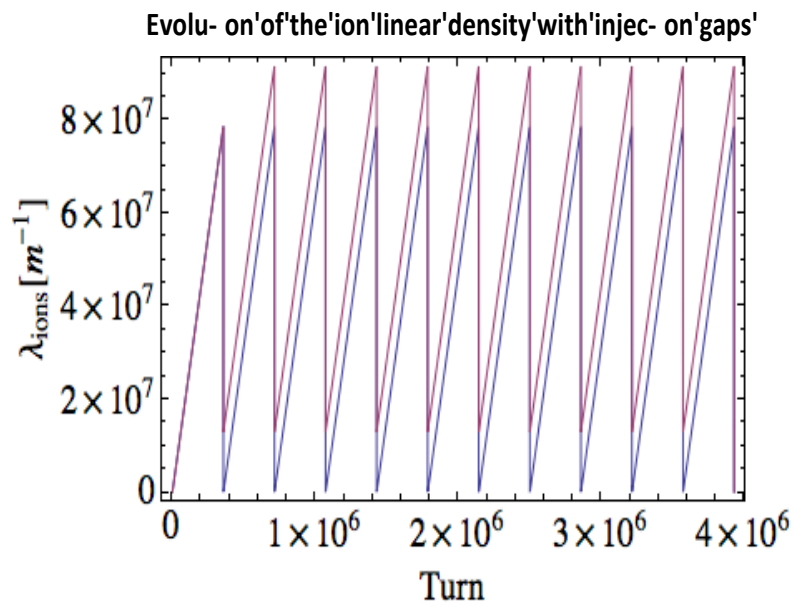


Les premiers faisceaux prévus mi 2016



C. Bruni, J. Haissinski, T. Demma

Zone d'accumulation « naturelle » des ions



C. Bruni, J. Haissinski, T. Demma