

Etudes et conception d'un refroidisseur radiofréquence pour des faisceaux radioactifs de haute-intensité

Florian Duval

Laboratoire de Physique Corpusculaire de Caen

Rencontres Jeunes Chercheurs
Les Houches, 11 Janvier 2007



Plan

- Introduction
- Le séparateur haute-résolution
- Le refroidisseur radiofréquence
- La conception
- Travaux en cours : simulations
- Conclusions-Perspectives

Introduction

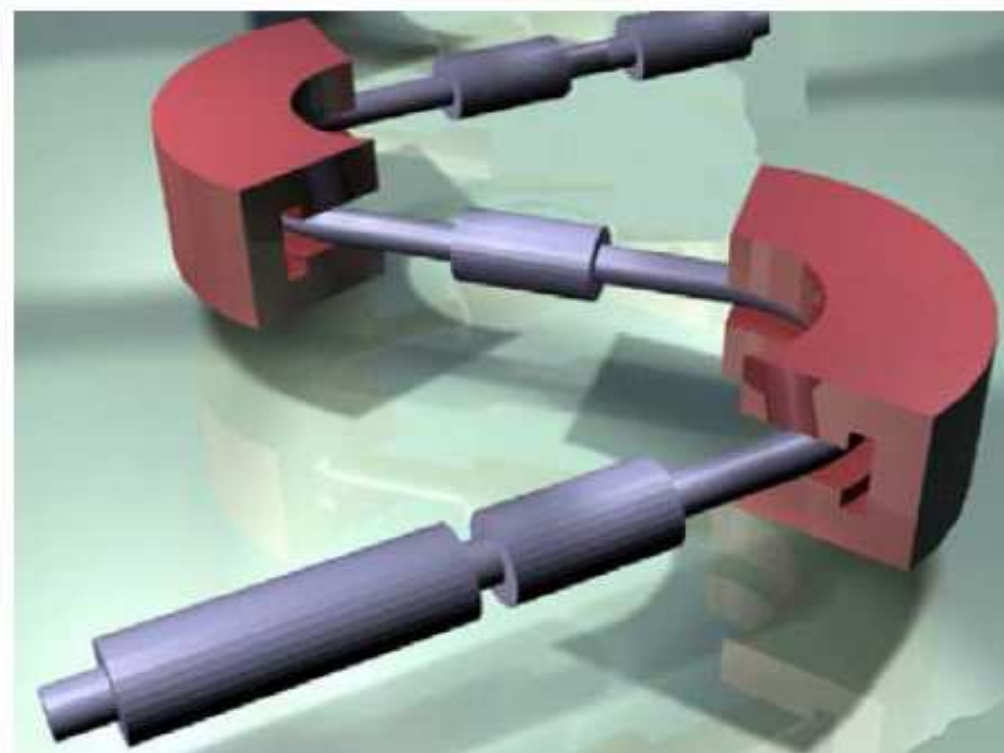
- Spiral2 : Intensité en hausse
- Installation basse-énergie DESIR@Spiral2
 - Spectroscopie laser
 - Mesure de masse
 - Etude de la désintégration β
 - ...
- Dispositifs très sensibles aux polluants
- Rareté des espèces d'intérêt



➤ ***Il est nécessaire de purifier le faisceau***

Le séparateur haute-résolution

- Séparateur magnétique
 - Deux contraintes à respecter :
 - Avoir une bonne transmission
 - Avoir une haute résolution en masse (~20000)
 - 2 dipôles magnétiques
- ***Le faisceau doit être le plus fin et le plus parallèle possible***



L'émittance d'un faisceau

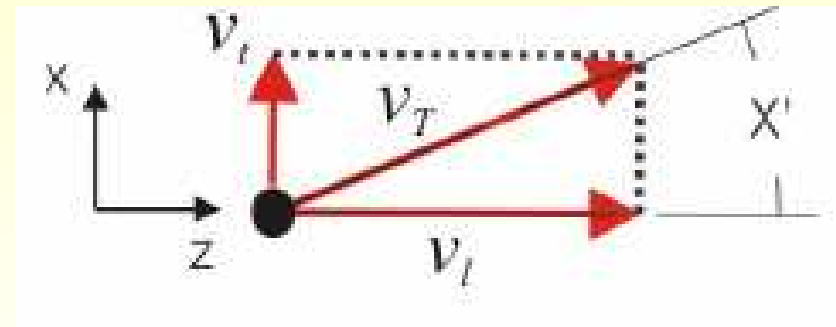
- L'émittance caractérise la « taille » d'un faisceau
 - Sa dimension
 - Sa divergence \equiv dispersion en énergie

- $\varepsilon_{(\pi.\text{mm.mrad})} = \pi \cdot \Delta x_{(\text{mm})} \cdot \Delta \theta_{(\text{mrad})}$

- Pour les basses-énergies

- qq 10 $\pi.\text{mm.mrad}$

- Dans notre cas, $\varepsilon \lesssim 1 \pi.\text{mm.mrad}$

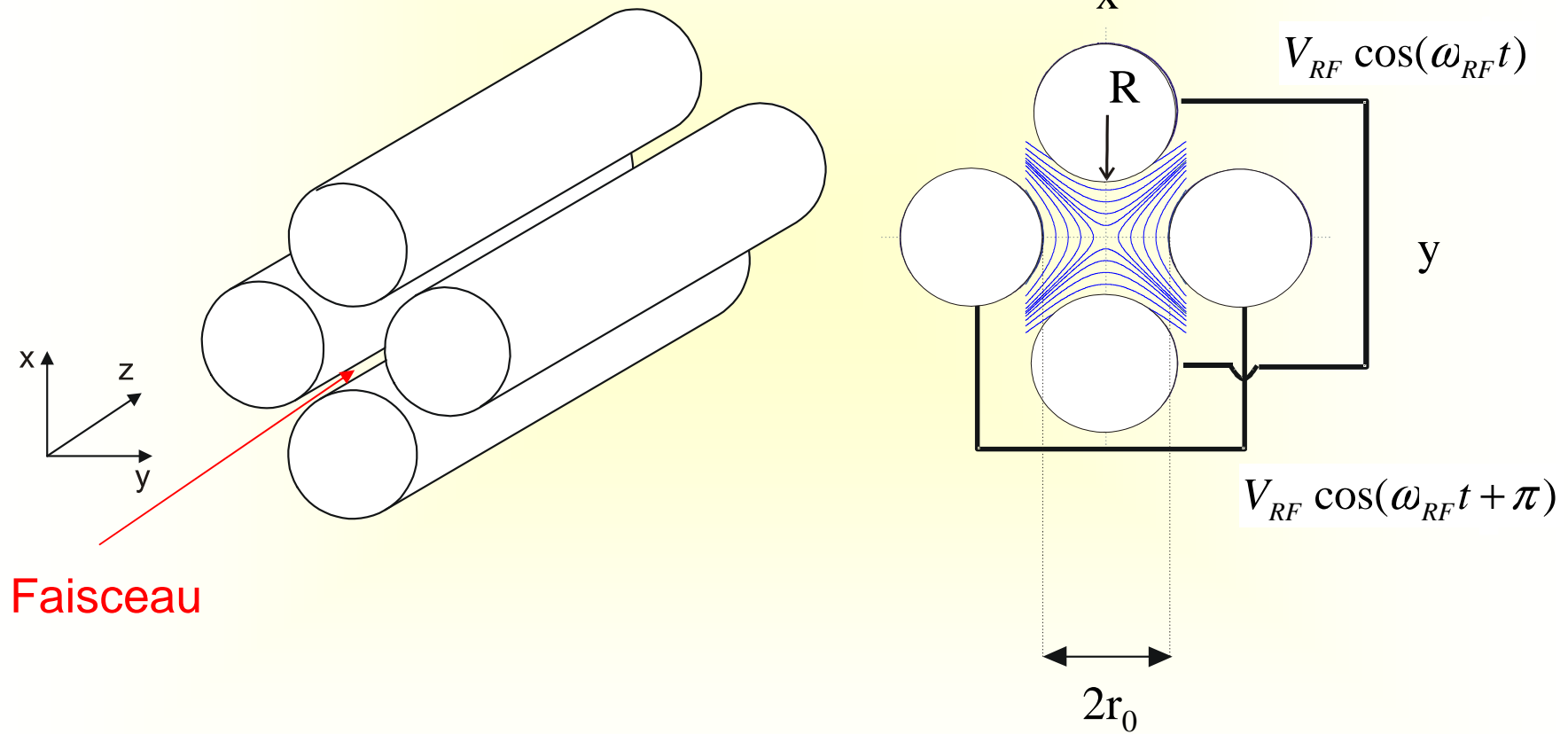


- **Réduction de la dispersion en énergie de qq 10 eV à qq 10 meV**
- **Obtention de cette valeur via un refroidisseur radiofréquence**

Le principe du refroidissement

- Refroidissement des ions sur du gaz
- Collision = diffusion = perte du faisceau
- Nécessité de confiner les ions
- Confinement au sein d'une structure quadrupolaire

Le principe des structures RF

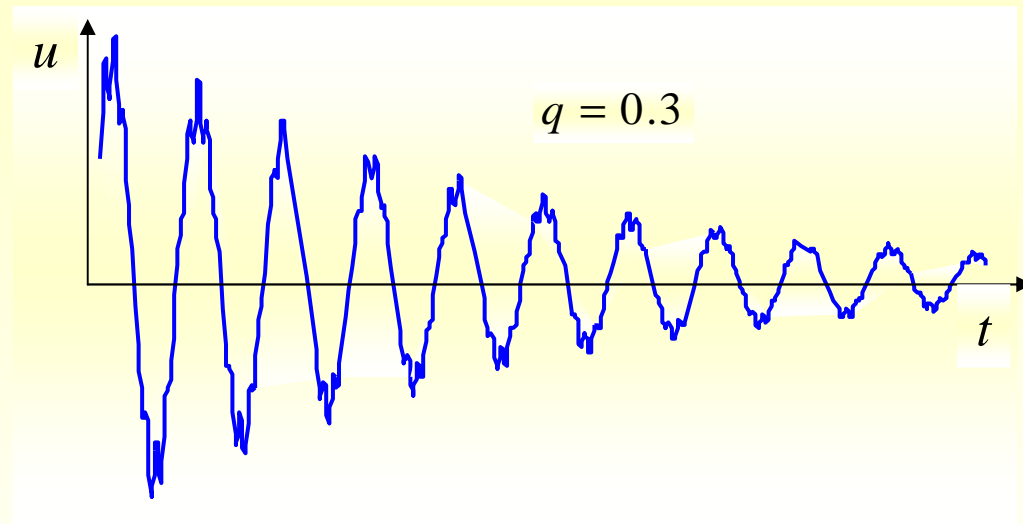


Le refroidissement des ions

- Amortissement du mouvement radial

$$\vec{F} = -\delta m \vec{v}$$

$$v(t) = v_0 \cdot \exp\left(-\frac{e}{m} \frac{1}{K} t\right),$$



- Refroidissement plus efficace à basse énergie
 - Environnement Haute Tension

La charge d'espace

- La charge d'espace s'oppose au refroidissement
- Répulsion coulombienne → augmentation de la taille du faisceau
- *C'est le nombre de charge par unité de volume*
- La limite maximale :

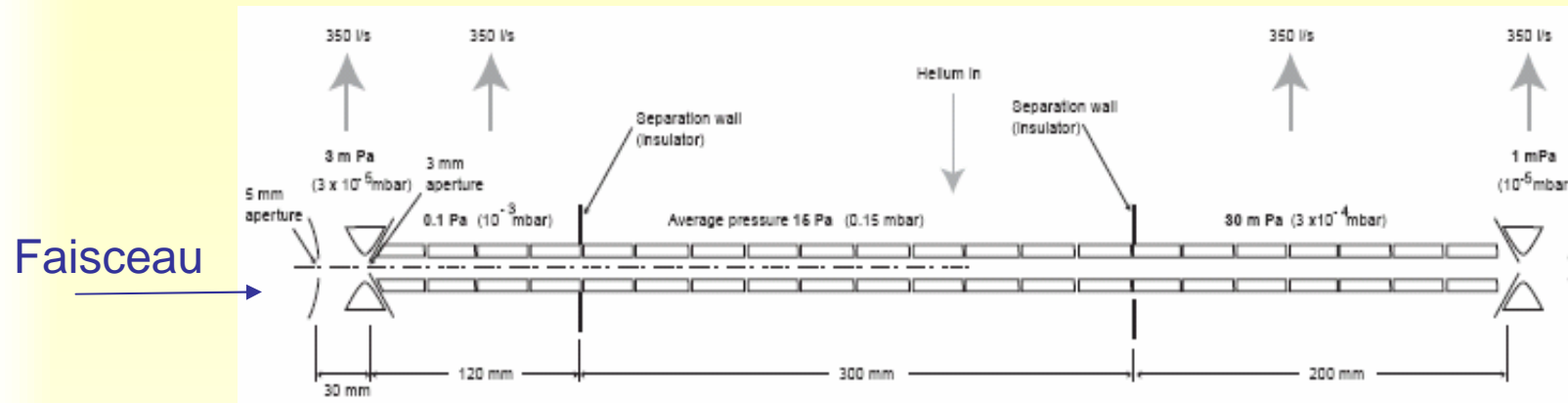
$$n_{\max} \propto \frac{V_{RF}^2}{r_0^2} = E_{RF}^2$$

- Technologie actuelle : de l'ordre de 10V/mm (I~qq 100pA)
- DESIR : de l'ordre de 10kV/mm (I~qq μA)

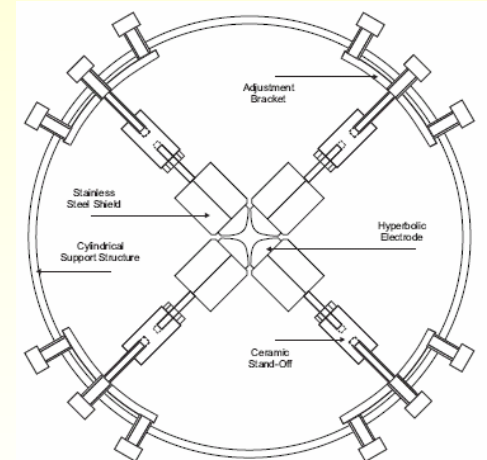
Installations radioactives

- Première générations de refroidisseur
 - ISOLDE, Spiral, JYFL, GSI
 - $I \sim \text{qq } 100 \text{ pA}$
 - Champ $\sim 10\text{V/mm}$
- Seconde génération de refroidisseur
 - Spiral2, FAIR(GSI)
 - $I \sim \text{qq } \mu\text{A}$
 - Champ $\sim 10\text{kV/mm}$

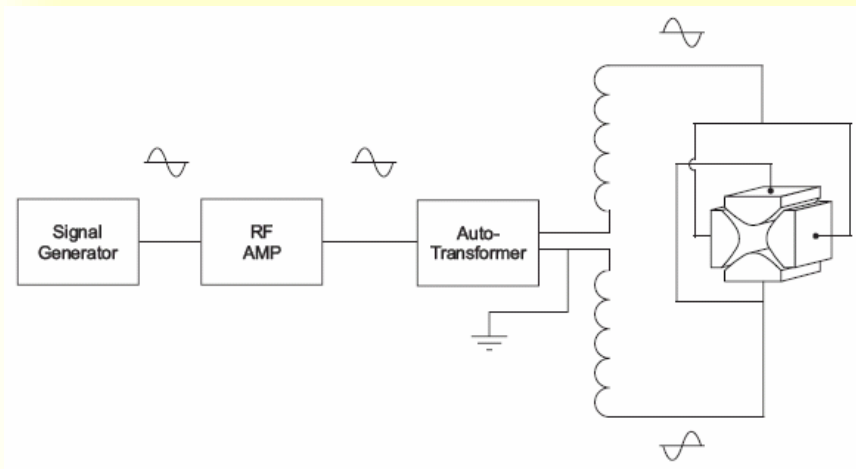
La conception : le refroidisseur



- *O. Gianfrancesco, PhD Thesis, McGill University, 2005*
- Longueur : 1m
- Rayon interne : 3mm



La conception : l'électronique



- Actuel : qq 100 V à 1MHz
- Puissance modérée :
 - $P \sim 300 \text{ W}$
 - Détérioration des composants
- Objectif : $\sim 10\text{kV}$ pour qq 10MHz

Les travaux en cours et à venir

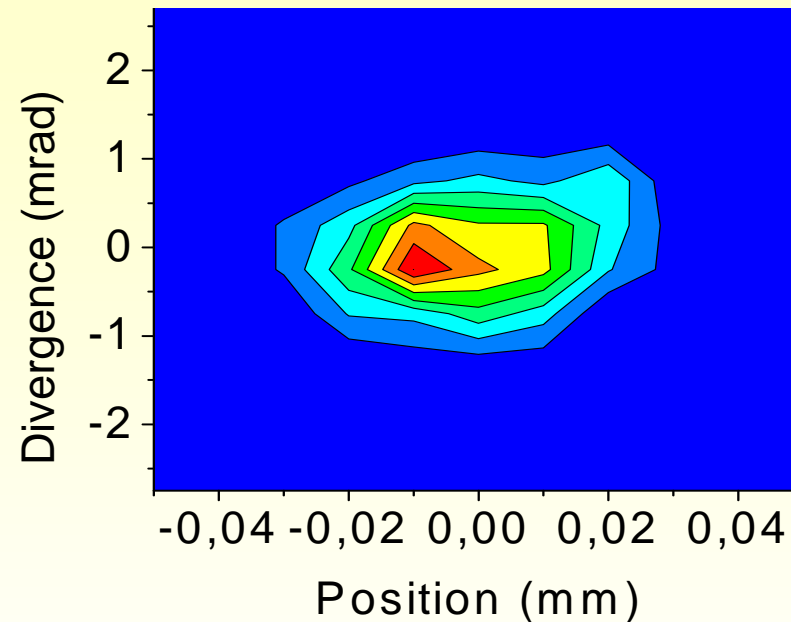
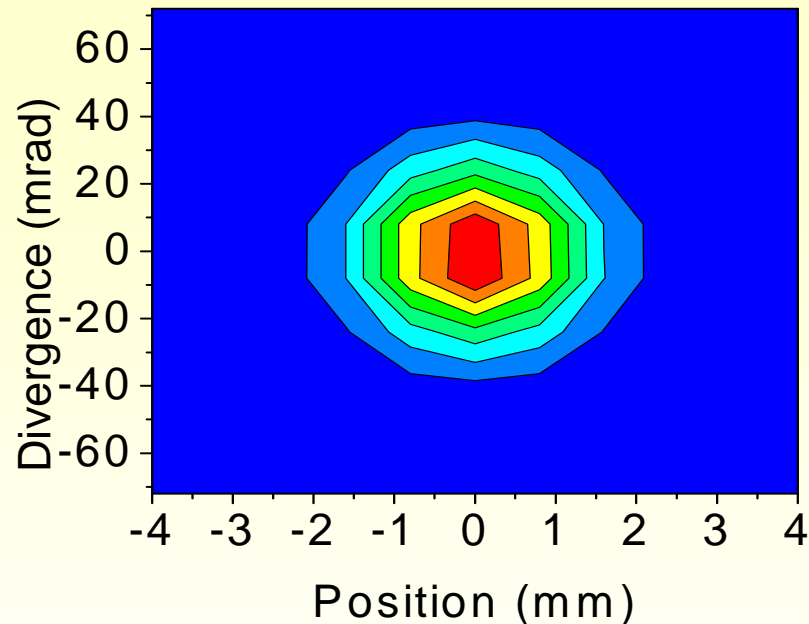
- Simulation du dispositif
 - Approche macroscopique
 - Refroidissement par frottement visqueux
 - Simple
 - Rapide
 - Optimiste en terme de refroidissement et de transmission
 - Transmission ~ 90%
 - Réduction de la dispersion en énergie transverse
 - $\Delta E_{\text{initiale}} \sim 19 \text{ eV}$
 - $\Delta E_{\text{finale}} \sim 0.03 \text{ eV}$

Les travaux en cours et à venir

$75 \pi \text{ mm.mrad}$



$1.75 \cdot 10^{-2} \pi \text{ mm.mrad}$



- ***L'émittance est réduite d'un facteur 4000***
- ***Transmission ~ 90%***

Les travaux en cours et à venir

- Simulations avec le frottement visqueux à approfondir
 - Effets de la charge d'espace
 - ...
- Approche plus réaliste : « Le potentiel ion-atome »
 - Approche microscopique
 - Prise en compte de l'interaction ion-atome
 - Effets de la charge d'espace
 - ...

Conclusions-perspectives

- Spiral2 → Performances en hausse
- Refroidisseur haute intensité
- Valeur très faible de l'émittance
- 2007 : Simulations / Conception
- 2007 : Mesures au CSNSM
- 2008 : Construction du cooler

Collaboration



- F. Duval
- G. Ban



- O. Gianfrancesco
- D. Lunney
- S. Cabaret