

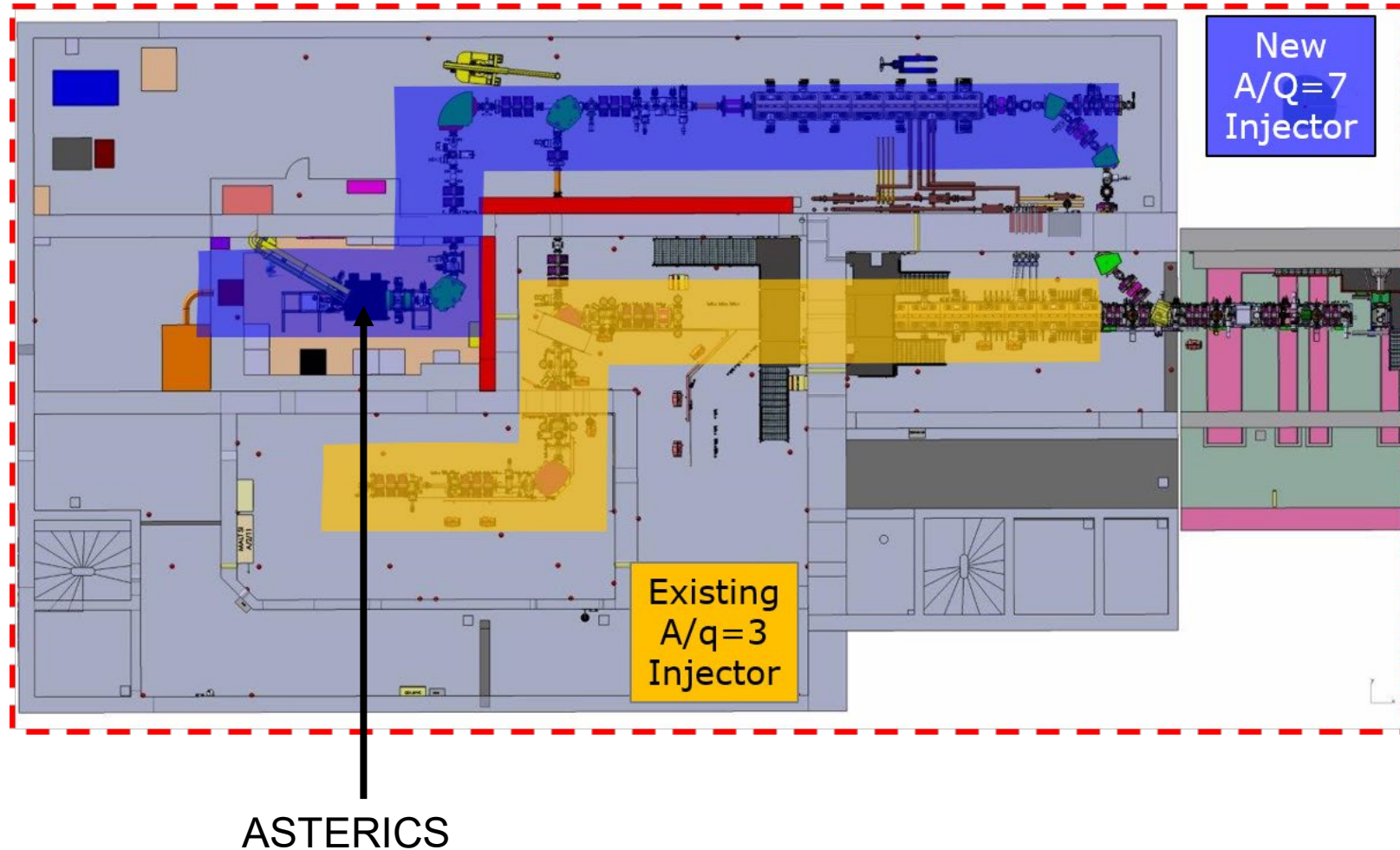


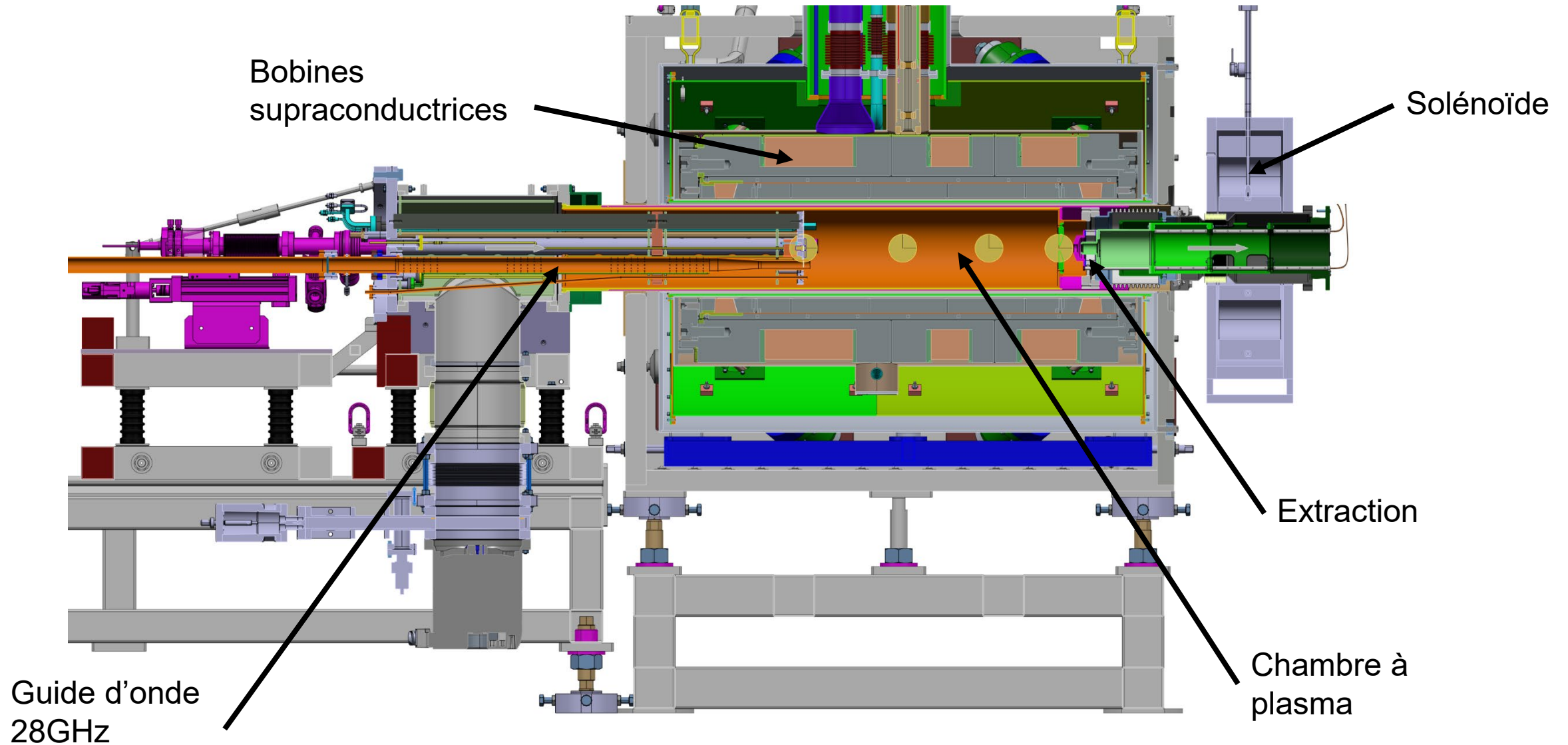
Simulation et optimisation de l'extraction des ions de la source ASTERICS

Journées Accélérateur 2025 -Roscoff

- Contexte
- Simulation
 - Code et objectifs
 - Géométrie de l'extraction
 - Paramètres de la simulation
 - Compensation de la charge d'espace
- Etude argon
 - Optimisation
 - Etude paramétrique
- Test préliminaire faisceau d'uranium
- Conclusion

- Dans le cadre du projet NEWGAIN, un nouvel injecteur est en cours de développement pour SPIRAL2 au GANIL. Cet injecteur doit permettre d'accélérer des ions lourds jusqu'à $A/q = 7$, avec une énergie d'entrée de 10 keV/A dans le nouveau RFQ.
- L'injecteur intégrera la source supraconductrice ASTERICS (28 GHz), destinée à fournir des faisceaux d'ions multichargés d'intensité élevée (10 pμA d' U^{34+}).





IBSimu :

- Code de simulation dédié aux faisceaux d'ions
- Permet d'étudier l'extraction du faisceau d'ions avec la modélisation de la gaine du plasma
- Utilise une approche par itération de Vlasov
- Architecture sous forme de librairie C++
- <https://ibsimu.sourceforge.net/index.html>

Objectifs :

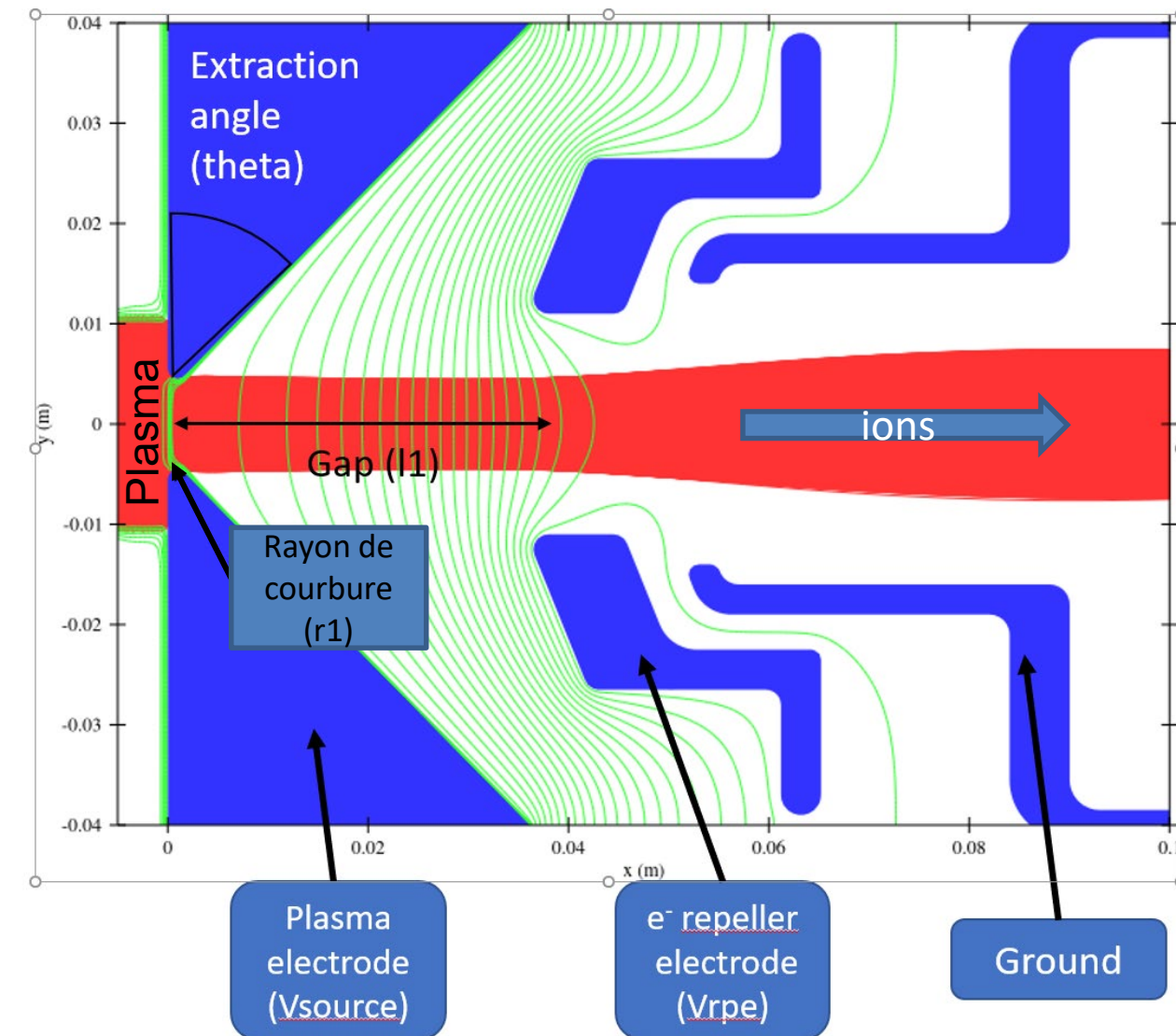
- Simulation de l'extraction de la source avec un faisceau d'argon multichargé
- Optimisation de la géométrie et des potentiels de l'extraction pour minimiser l'émittance de l' Ar^{12+}
- Etude de l'influence des paramètres géométriques sur l'émittance et le courant extrait
- Simulation préliminaire avec un faisceau d'uranium

Extraction à 3 électrodes :

- Électrode plasma (HT), diamètre 9 mm
- Électrode repousseuse d'électron (potentiel négatif)
- Électrode à la masse

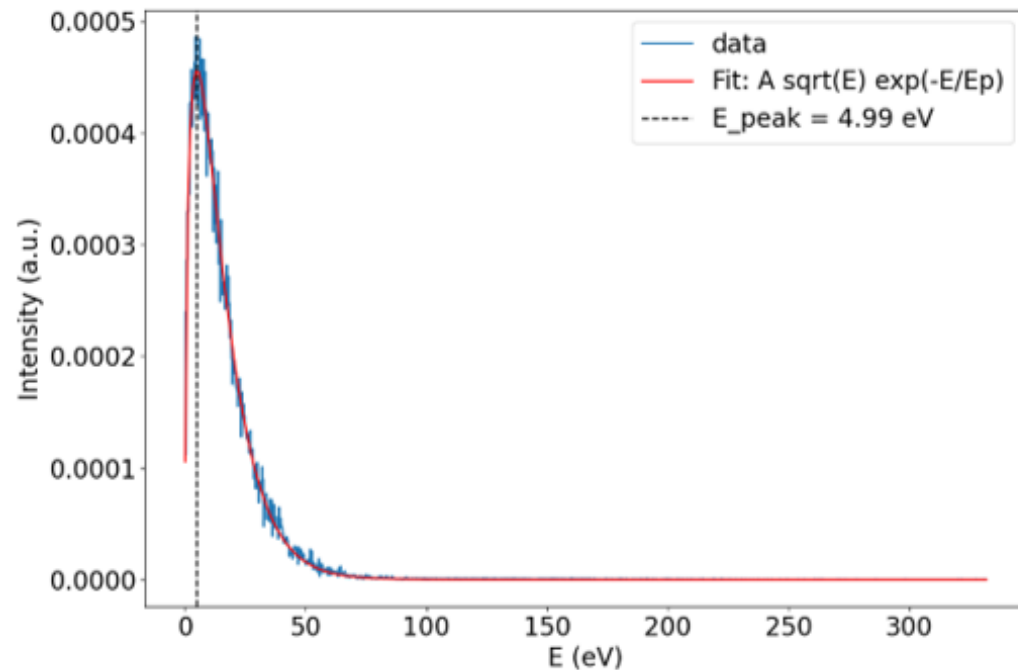
Paramètres géométriques variables :

- "gap" : espace entre l'électrode plasma et l'électrode repousseuse d'électron
- Angle d'extraction : angle (par rapport à la vertical) de l'électrode plasma
- Rayon de courbure au niveau de l'extraction de l'électrode plasma



Paramètres plasma :

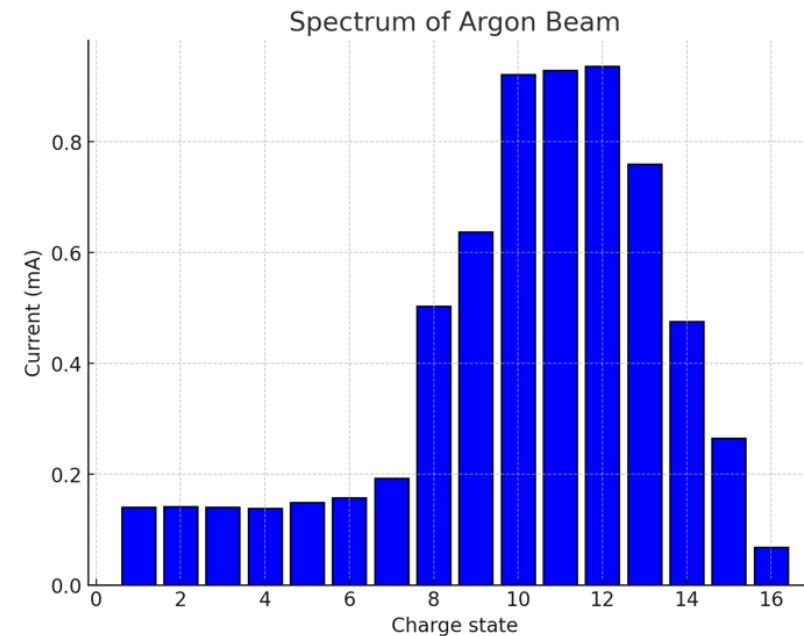
- Température électronique $T_e = 10$ eV
- Potentiel plasma $U_p = 30$ V



Distribution de l'énergie des ions

Paramètres des ions :

- Densité de courant $J = 90$ A/m²
- Température transverse $T_t = 10$ eV
- Energie des ions $E_0 = 0,1$ eV



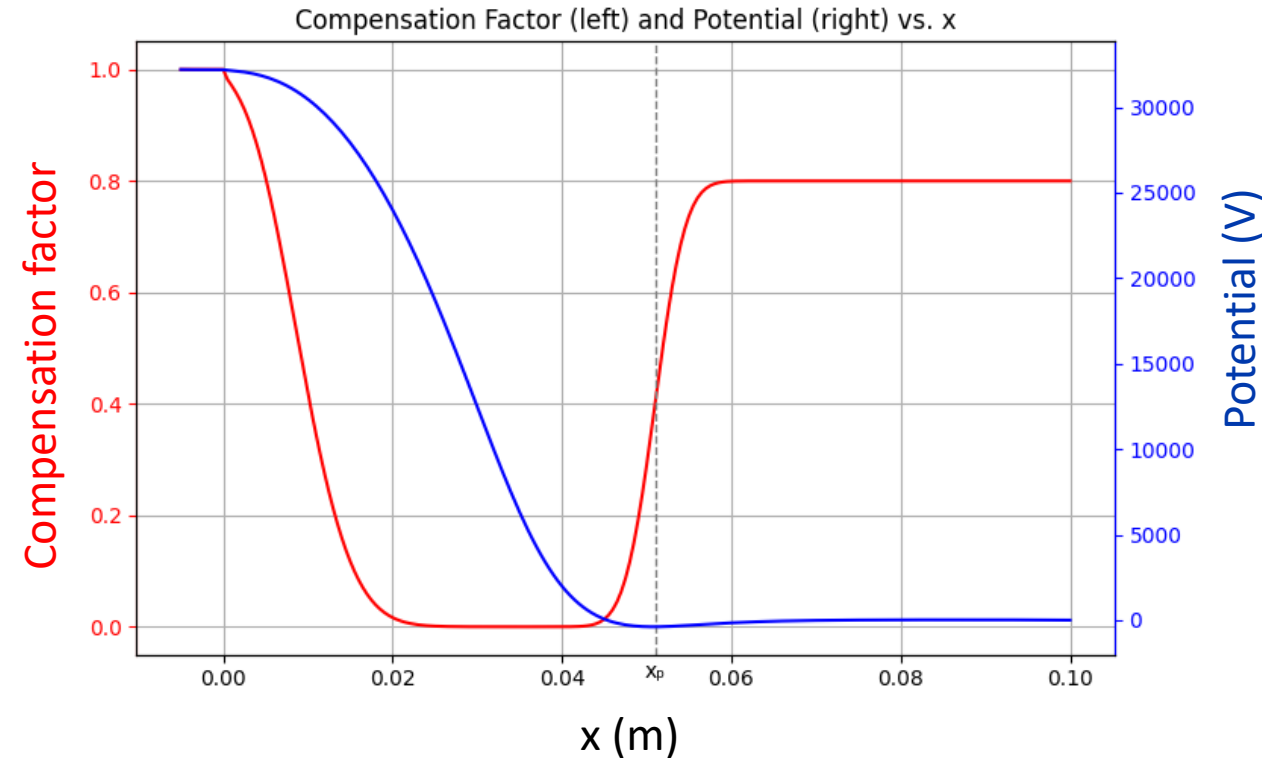
Spectre des états de charge du faisceau d'argon

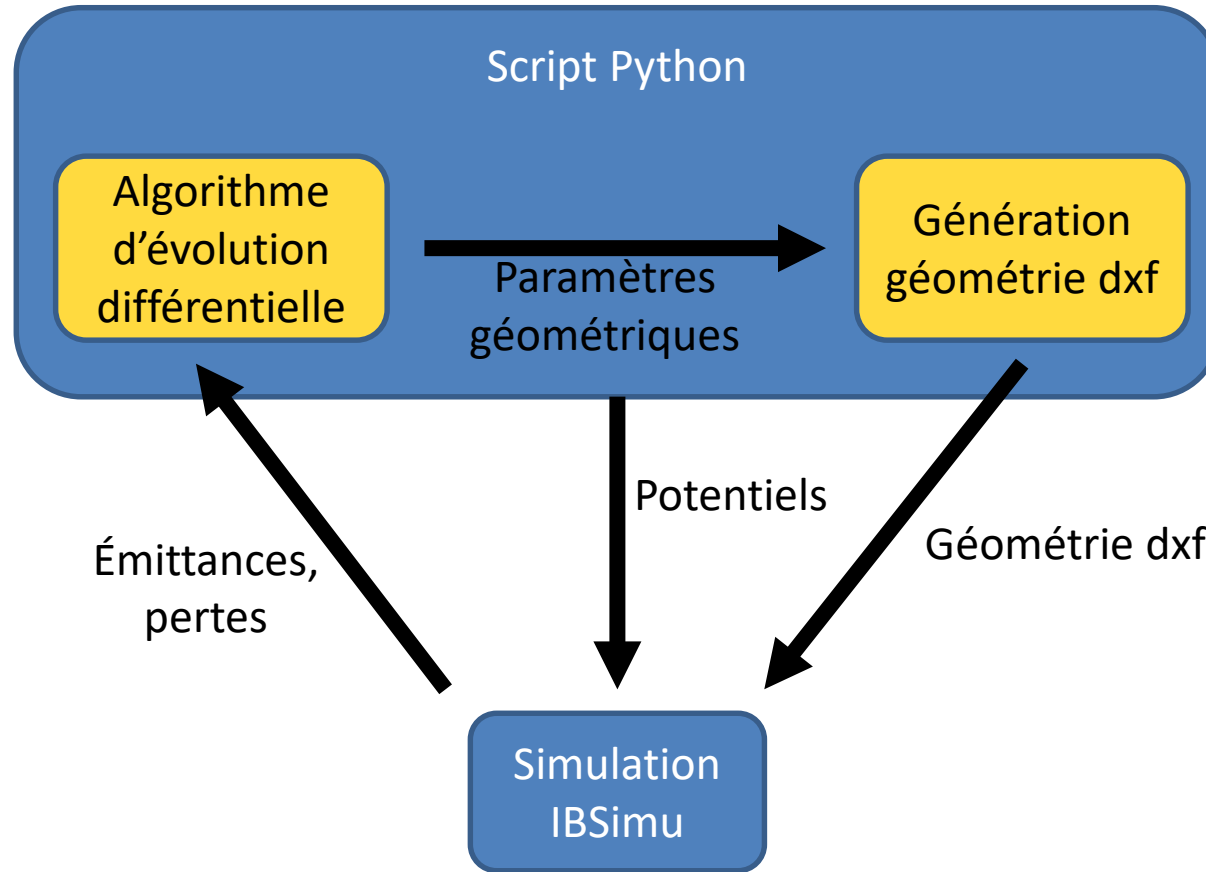
Profil de la compensation de la charge d'espace :

- Implémentation du profil de compensation de charge d'espace $f(x)$ pour prendre en compte les électrons chauds s'échappant du plasma vers l'extraction :

$$f(x) = e^{-\frac{\Delta V(x)}{T_{e_{hot}}}} + \frac{1}{2} f_c (1 + \operatorname{erf}(b(x - x_p)))$$

- Transition entre la partie accélératrice et la région sans champ au niveau du minimum de potentiel créé par l'électrode repousseuse
- Pour les simulations, $T_e^{hot} = 2000$ eV et le facteur de compensation dans la LEBT est de 80%





Paramètres de l'optimisation :

- Électrode plasma : [20kV, 40kV]
- Électrode repousseuse d'e⁻ : [-1kV, -10kV]
- “gap” : [22mm, 60mm]
- Angle d'extraction : [5°, 45°]

Objectifs de l'optimisation :

- Minimiser l'émittance à 700 mm du faisceau d'Ar¹²⁺
- Émittance transverse totale normalisée :

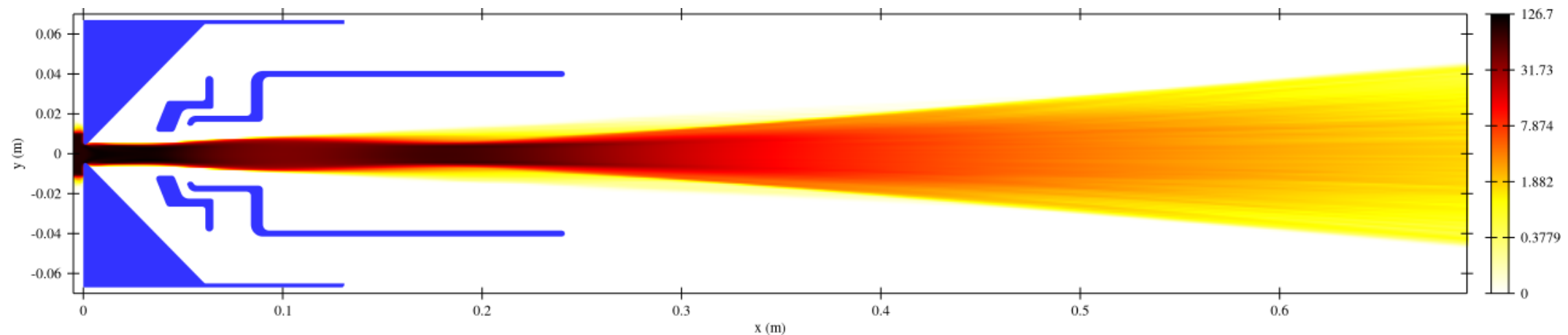
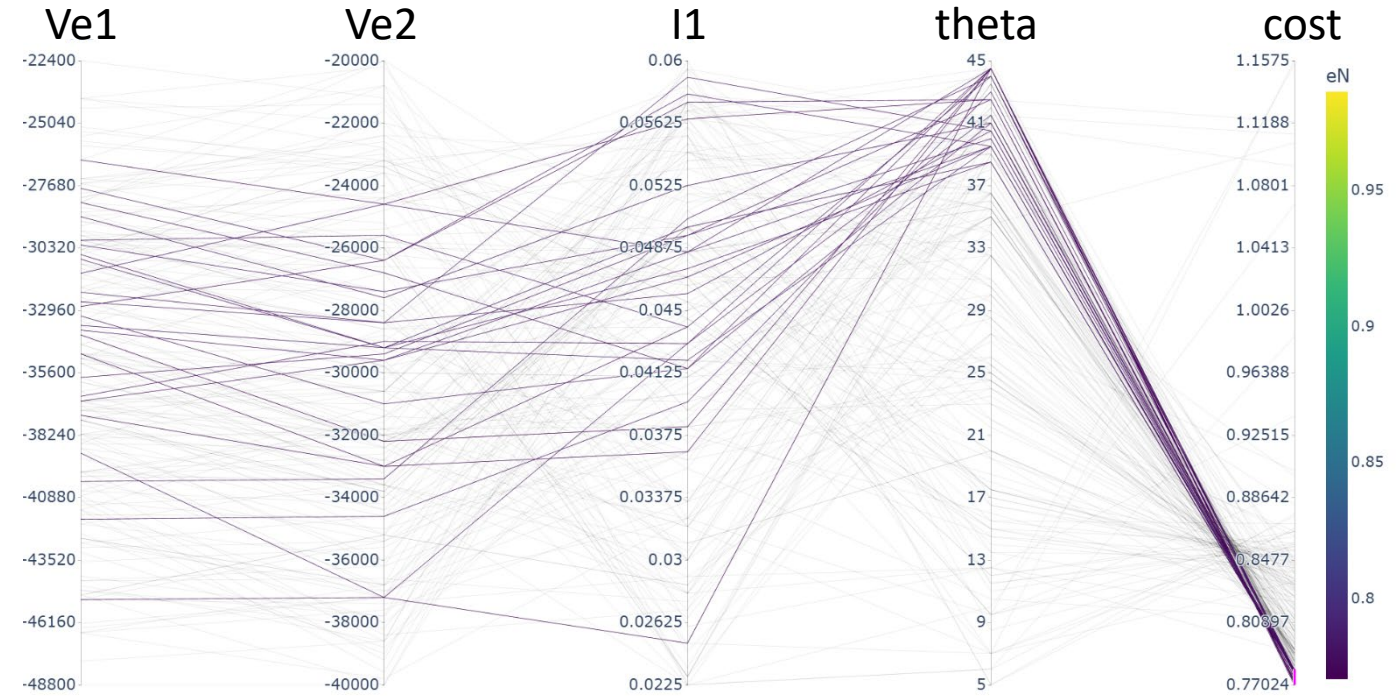
$$\varepsilon_{tot,n} = \beta\gamma \sqrt{\varepsilon_y^2 + \varepsilon_z^2}$$

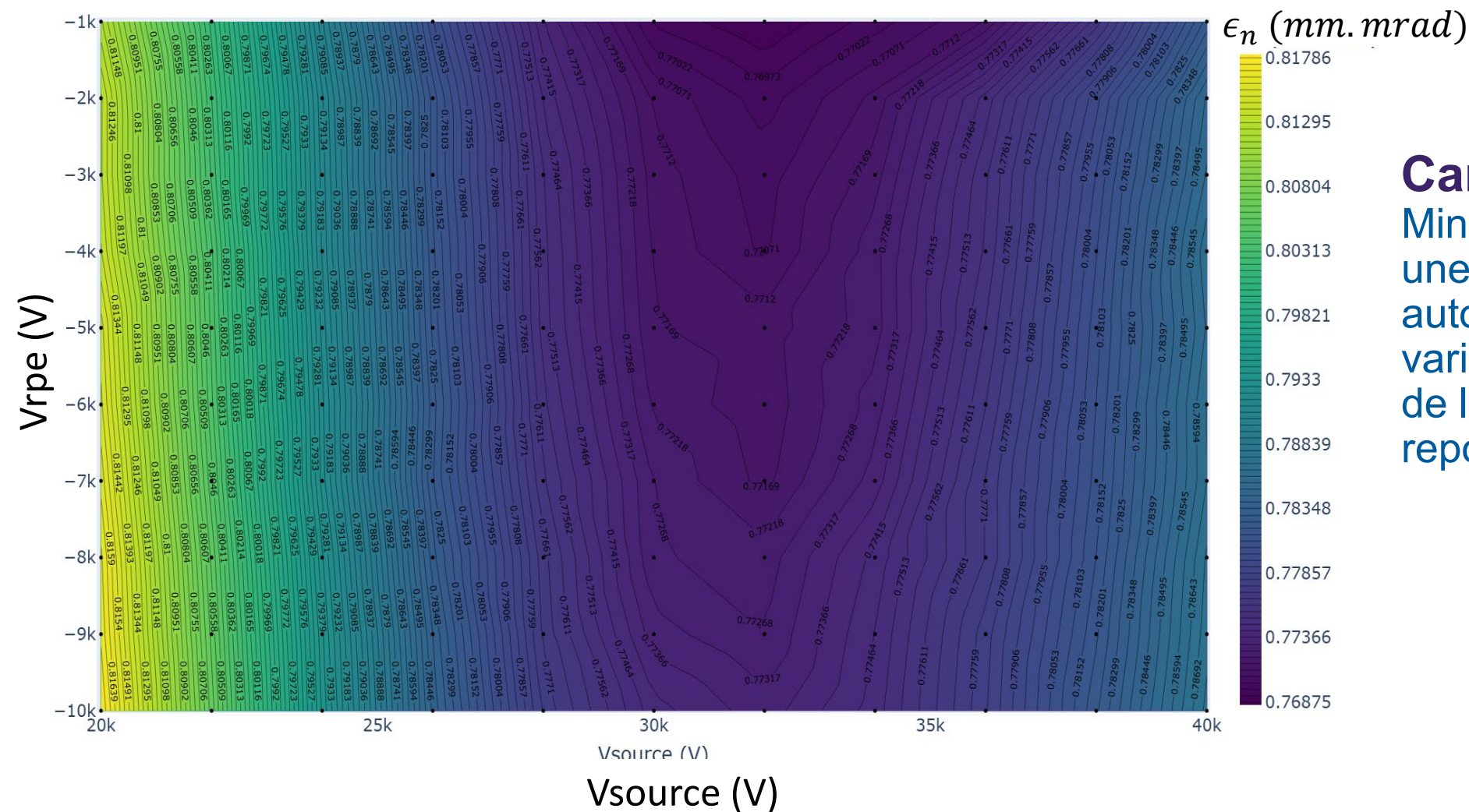
Paramètres optimisés :

- “gap” 38 mm
- Angle d'extraction 44,5°
- Électrode plasma 32,2 kV
- Électrode repousseuse d'e⁻ -1,8 kVz

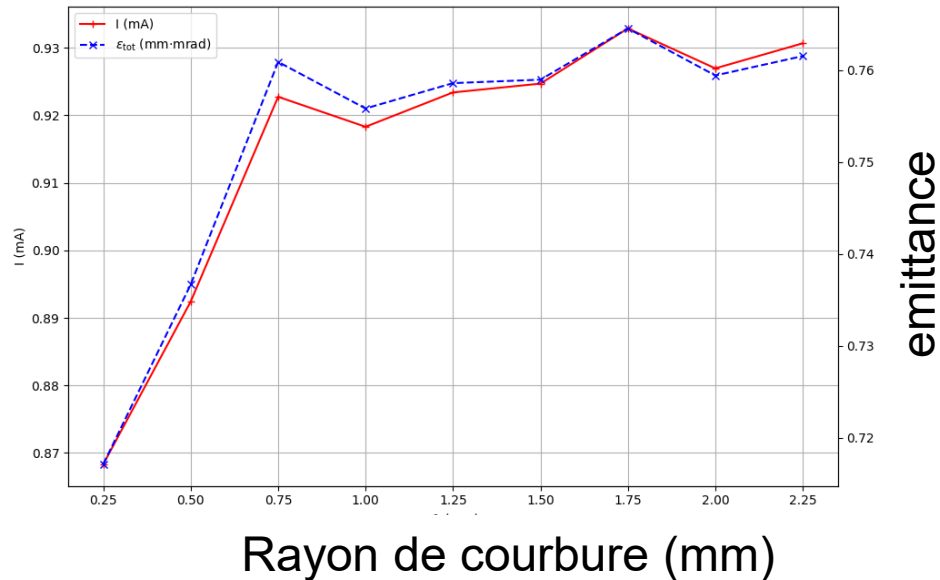
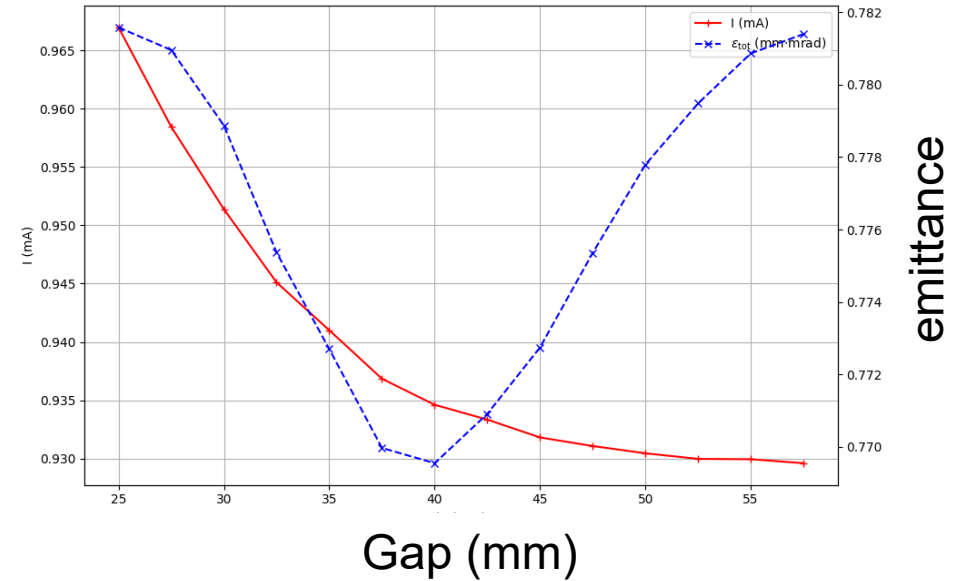
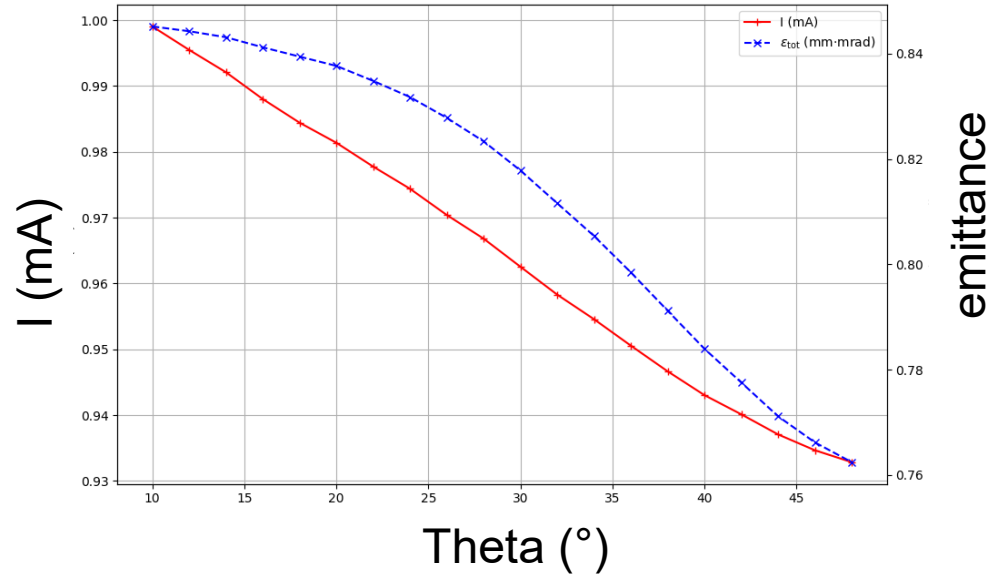
Émittance normalisée à 700 mm :

$$\varepsilon_{tot,n} = 0,245 \pi.\text{mm.mrad}$$



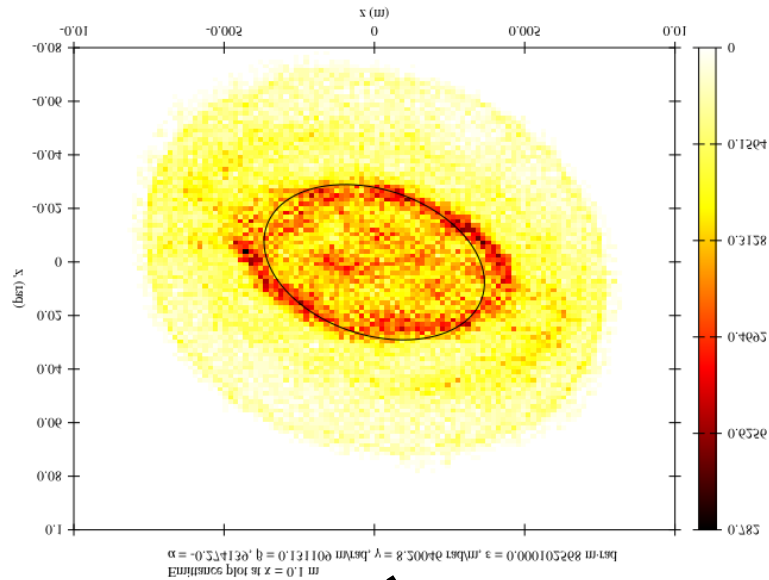


Carte des potentiels
Minimum d'émittance pour une électrode plasma autour de 32 kV. Peu de variation avec le potentiel de l'électrode repousseuse d'e.



Variation des paramètres géométriques :

- On observe l'existence d'un minimum pour une valeur de "gap" d'environ 40 mm. Le courant diminue avec le "gap"
- Au delà de 0,75 mm de rayon de courbure, le courant et l'émittance restent stables
- Le courant et l'émittance décroissent avec l'angle d'extraction



Courant total : 5,17 mA

Ions :

- O 1+ à 6+
- U 8+ à 46+

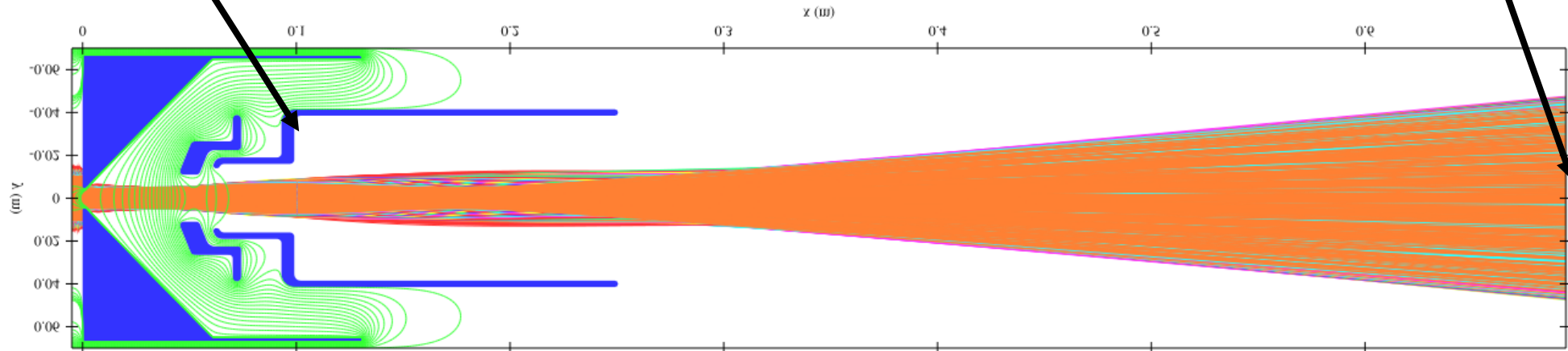
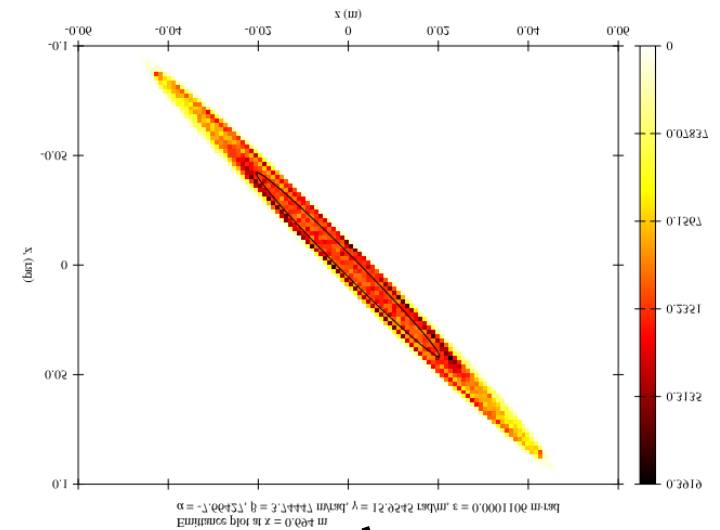
Gap 47 mm

Vsource : 20kV

Vrpe = -7,4 kV

**Emittance normalisée à x = 700mm
pour U³⁴⁺ (386 μ A) :**

$$\varepsilon_{tot,n} = 0,123 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$$



Conclusion

- Développement d'un modèle de simulation (IBSimu) paramétrique pour l'extraction d'ASTERICS
- Optimisation de la géométrie et des potentiels pour un faisceau d'argon
- Evaluation de l'influence des paramètres grâce à des études paramétriques

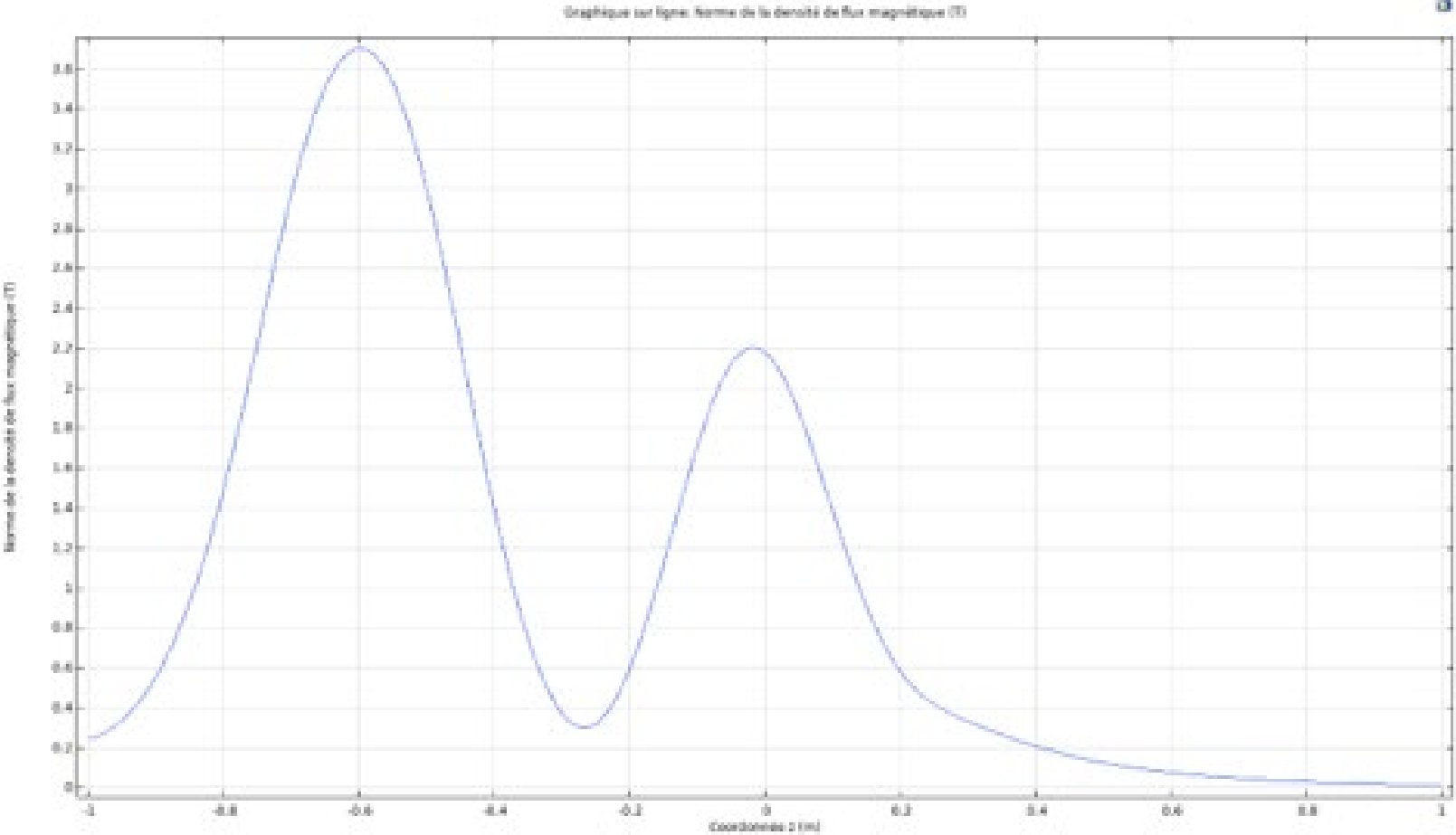
Perspectives

- Optimisation pour le faisceau d'uranium
- Tests expérimentaux ~ 2029-2030

Paramètres de calcul :

- Nb coeurs : 16
- Npart : 1e6
- Maillage : step1 5e-4mm, step2 1e-3mm
- Temps de calcul 1 sim : 25-50 min

Champ mag axiale



Spectre uranium

