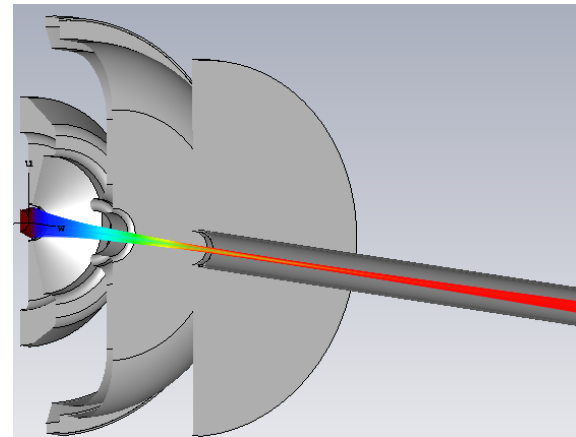


DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



SPRITZ

Source THz compacte de forte puissance

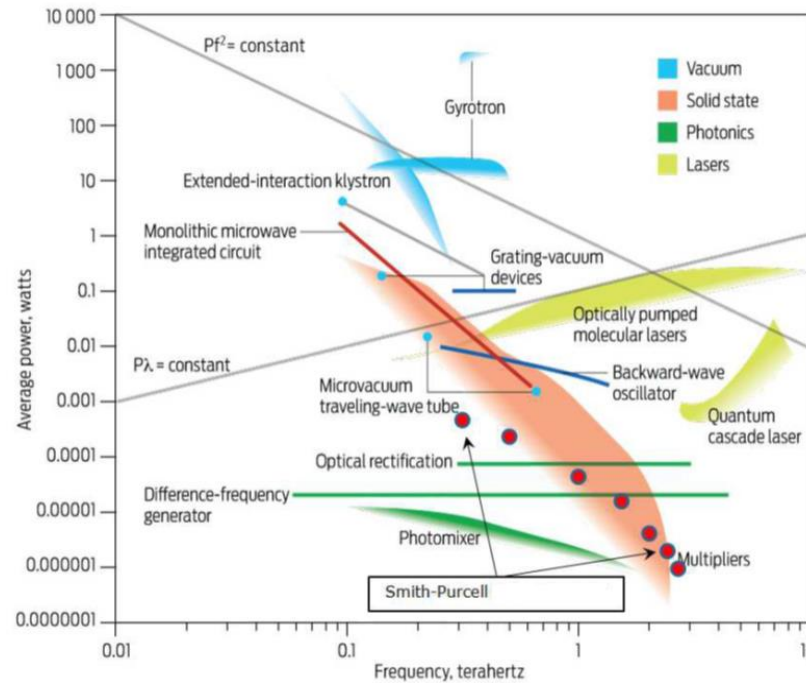


Workshop CEA Source électroniques
11/10/2019

www.cea.fr

J. GARDELLE - B. CASSANY - A.GOEURY*

Aujourd'hui ...



Les sources THz du commerce ont des puissances limitées (~ mW) sur des fréquences de 0,5 à 5 THz.

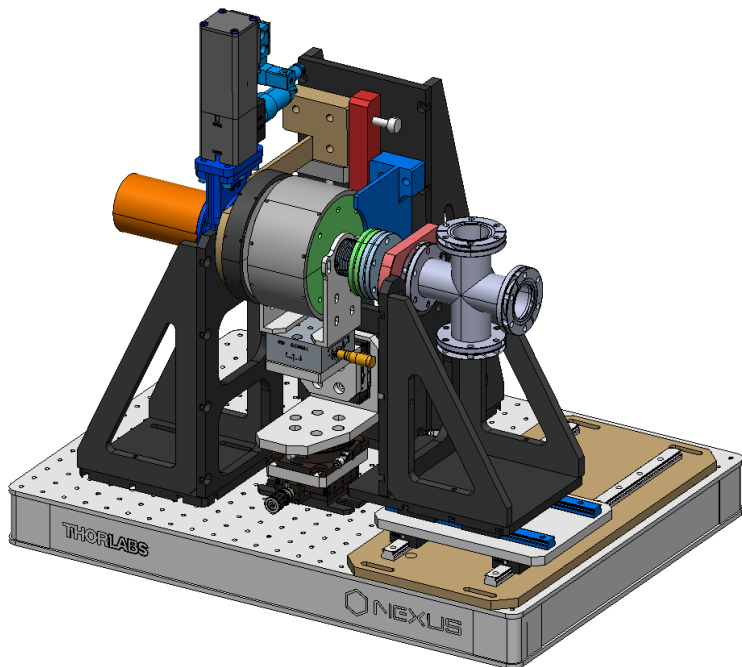
Gyrotrons, Klystrons, Magnetrons peuvent fournir des puissances >1 kW mais jusqu'à des fréquences de 800 GHz.

➔ CEA Cesta & CEA Tech travaillent sur le développement d'une source THz permettant de combler ce besoin.

Objectif: Conception d'une source compacte de forte puissance de rayonnement THz

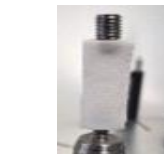
Chaîne d'imagerie THz

Source SPRITZ



1 THz
> 500 mW

Applications



Echantillon

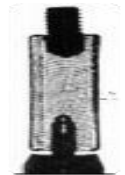
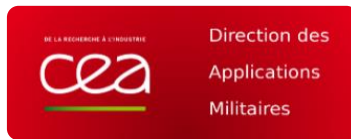
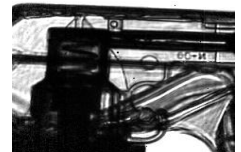
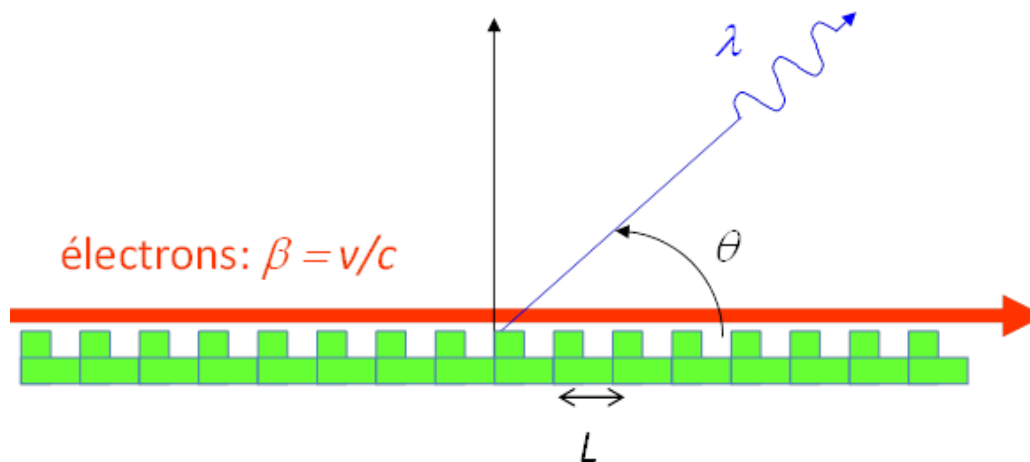


Image THz



Génération du rayonnement THz...

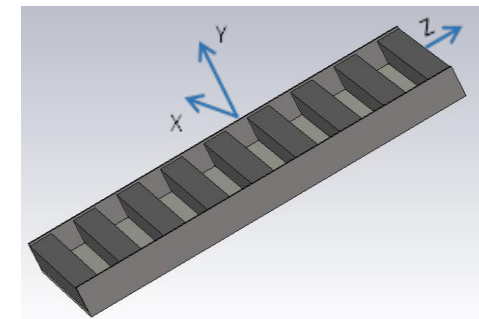


Relation de Smith-Purcell :

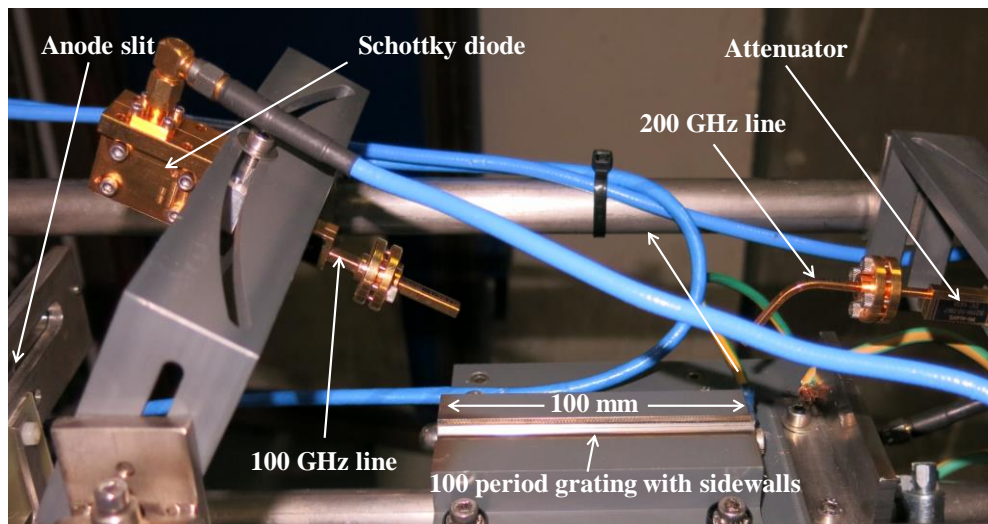
$$\lambda = \frac{L}{|n|} \left(\frac{1}{\beta} - \cos\theta \right)$$

où: λ = longueur d'onde
 L = période du réseau
 n = ordre de diffraction
 $\beta = v/c =$ vitesse relative des électrons

Pour 1 THz, réseau d'une période de 100 μm



« vue » 3D RSP



Principe étudié par **J. Donohue** (CNRS-CENBG) et **J. Gardelle** (CEA Cesta)

R&D SP au CESTA 2004-2016

- J.T.Donohue, J. Gardelle, "Simulation of smith-purcell terahertz radiation using a particle-in-cell code", JACoW/eConf C0508213 (2005), 262.
- J.T.Donohue, J. Gardelle, "Simulation of Smith-Purcell radiation using a particle-in-cell code", Physical Review ST 8 (2005), 060702.
- J.T.Donohue, J. Gardelle, "Simulation of smith-purcell terahertz radiation using a particle-in-cell code", Physical Review ST 9 (2006), 060701.
- H. L. Andrews, C. H. Boulware, C. A. Brau, J. T. Donohue, J. Gardelle, and J. D. Jarvis, "Effect of reflections and losses in Smith-Purcell free-electron lasers", New Journal of Physics 8,289 (2006)
- J.T.Donohue, J. Gardelle, "Extracting information from smith-purcell FEL simulations JACoW/e (2006), 45 .
- J.T.Donohue, J. Gardelle, "Simulation of smith-purcell FELs at terahertz frequencies JACoW/e (2006), 49 .
- J.T.Donohue, J. Gardelle, "Coherent Smith-Purcell radiation:Theories and simulations", NIM B266, 3816 (2008).
- J.T.Donohue, J. Gardelle, "Two and three dimension simulations of Smith-Purcell terahertz radiation using a particle-ion-cell code", NIM B266, 3822 (2008).
- J. Gardelle, J. T. Donohue, "Three dimensional simulations of coherent Smith-Purcell radiation using a particle-in-cell code", IEEE Transaction on Electron devices 56, 769 (2009).
- J. Gardelle, L. Courtois, P. Modin and J.T. Donohue, "Observation of Coherent Smith-Purcell Radiation Using an Initially Continuous Flat Beam", Physical Review STA&B 12 (2009), 110701.
- J.T.Donohue, J. Gardelle, "Three-dimensional modes of a lamellar grating for Smith-Purcell experiments", JACoW/e (2010), xx .
- J.T.Donohue, J. Gardelle, "Dependence of gain on current in the coherent Smith-Purcell experiment at CESTA", JACoW/e (2010), xx .
- J. Gardelle, P. Modin and J.T. Donohue, "Start Current and Gain Measurements for a Smith-Purcell Free-Electron Laser", Phys. Rev. Lett. 105 (2010), 224801.
- J.T. Donohue, J. Gardelle, "Dispersion relation for a three-dimensional lamellar grating", Physical Review STA&B 14 (2011), 060709.
- J.T. Donohue, J. Gardelle, "Simulation of a Smith-Purcell free-electron laser with sidewalls: Copious emission at the fundamental frequency", Applied Physics Letters 99 (2011), 161112.
- J. Gardelle, P. Modin and J.T. Donohue, "Observation of Copious Emission at the Fundamental Frequency by a Smith-Purcell Free-Electron Laser with Sidewalls", Applied Physics Letters 100 (2012), 131103.
- H. P. Bluem, R. H. Jackson, Jr., J. D. Jarvis, A. M. M. Todd, J. Gardelle, P. Modin, and J. T. Donohue, "First Lasing from a High Power Cylindrical Grating Smith-Purcell Device", IEEE Trans. Plasma Sc., 43, 9, 3176 (2015).
- J. Gardelle, P. Modin, H. P. Bluem, R. H. Jackson, Jr., J. D. Jarvis, A. M. M. Todd, J. Gardelle, P. Modin, and J. T. Donohue, "A Compact THz Source: 100/200 GHz Operation of a Cylindrical Smith-Purcell Free-Electron Laser", IEEE Trans. Terahertz Science and Technology, 6, 497 (2016).
- J. Gardelle, P. Modin and J. T. Donohue, "Radiation at 100 and 200 GHz from a compact planar Smith-Purcell Free-Electron Laser", IEEE Trans. Terahertz Science and Technology, to be published (2017).

Principe de SPRITZ :

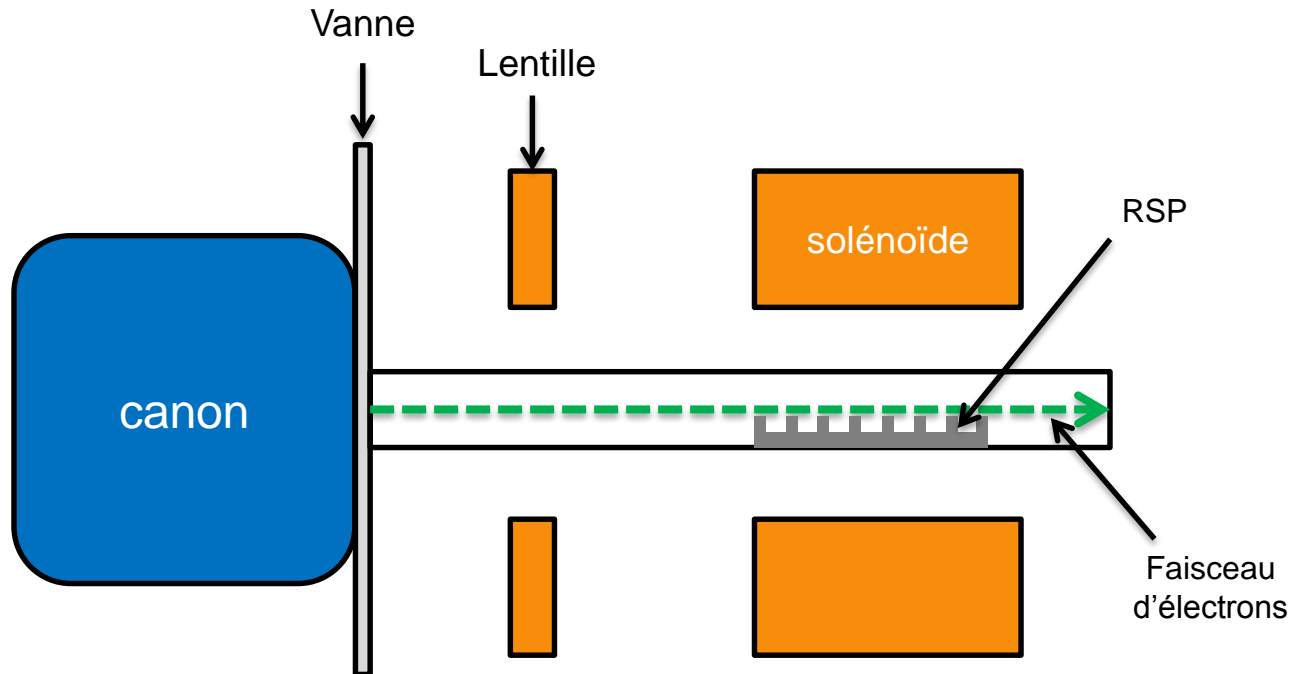
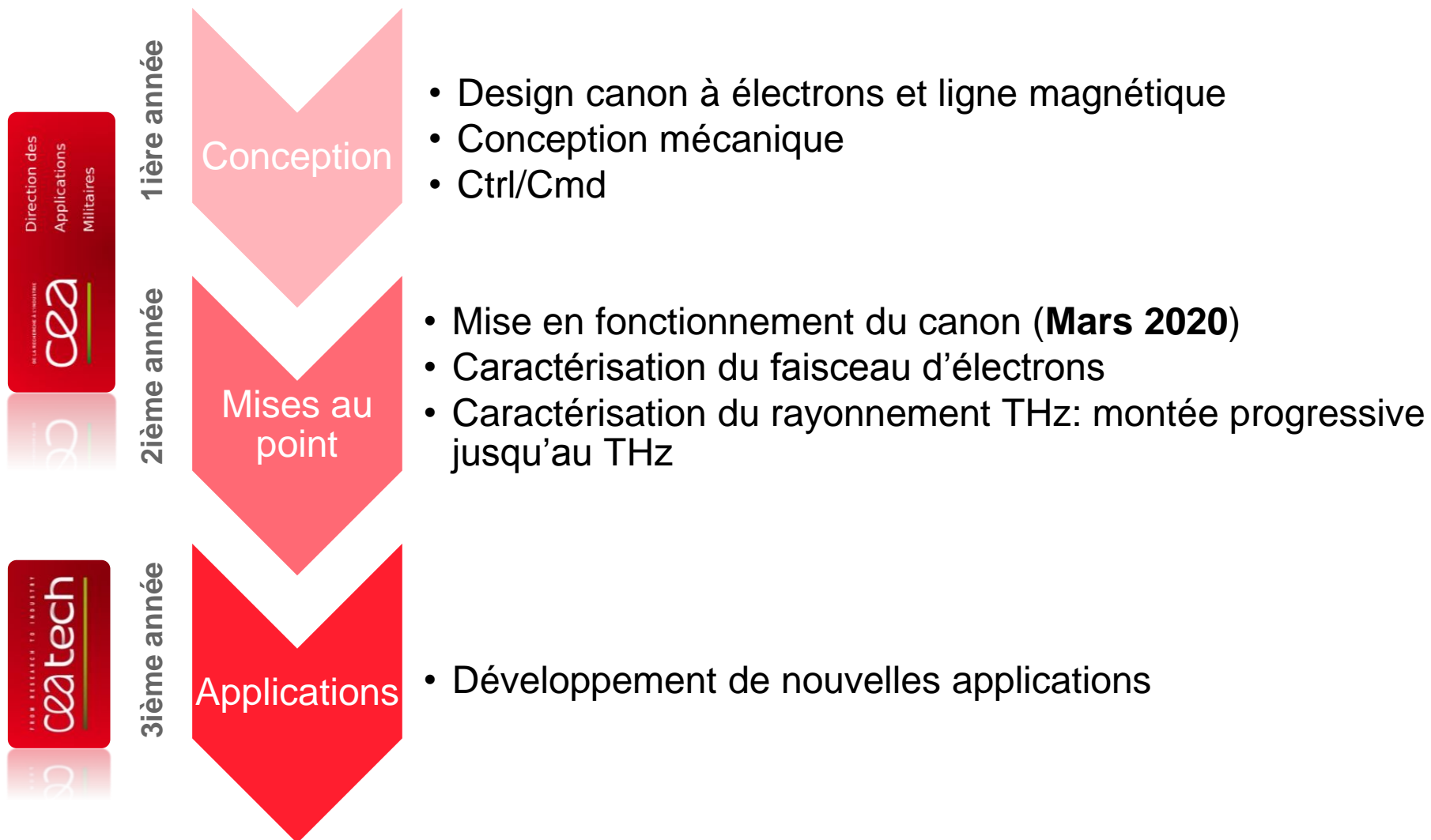


Schéma de principe de la ligne magnétique avec deux bobines et les paramètres fondamentaux

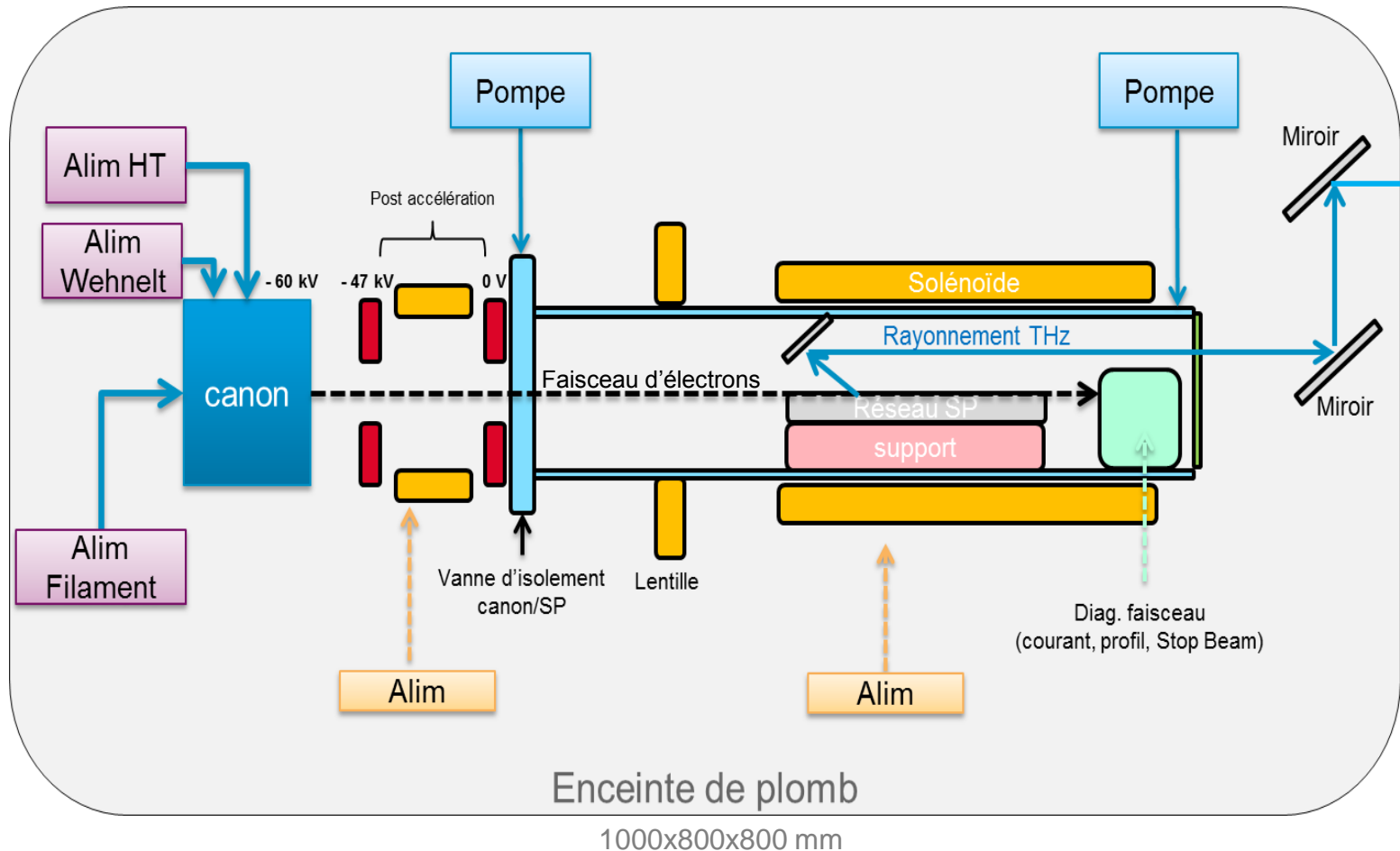
- Détermination des paramètres du faisceau.
- Dimensionnement de la ligne magnétique.

DATE CLÉS DU PROJET...



SYNOPTIQUE GÉNÉRAL DU SYSTÈME

Ci-dessous l'ébauche de la source de Smith-Purcell :



Besoin opérationnel

Pour produire le rayonnement THz, les paramètres faisceau devront être proches des valeurs suivantes :

- énergie des électrons: **60 keV**
- courant faisceau: **60 mA**
- « **waist** » **naturel** situé \approx en **sortie de Vanne d'isolement**

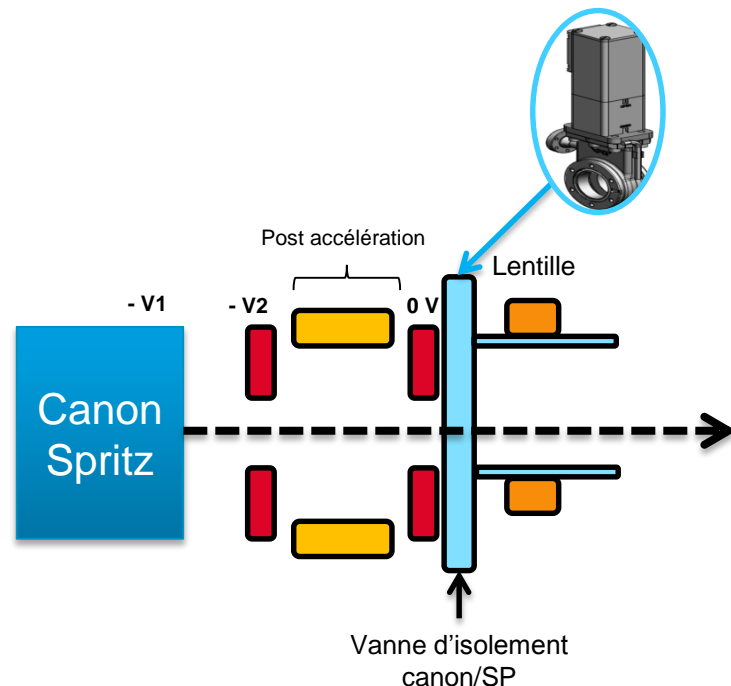
Solutions envisagées

Avec Post - Accélération:

- Mécanique conservée

Sans post-accélération (60 kV directement appliqués):

- Réduction du nombre d'alimentations
- « meilleur faisceau »



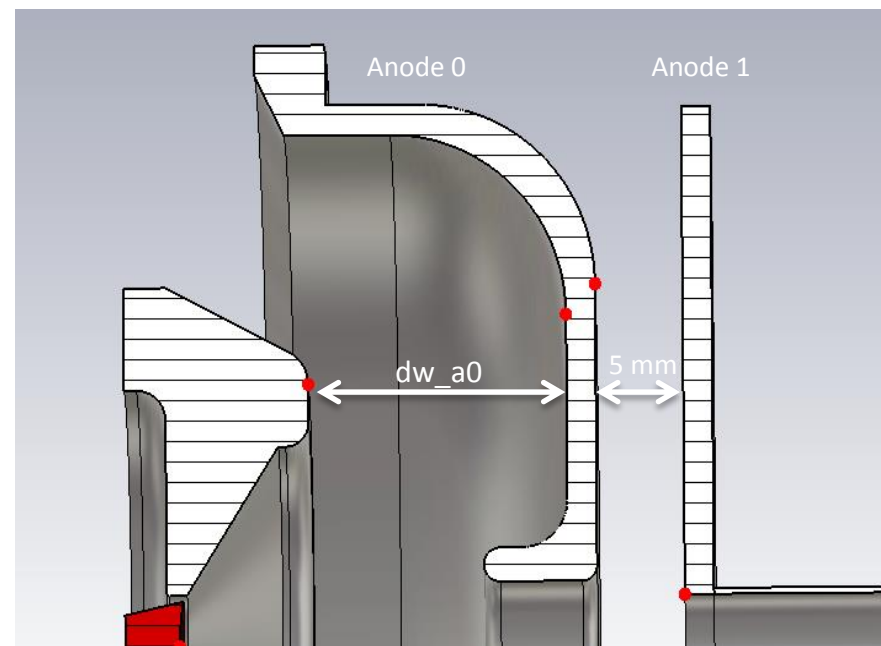
Objectif

- Obtenir les caractéristiques faisceau désirées en montant directement en tension sans modification du canon (47 kV au lieu de 3 kV).

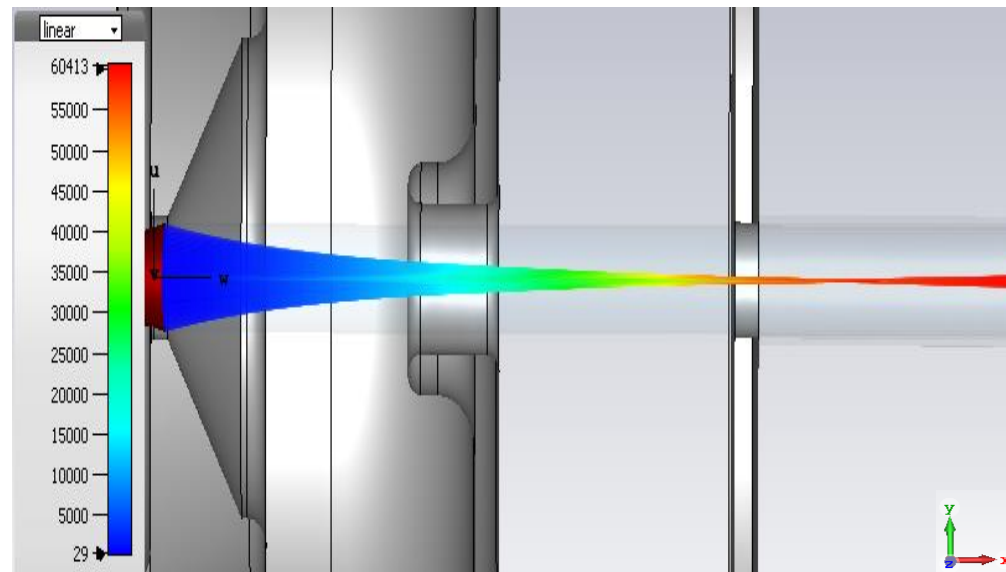
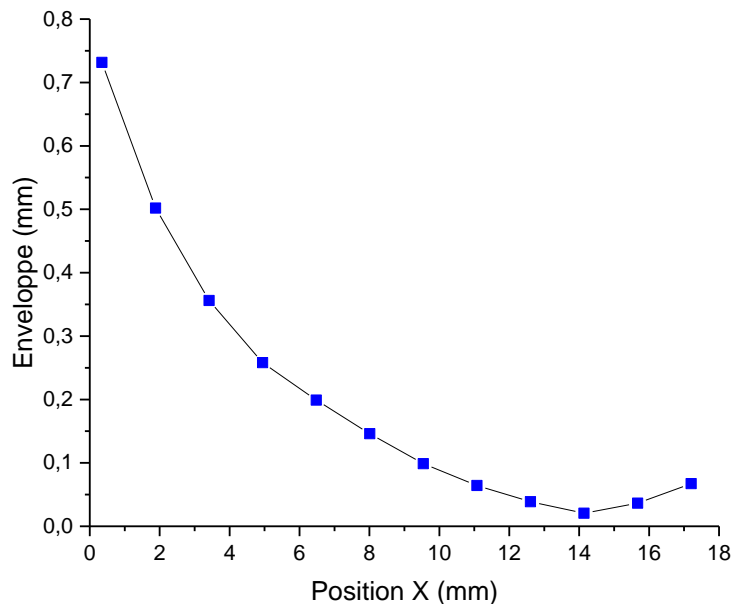
Paramètres de simulation

- Modèle d'émission « Thermoïonique »
 - **1253 K**
 - Work function: **1,85 eV**
- Potentiels
 - Cathode: **-60 kV**
 - Wehnelt: **-60 kV - 5 V**
 - Anode 0: **-47 kV**
 - Anode 1: **0 V**

« Vue » CAO du canon Spritz



Résultats de simulation



« Vue » du faisceau

Conclusion

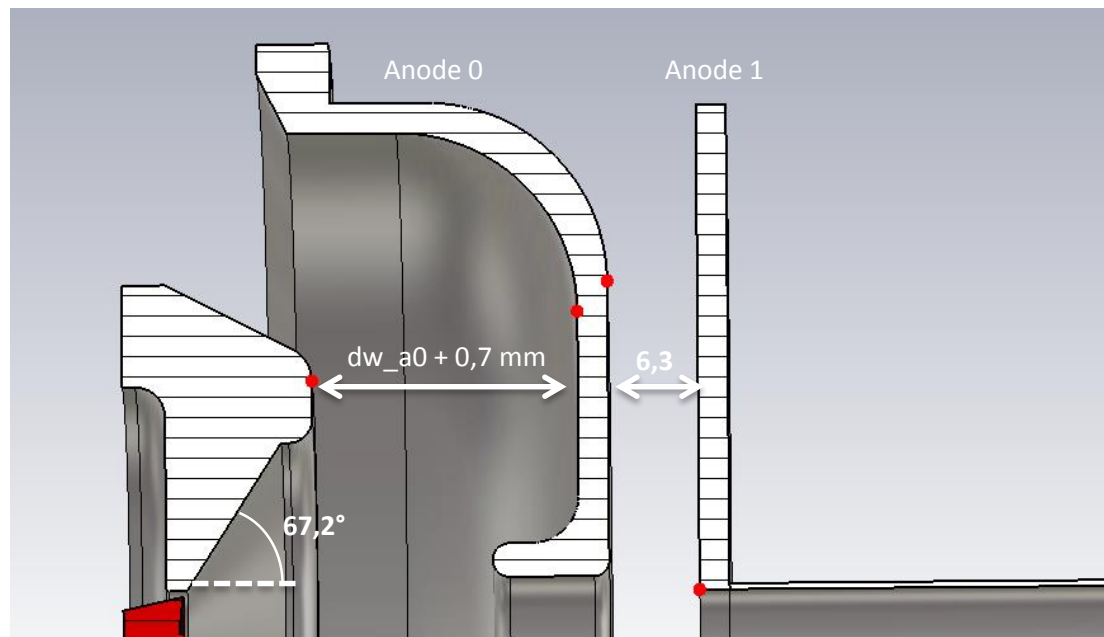
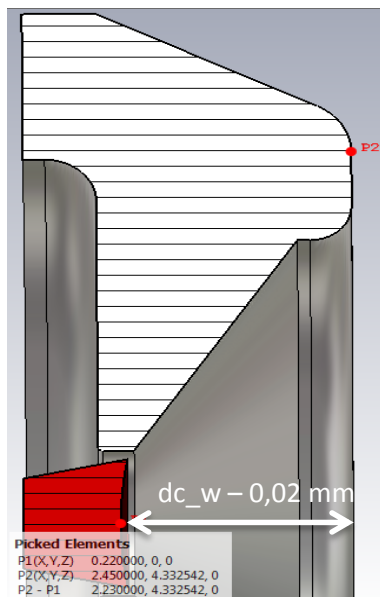
- Distance du « waist » par rapport au centre de la cathode: **14,2 mm**
- Rayon max du faisceau au « waist » : **20,5 μm**
- Emittance rms : **0,04 mm.mrad**
- Courant faisceau: **74,5 mA**



Focalisation trop importante ?

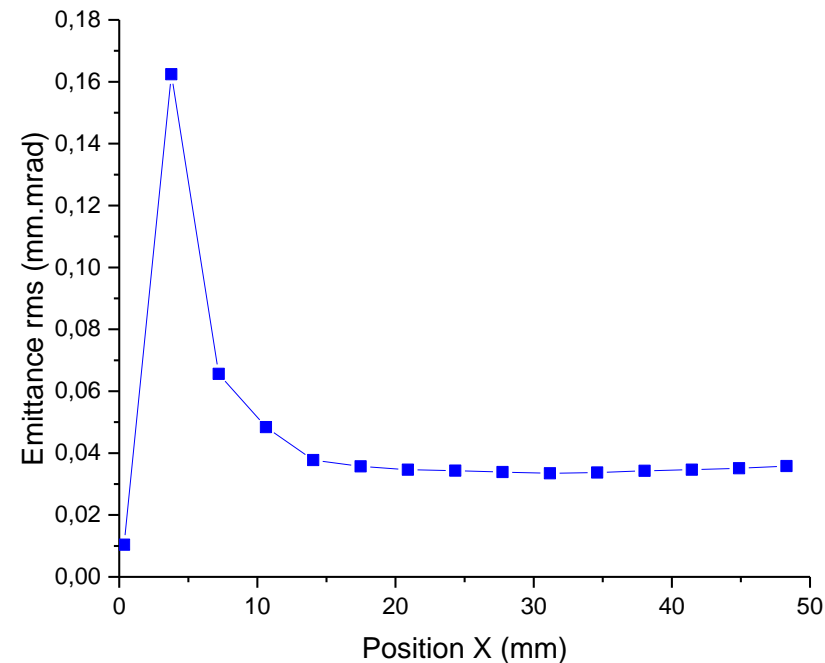
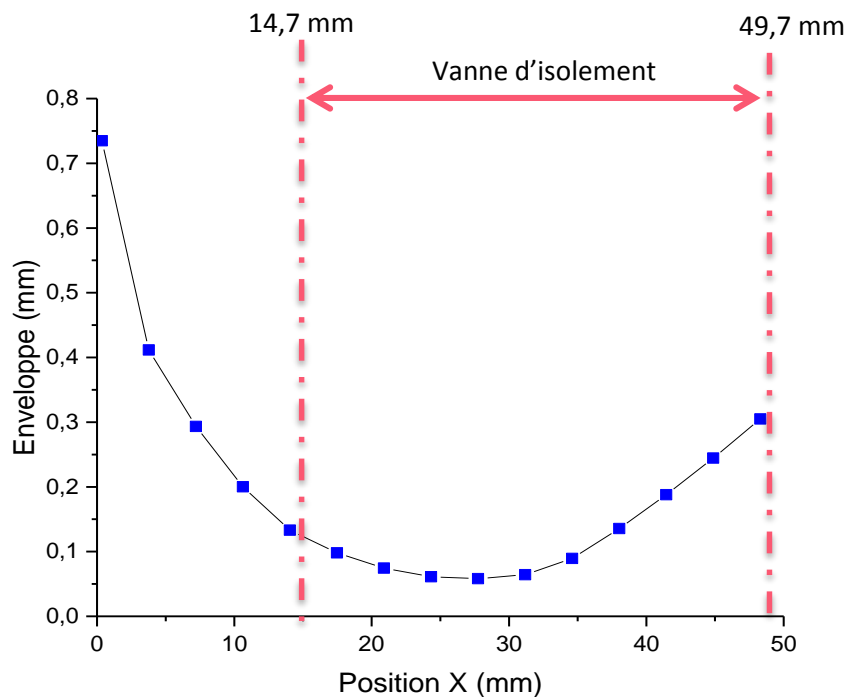
Solution envisagée

CAO du canon Spritz :



Angle du Wehnelt : 67,2°

Résultats de simulation



- Distance du « waist » par rapport au centre de la cathode: **27,6 mm**
- Rayon max du faisceau au « waist » : **58,2 μm**
- Emittance rms au « waist » : **0,033 mm.mrad**
- Courant faisceau: **77,2 mA**

Conclusion

Configuration	V_foc = -5 V
Température : 1253 K Travail d'extraction : 1,85 eV Potentiel Anode 1 : 0 V Potentiel Anode 0 : -47 kV Potentiel Cathode : - 60 kV Potentiel Wehnelt : - 60 kV -V_foc Absence de champs magnétiques externes	<ul style="list-style-type: none"> • $I_{faisceau} = 77,2 \text{ mA}$ • R_{max} au waist = 58,2 μm • $d_{waist} = 27,74 \text{ mm}$ • ε_{rms} au « waist » = 0,033 mm.mrad • R_{max} en sortie de vanne d'isolement < 200 μm • $\varepsilon_{rms} = 0,035 \text{ mm.mrad}$



Design conforme à notre besoin opérationnel

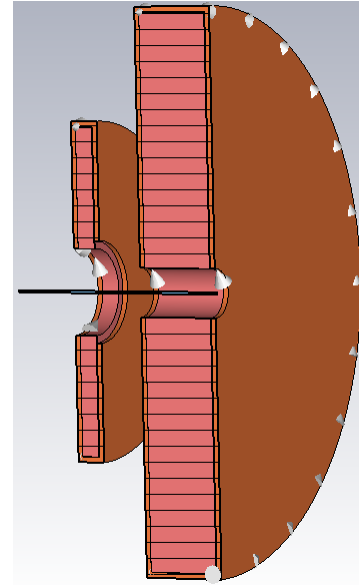
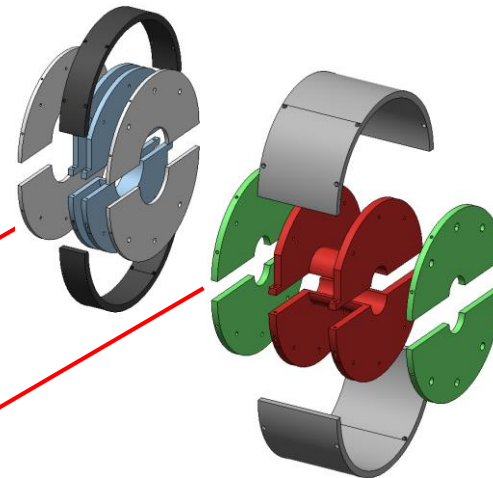
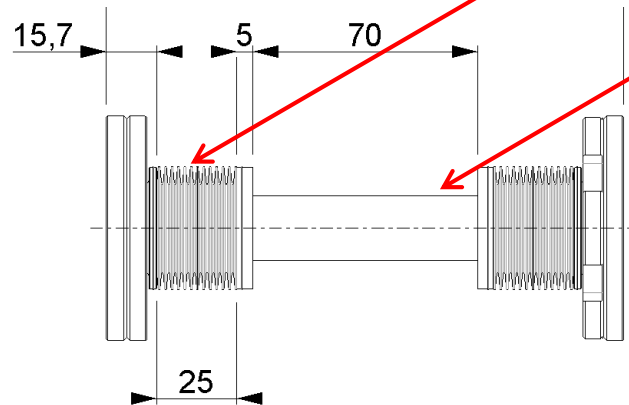
Besoin opérationnel

Pour produire le rayonnement THz, les paramètres faisceau devront être proches des valeurs suivantes :

- Rayon du faisceau le long du RSP: **20 μm**
- Faibles oscillations de l'enveloppe du faisceau,

Solution retenue

1 lentille + 1 solénoïde



Configuration

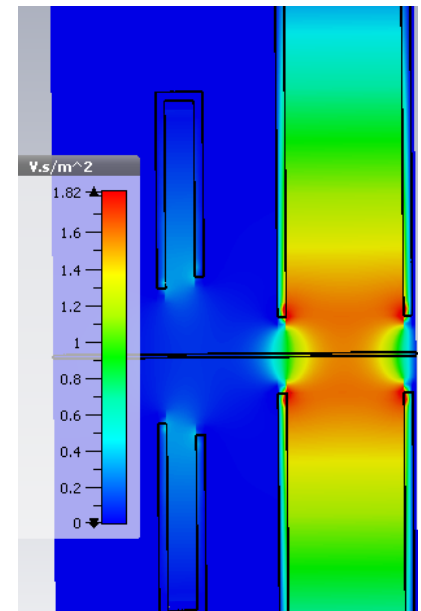
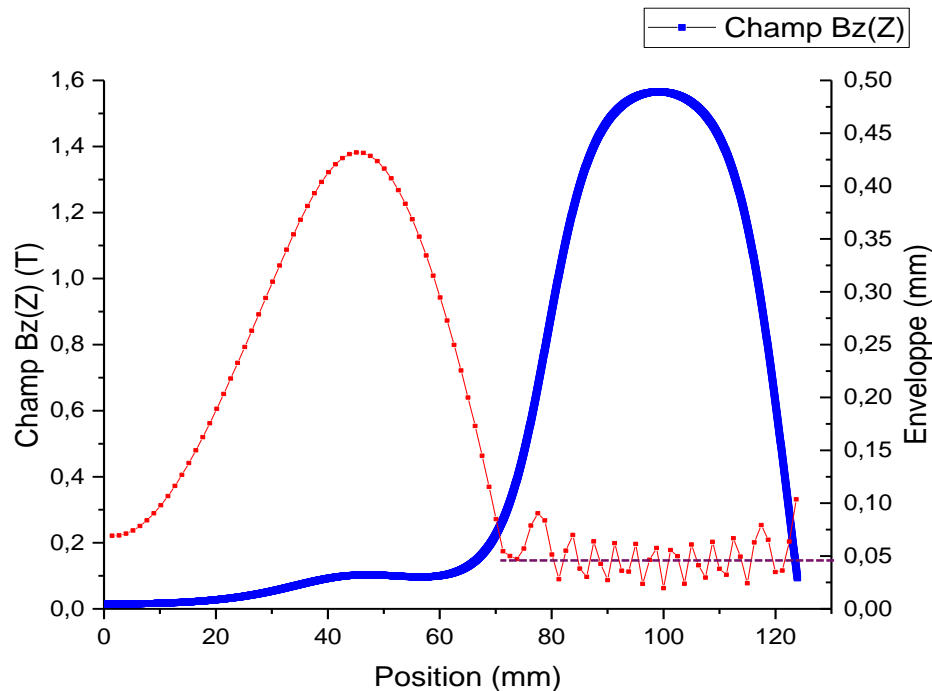
Paramètres de la lentille:

- L = 10mm longueur
- Ri = 23 mm
- Re = 87 mm
- Densité de courant = 4,37 A/mm²

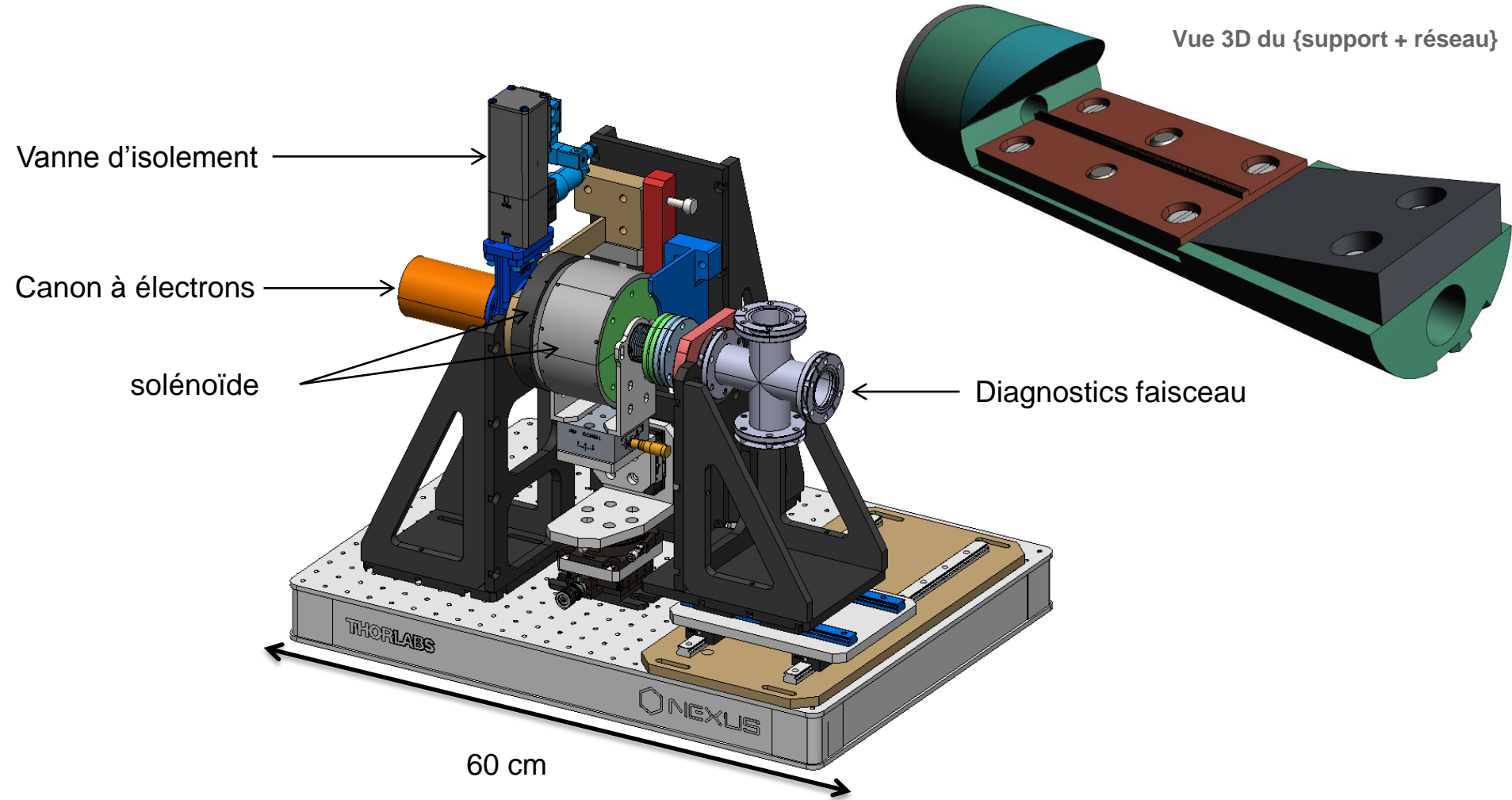
Paramètres solénoïde long:

- L = 40mm longueur
- Ri = 13 mm
- Re = 138 mm
- Densité de courant = 10 A/mm²

Résultats



Etude en cours.



Objectifs à venir ...

Canon SPRITZ :

- Validation du design du canon
- Fabrication
- Mise en fonctionnement

Ligne Magnétique :

- Comparaison simulation/expérimentation

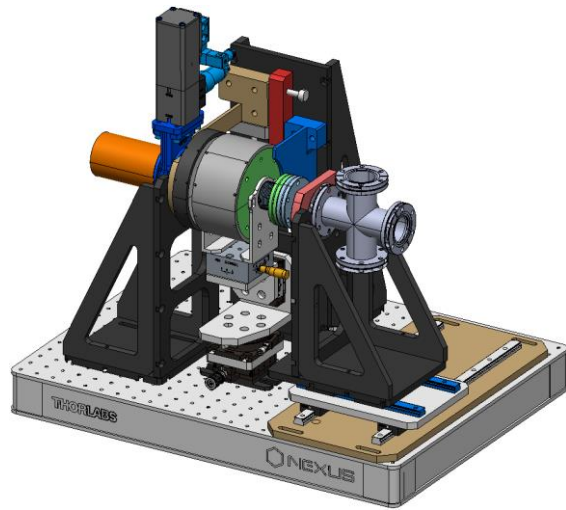
Génération THz :

Caractérisation du rayonnement avec:

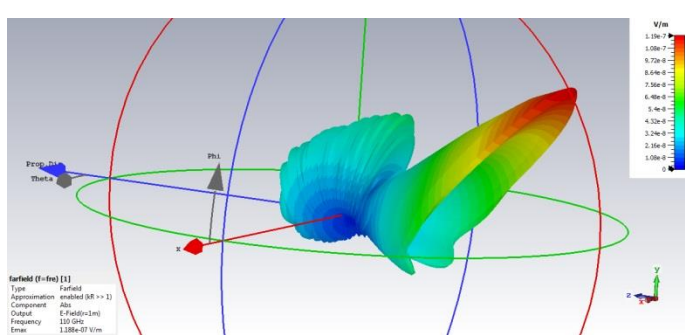
1. RSP-300
2. RSP-600
3. RSP-1000

Après SPRITZ ...

- Augmenter le « Duty Cycle » et le rendement
- Régler pb de gestion de la thermique
- $F \gg 1$ THz en augmentant l'énergie du faisceau et en réduisant la taille du pas du réseau de Smith-Purcell



MERCI POUR VOTRE ATTENTION !



Contact ...

bruno.cassany@cea.fr
jacques.gardelle@cea.fr
alexandre.goEURY@cea.fr