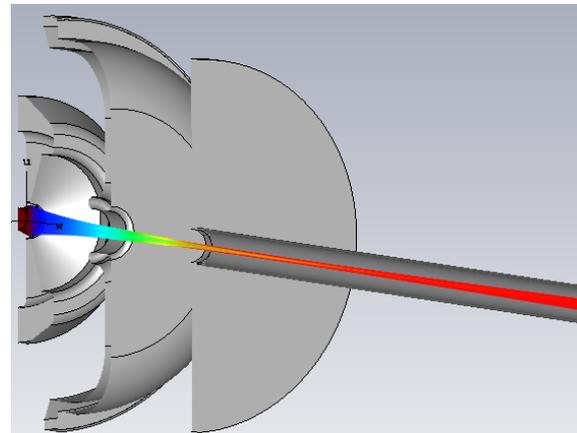


DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



# SPRITZ

## Source THz compacte de forte puissance

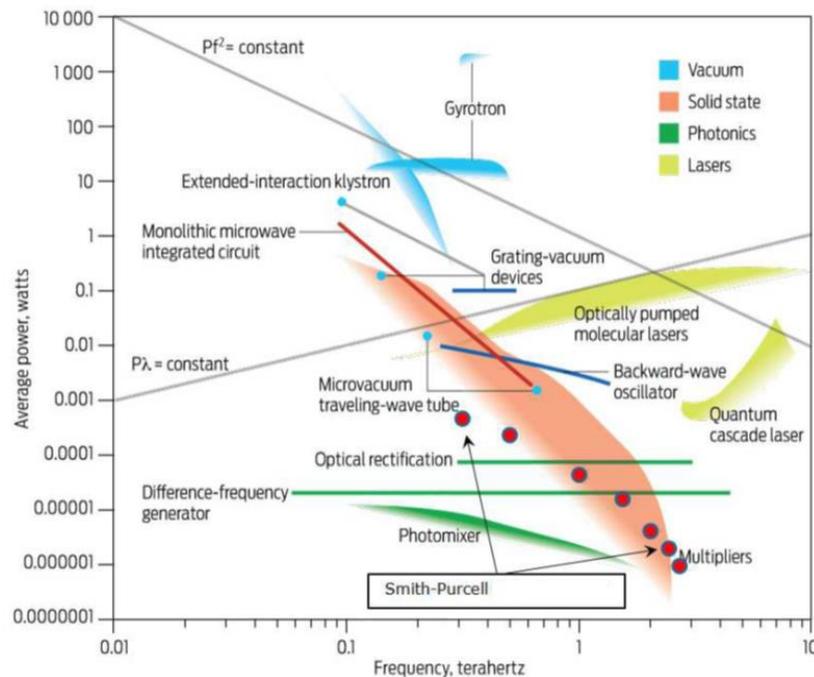


Workshop CEA Source électroniques  
11/10/2019

[www.cea.fr](http://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.

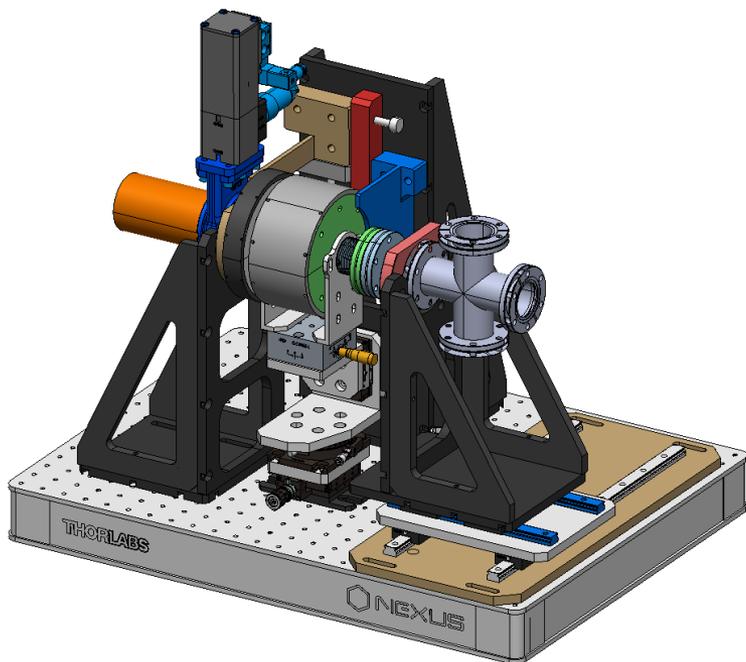
Gyrotrons, Klystrons, Magnétrons peuvent fournir des puissances >1 kW mais jusqu'à des fréquences de 800 GHz.

**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

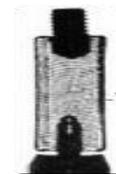
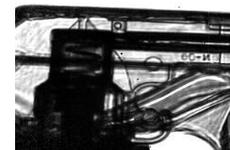
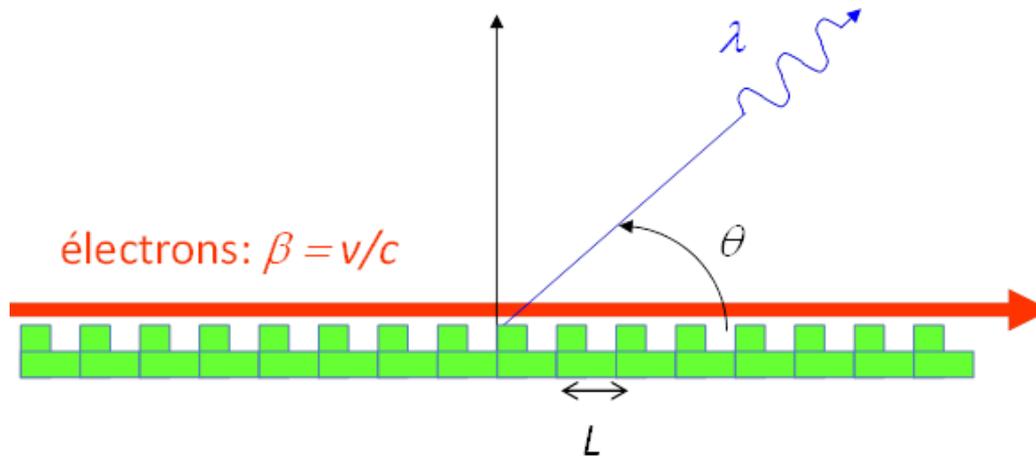


Image THz



## Génération du rayonnement THz...

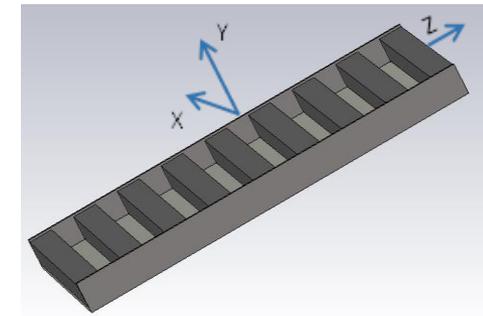


Relation de Smith-Purcell :

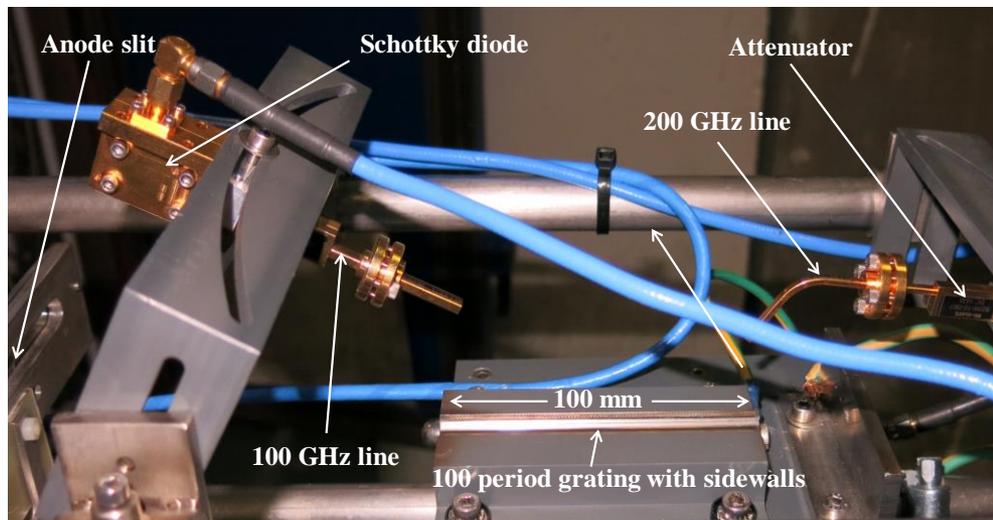
$$\lambda = \frac{L}{|n|} \left( \frac{1}{\beta} - \cos\theta \right)$$

où:  $\lambda$  = 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  $\mu\text{m}$



« 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 :

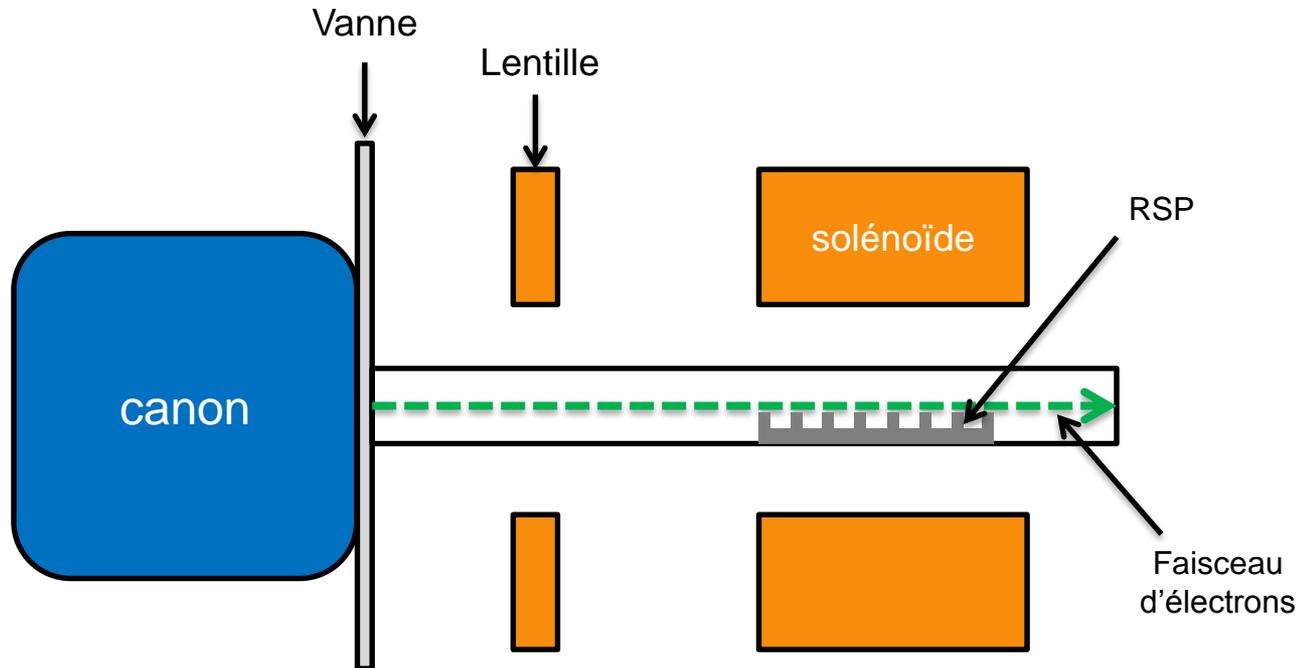
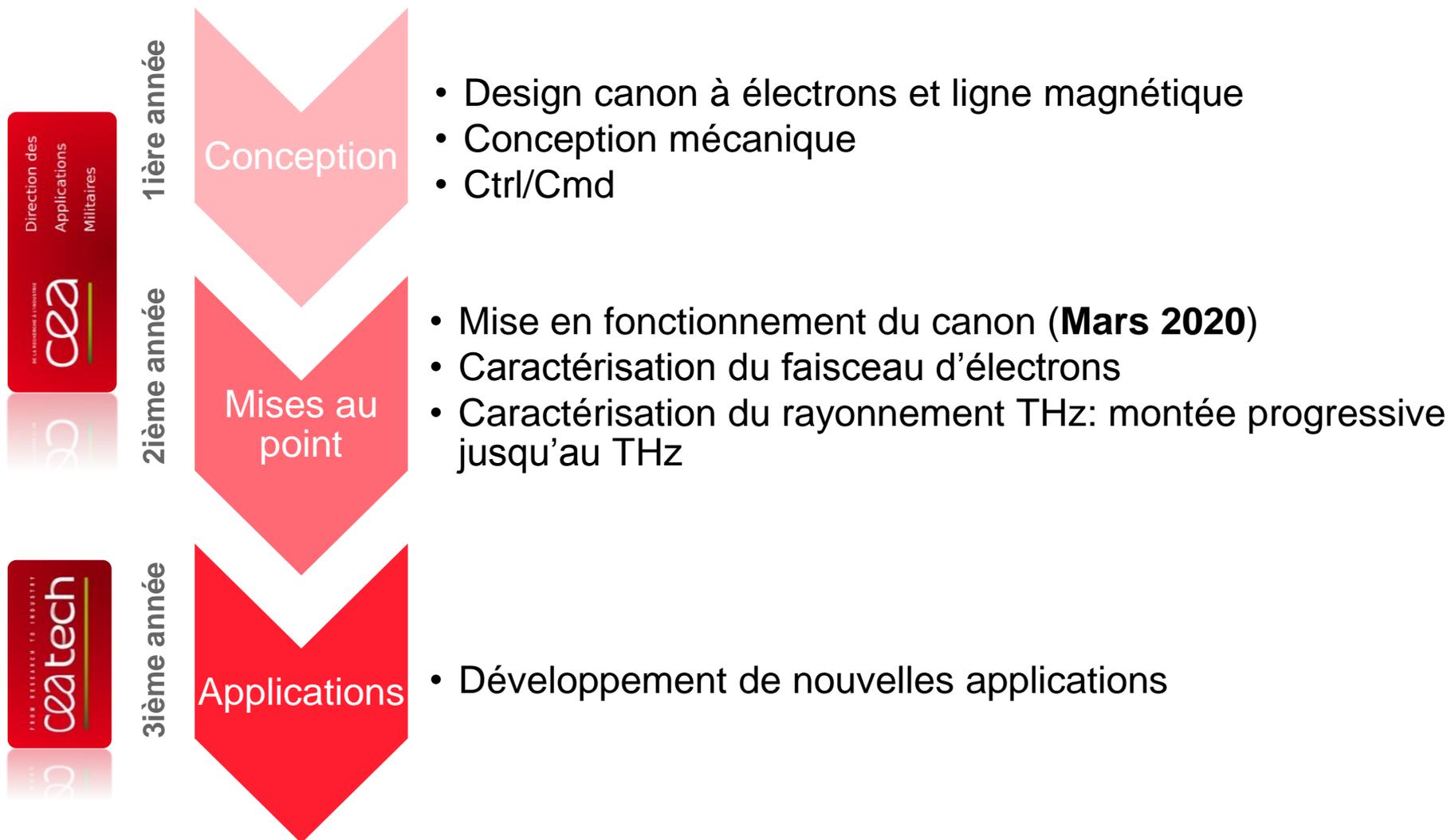


Schéma de principe de la ligne magnétique avec deux bobines et les paramètres fondamentaux

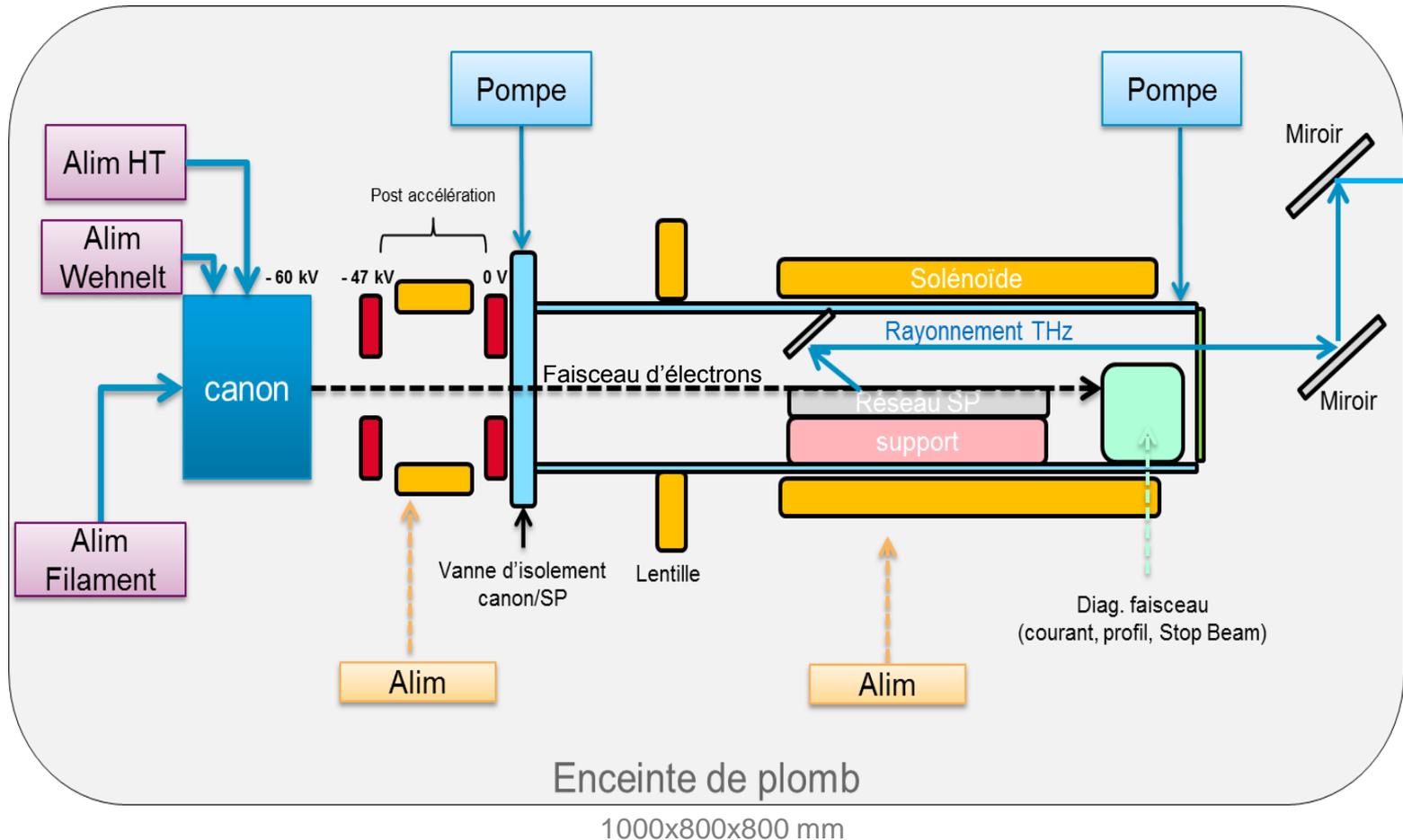
- Détermination des paramètres du faisceau.
- Dimensionnement de la ligne magnétique.

# 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**

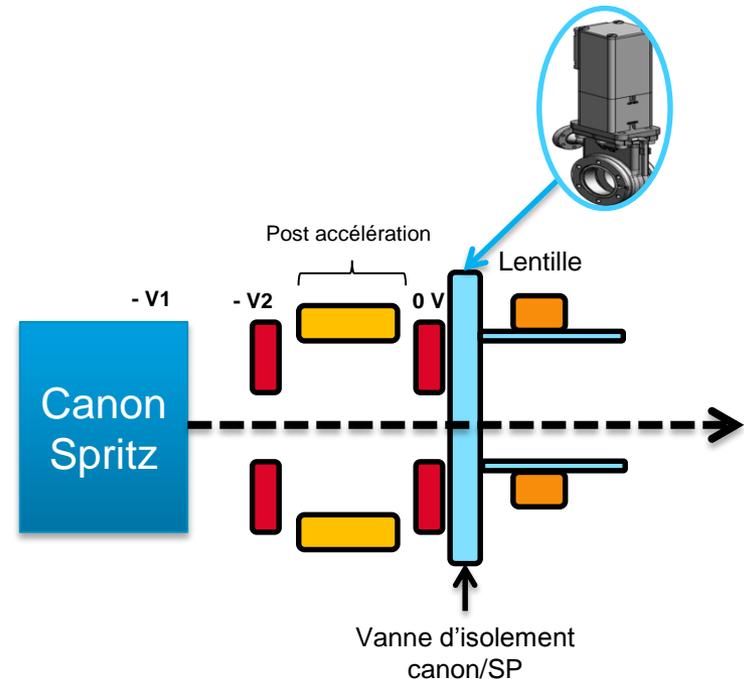
## Solutions envisagées

**Avec** Post - Accélération:

- Mécanique conservée

**Sans** post-accélération (60 kV directement appliqués):

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



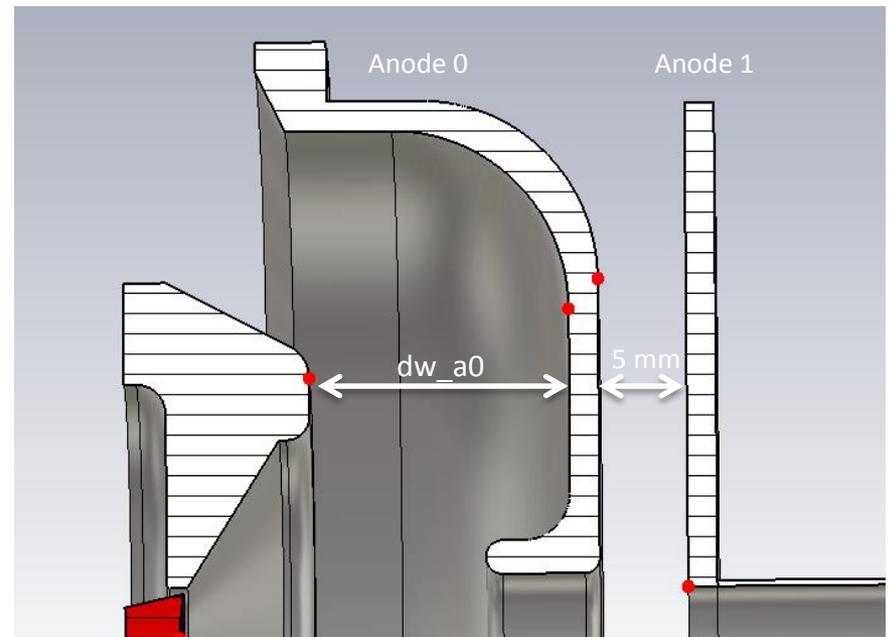
## Objectif

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

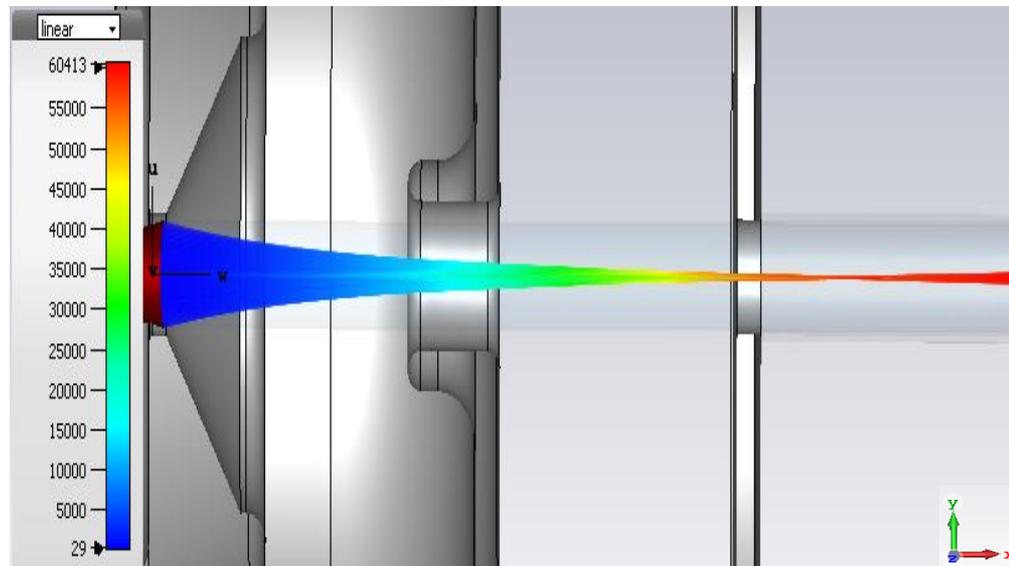
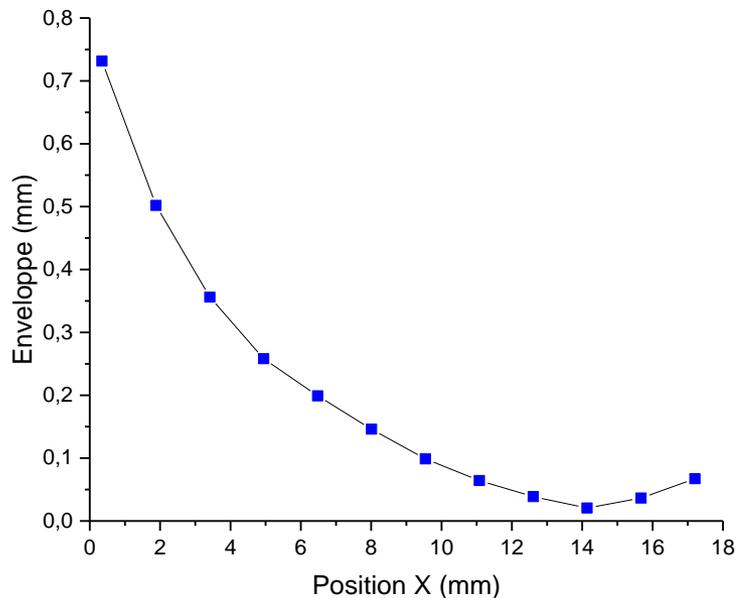
## Paramètres de simulation

- 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

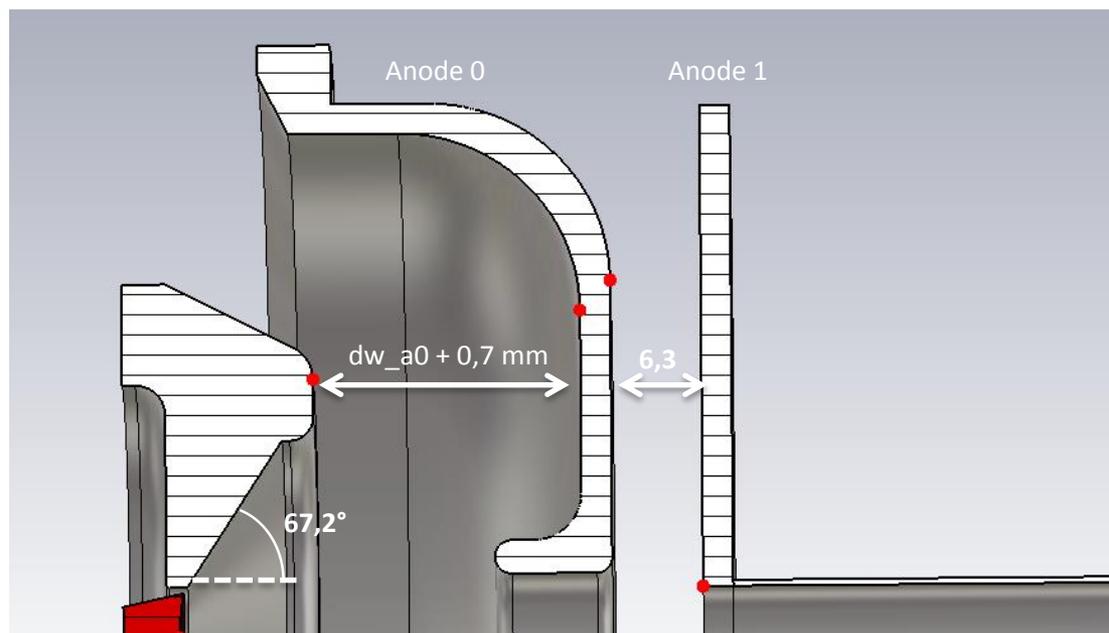
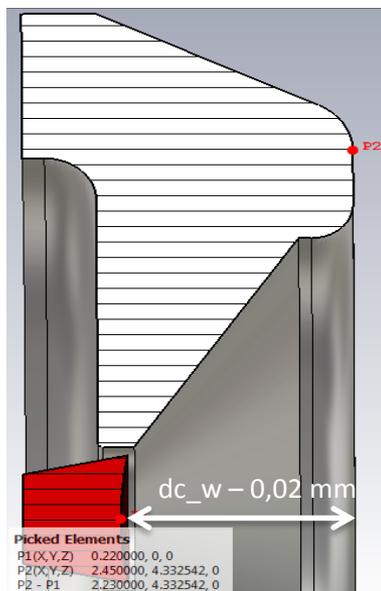
- Distance du « waist » par rapport au centre de la cathode: **14,2 mm**
- Rayon max du faisceau au « waist » : **20,5  $\mu\text{m}$**
- Emittance rms : **0,04 mm.mrad**
- Courant faisceau: **74,5 mA**



**Focalisation trop importante ?**

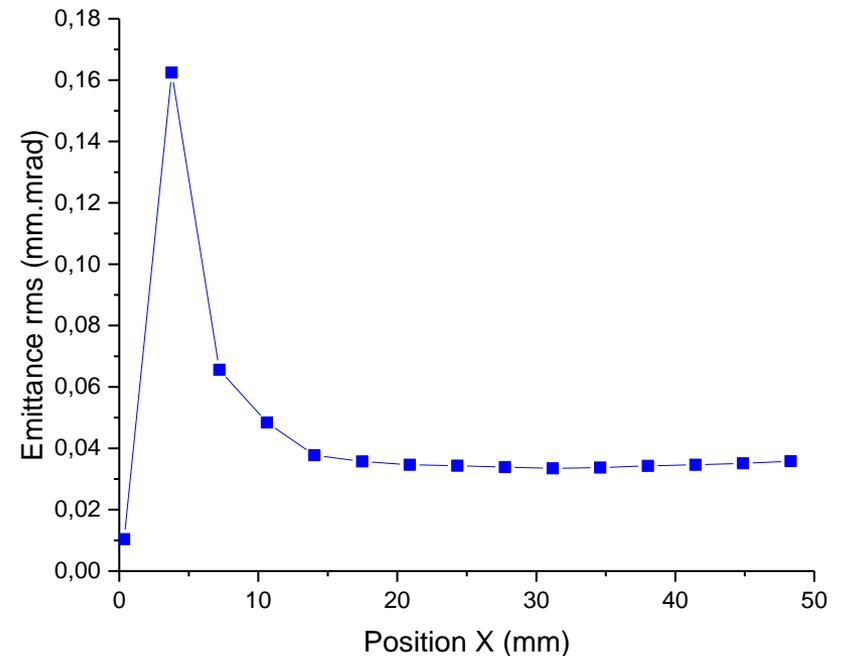
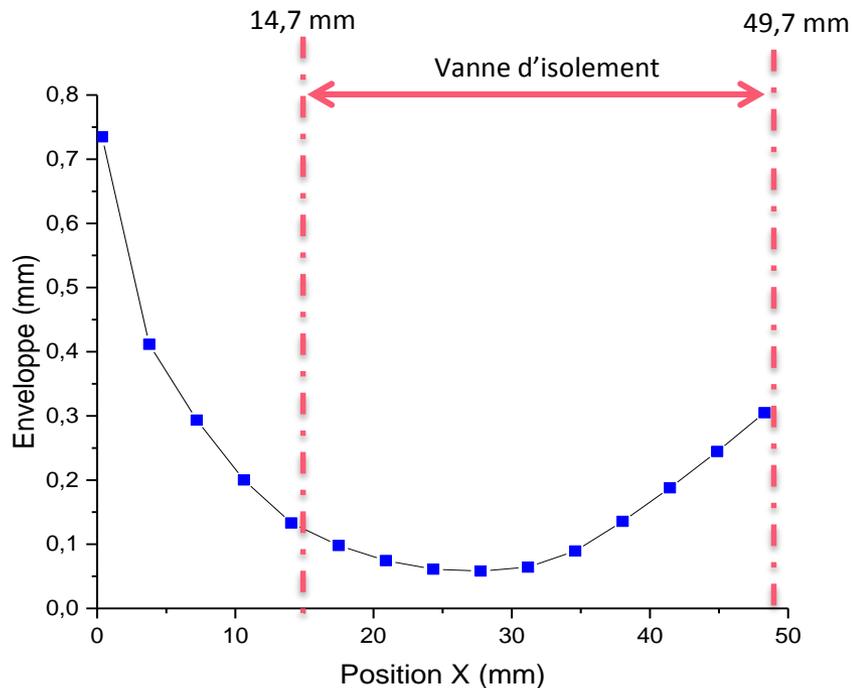
## Solution envisagée

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  $\mu\text{m}$**
- 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 <b>Absence de champs magnétiques externes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>I_{\text{faisceau}} = 77,2 \text{ mA}</math></li> <li>• <math>R_{\text{max}}</math> au waist = <b>58,2 <math>\mu\text{m}</math></b></li> <li>• <math>d_{\text{waist}} = 27,74 \text{ mm}</math></li> <li>• <math>\varepsilon_{\text{rms}}</math> au « waist » = <b>0,033 mm.mrad</b></li> <li>• <math>R_{\text{max}}</math> en sortie de vanne d'isolement &lt; <b>200 <math>\mu\text{m}</math></b></li> <li>• <math>\varepsilon_{\text{rms}} = 0,035 \text{ mm.mrad}</math></li> </ul>



**Design conforme à notre besoin opérationnel**

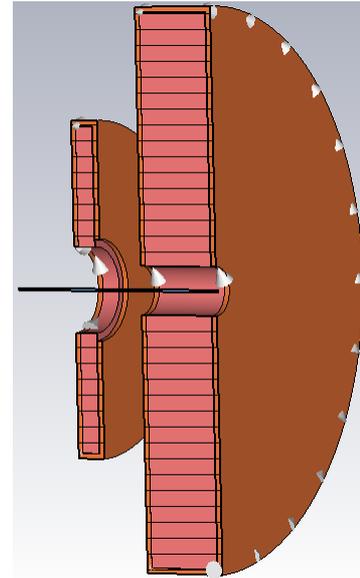
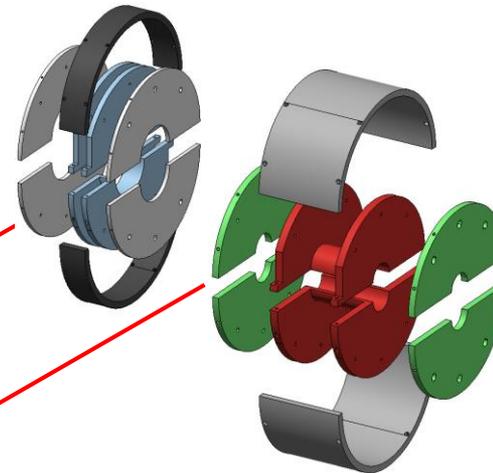
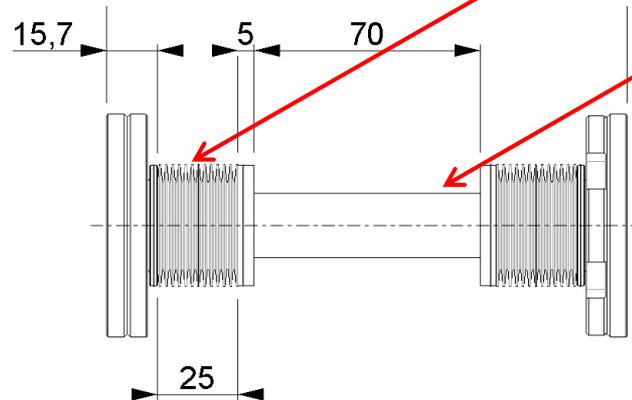
## Besoin opérationnel

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

- Rayon du faisceau le long du RSP: **20  $\mu\text{m}$**
- Faibles oscillations de l'enveloppe du faisceau,

## Solution retenue

1 lentille + 1 solénoïde



## Configuration

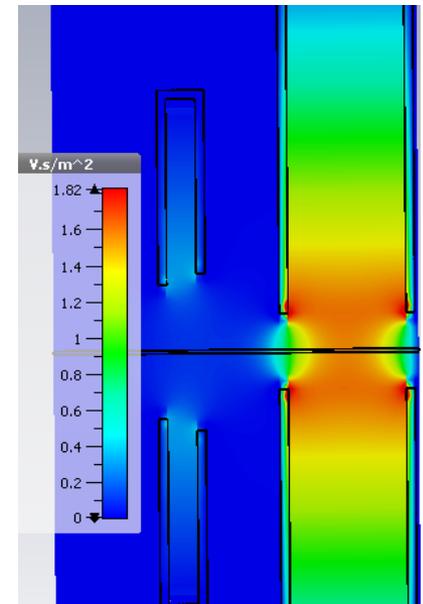
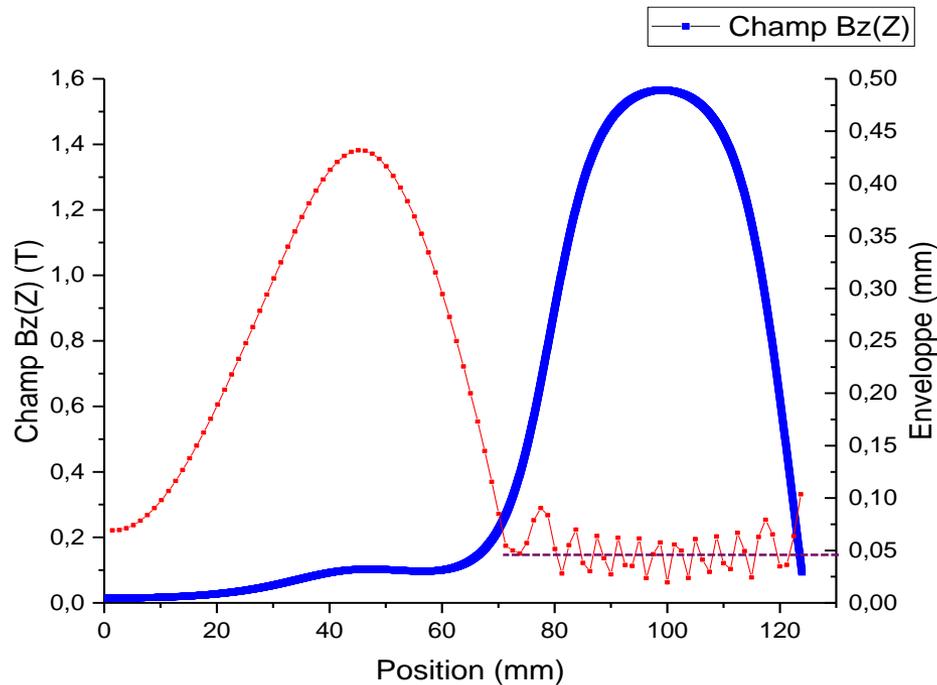
### Paramètres de la lentille:

- L = 10mm longueur
- Ri = 23 mm
- Re = 87 mm
- Densité de courant = 4,37 A/mm<sup>2</sup>

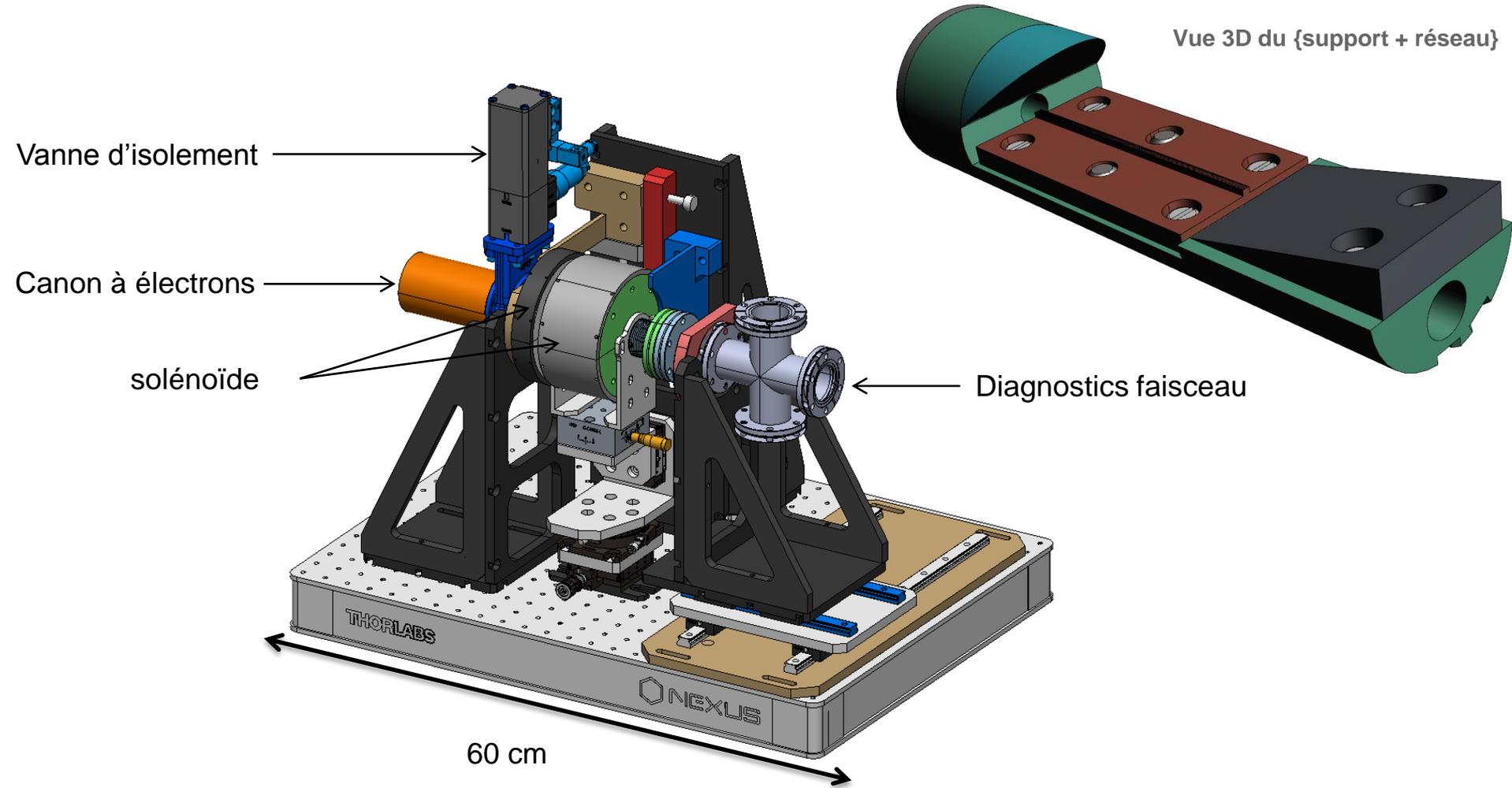
### Paramètres solénoïde long:

- L = 40mm longueur
- Ri = 13 mm
- Re = 138 mm
- Densité de courant = 10 A/mm<sup>2</sup>

## Résultats



**Etude en cours.**



## Objectifs à venir ...

### Canon SPRITZ :

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

### Ligne Magnétique :

- Comparaison simulation/expérimentation

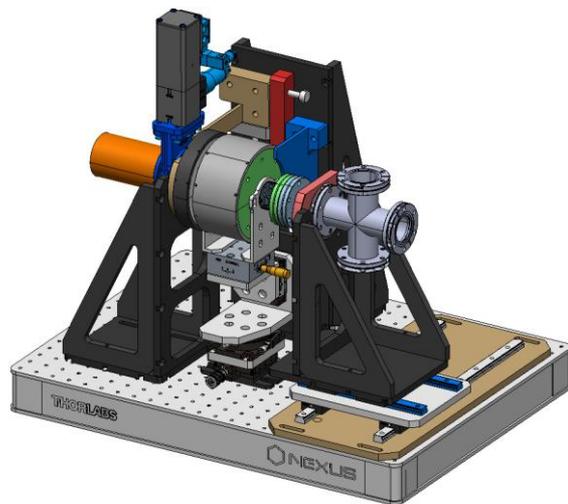
### Génération THz :

Caractérisation du rayonnement avec:

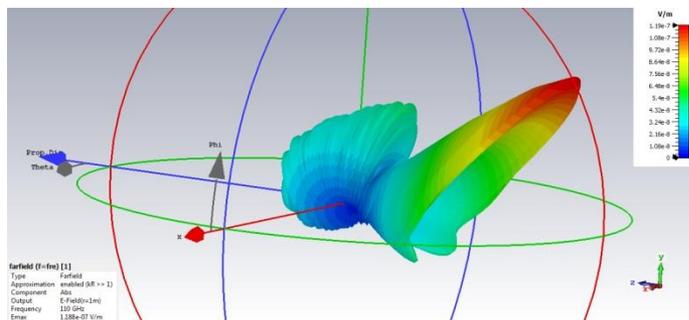
1. RSP-300
2. RSP-600
3. RSP-1000

## 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](mailto:bruno.cassany@cea.fr)  
[jacques.gardelle@cea.fr](mailto:jacques.gardelle@cea.fr)  
[alexandre.goEURY@cea.fr](mailto:alexandre.goEURY@cea.fr)