

# THOMX GENERAL MEETING, LAL, 13/12/2016

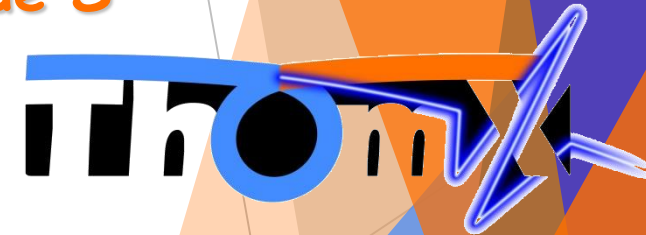
Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (LAL)

*garolfi@lal.in2p3.fr*

Etat d'avancement des travaux de thèse:

Accélérateur Linéaire d'électrons à fort gradient en bande S  
pour ThomX

L. GAROLFI, M. EL KHALDI



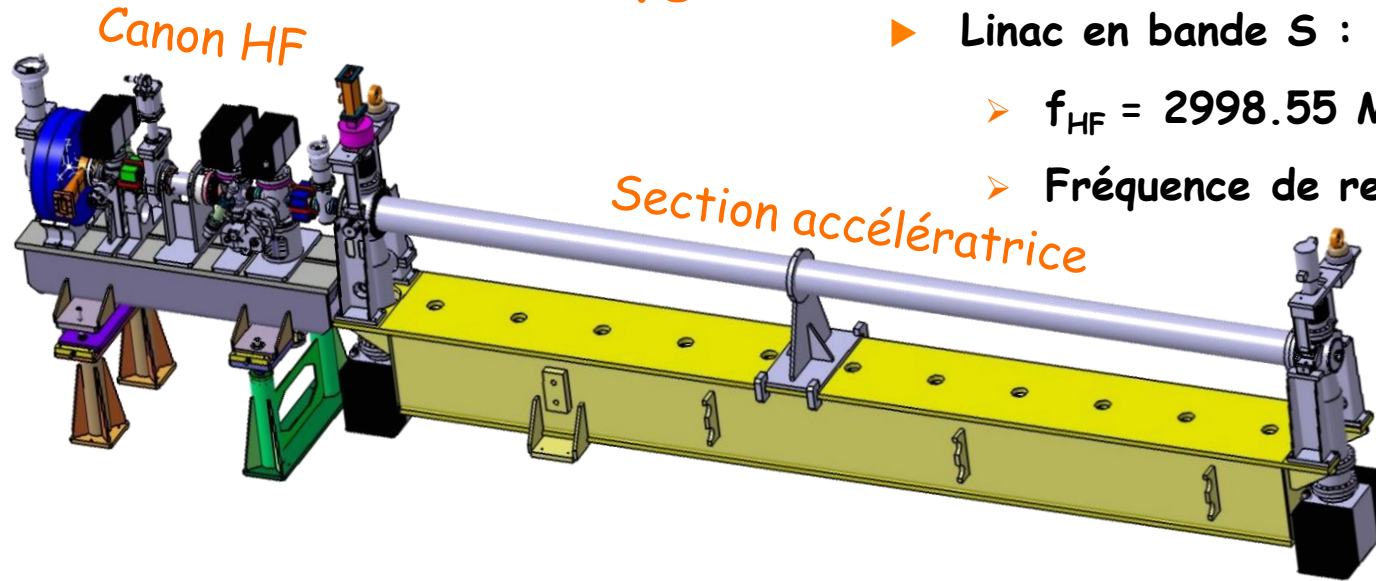
# Résumé

- ▶ Upgrade du LINAC de THOMX ;
- ▶ Contrat de collaboration de recherche entre PMB Alcen-LAL ;
- ▶ Design HF et prototype de la section accélératrice :
  - Historique de la collaboration LAL - PMB ALCEN,
  - Réglage et tests HF bas niveau de prototype à impédance constante CI « 10 cellules » en alu
  - Plan 3D du prototype CI « 16 cellules » en cuivre ,
  - Design HF et choix de la configuration de la structure accélératrice finale,
- ▶ Dynamique des faisceaux du LINAC de THOMX (phase commissioning) ;
- ▶ Conclusions et perspectives ;

# Upgrade du LINAC de THOMX

## ► Linac en bande S :

- $f_{HF} = 2998.55 \text{ MHz}$  à  $30^\circ \text{ C}$  sous vide,
- Fréquence de repetition max =  $50 \text{ Hz}$



## ► Phase de commissioning : structure LIL

- Longueur :  $4.5 \text{ m}$  (135 cellules),
- Ondes Progressives (O.P),
- « gradient » accélérateur quasi constant,
- Mode  $2\pi/3$  (3 cellules par longueur d'onde),
- p.ex : Champ moyen  $14 \text{ MV/m}$  @  $12 \text{ MW}$ ,  $45 \text{ MeV}$
- Temp de remplissage  $\sim 1,35 \mu\text{s}$ ,

Upgrade



## ► Phase d'upgrade : structure PMB-LAL Compacité et fort gradient d'accélération

- Longueur :  $3.2 \text{ m}$  (96 cellules),
- Ondes Progressives (O.P),
- « gradient » accélérateur quasi-constant,
- Mode  $2\pi/3$  (3 cellules par longueur d'onde),
- p.ex : Champ moyen  $20.5 \text{ MV/m}$  @  $22 \text{ MW}$ ,  $65 \text{ MeV}$
- Temp de remplissage  $\leq 1 \mu\text{s}$ ,

Impact direct sur l'énergie des rayons X :

$50 \text{ MeV} \rightarrow \gamma \sim 45 \text{ keV}$

$70 \text{ MeV} \rightarrow \gamma \sim 90 \text{ keV}$

## Collaboration de Recherche LAL - PMB Alcen

- ▶ **Objectif** : Développement d'une section accélératrice compacte en cuivre à fort gradient en bande S ( $\sim 3\text{GHz}$ ) pour le LINAC de THOMX,
- ▶ **Durée du contrat** : 01/10/2014 jusqu'à 30/09/2018 (4 ans),

LAL	PMB
Etudes électromagnétique (EM), thermique, et dynamique des faisceaux.	Réalisations des plans mécaniques à partir des informations fournies par LAL.
Design RF et validation des plans mécaniques.	Réalisation des prototypes Aluminium (Al) pour valider la géométrie.
Suivi de réalisation chez PMB.	Réalisation des prototypes en cuivre (Cu) valider les procédés de fabrication «standard» et «amélioré».
Tests à haute puissance des prototypes.	Réglage et Tests RF bas niveau des prototypes.
Conditionnement de la section accélératrice finale de 3 m.	Fabrication section finale (réglages, reprise, test, brasage, traitement de surface etc.)
Commissioning du THOMX LINAC avec la nouvelle section	Validation.

- ▶ **Sujet de thèse** : 01/10/2014 jusqu'à 30/09/2017 (3 ans),  
High Gradient S-band electron Linac for ThomX,
- ▶ **Directeur de thèse** : Dr. M. El Khaldi,
- ▶ **Financement** : LABEX P2IO: 51 k€ HT & PMB: 51 k€ HT,

## Historique de la collaboration LAL - PMB Alcen

Février 2015	Kick off meeting LAL - PMB ALCEN
Octobre 2015	Design HF du proto alu 10 cellules LAL et plans mécaniques PMB
Novembre 2015	Revue de conception détaillée de la phase proto Alu
Décembre 2015	Plans mécanique proto alu validé par BE-LAL
Juin 2016	Tests RF bas niveau proto alu
Juillet 2016	Revue de conception détaillée de la phase proto Cu
Octobre 2016	Design HF proto 16 cellules LAL et plans mécaniques en cours PMB
Novembre 2016	Fabrication des cellules standard en cuivre par PMB en cours
Décembre	Design HF de la section complète en cours LAL



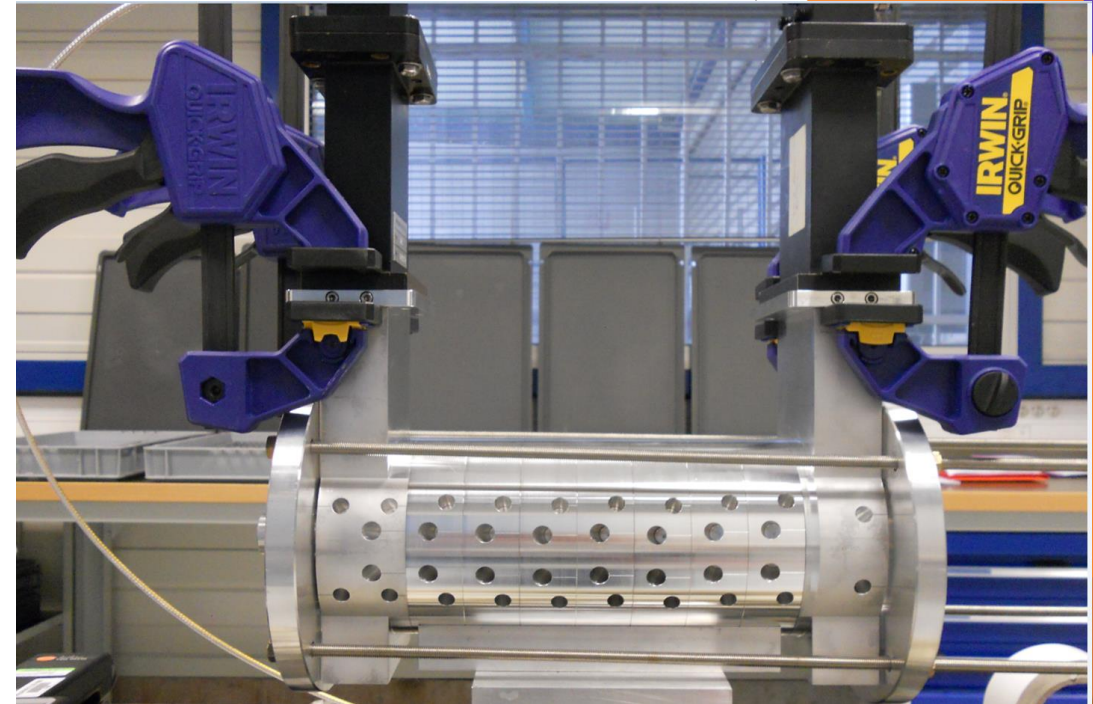
# Tests HF bas niveau proto Alu chez PMB Alcen (juin 2016)

- ▶ Banc de test sous presse pour régler les cellules accélératrices.



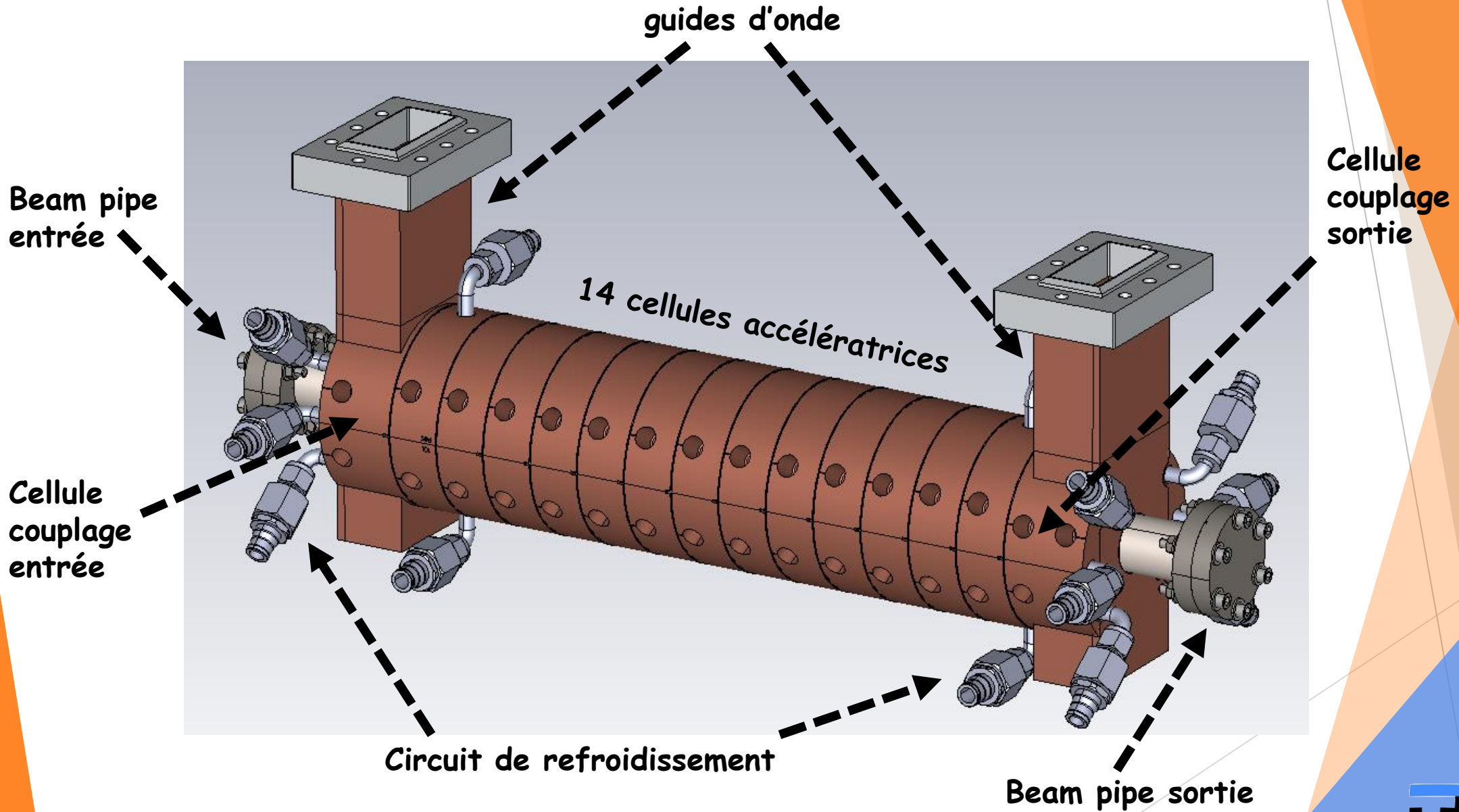
- Cellules accélératrices fabriquées chez PMB, usinage ultra précis.
- Cellules accélératrices testées et validées

- ▶ Réglage du prototype 10 cellules :  
2 cellules de couplage + 8 cellules accélératrices



- Sous-traitance de la fabrication des Coupleurs de puissance, coupleurs non conformes aux tolérances mécaniques, méthode d'usinage utilisée standard
- Coupleurs de puissance à refabriquer par PMB

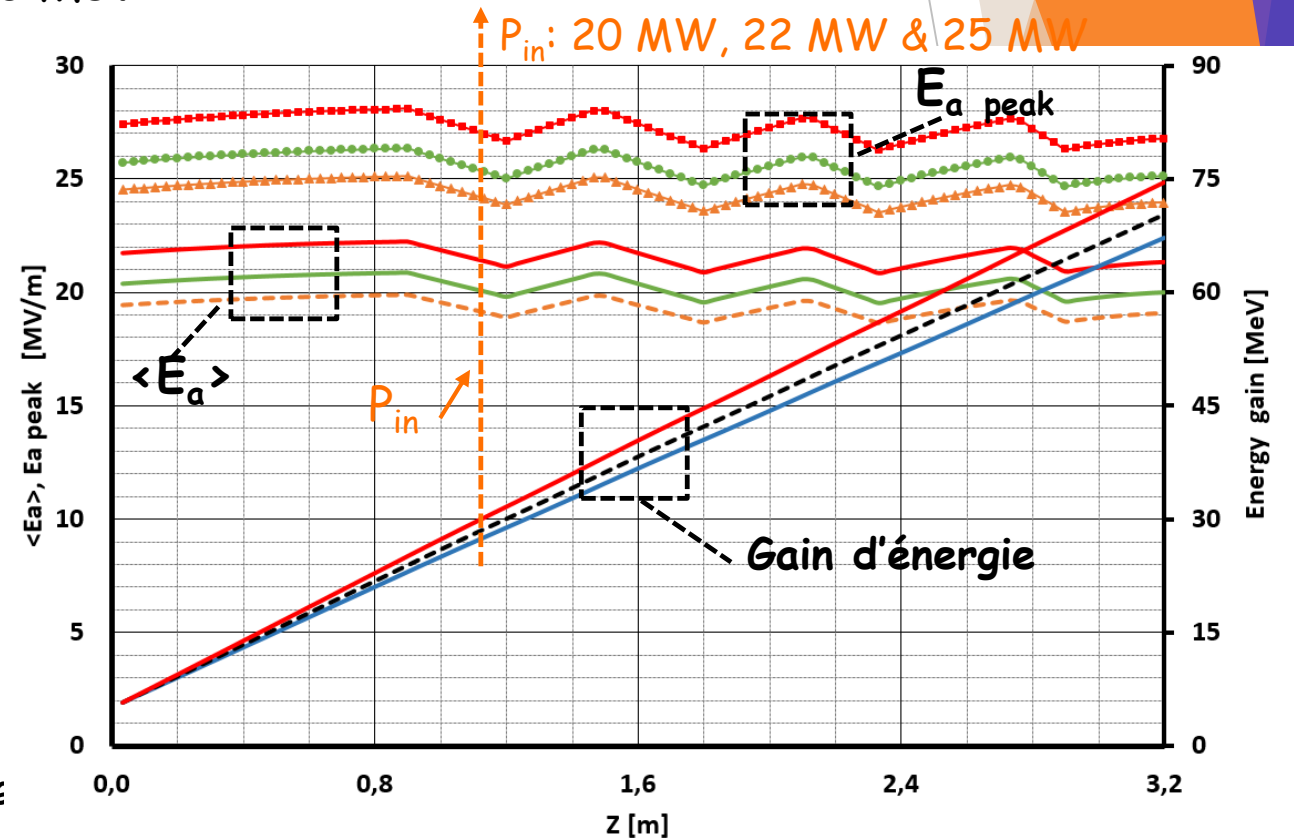
# Plan 3D du prototype 16 cellule en cuivre



# Upgrade du LINAC de THOMX

- Configuration préliminaire de la section accélératrice de 3,2 m :
  - Champs électriques et gain d'énergie au long de la structure @  $P_{in} = 20, 22 \text{ \& } 25 \text{ MW}$ ,
  - Energie à l'entrée de la section: 5 MeV (énergie à la sortie du canon HF),
  - Pour  $P_{in} = 22 \text{ MW}$  :
    - $\langle E_a \rangle \approx 20.5 \text{ MV/m}$  champ efficace moyen agissant sur la particule
    - Gain d'énergie à la sortie de Linac : 70 MeV

- D'autres configurations en cours d'étude pour optimiser le gain d'énergie et réduire le temps de remplissage de la structure en considérant  $17 \text{ mm} \leq \varnothing \text{ iris} \leq 22,6 \text{ mm}$ .

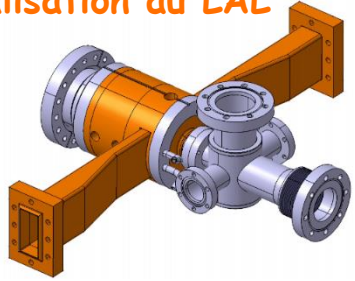




# Dynamique des faisceaux du LINAC

- Pour satisfaire les spécifications de l'accélérateur, la conception du LINAC doit attentivement être faite, en particulier le photo-injecteur.

Conception du canon HF et réalisation au LAL



Plan mécanique 3D du canon HF

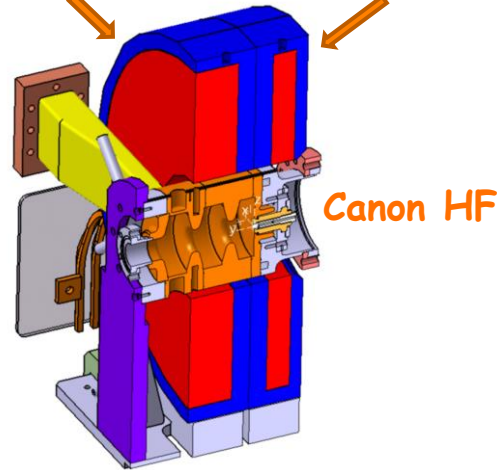
Canon HF brasé



2.5 cells RF Gun

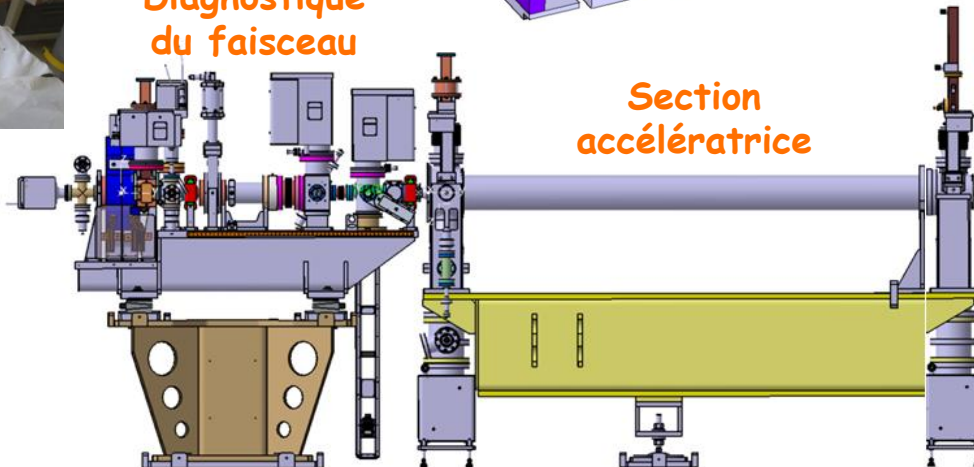
Bobine de focalisation

Bobine de contre-champ



Diagnostic du faisceau

Section accélératrice



Specifications du canon HF

Longueur d'onde laser	266 nm
Energie de l'impulsion laser	100 $\mu$ J
Facteur de qualité Q	15000
Impedance de shunt	50 $M\Omega/m$

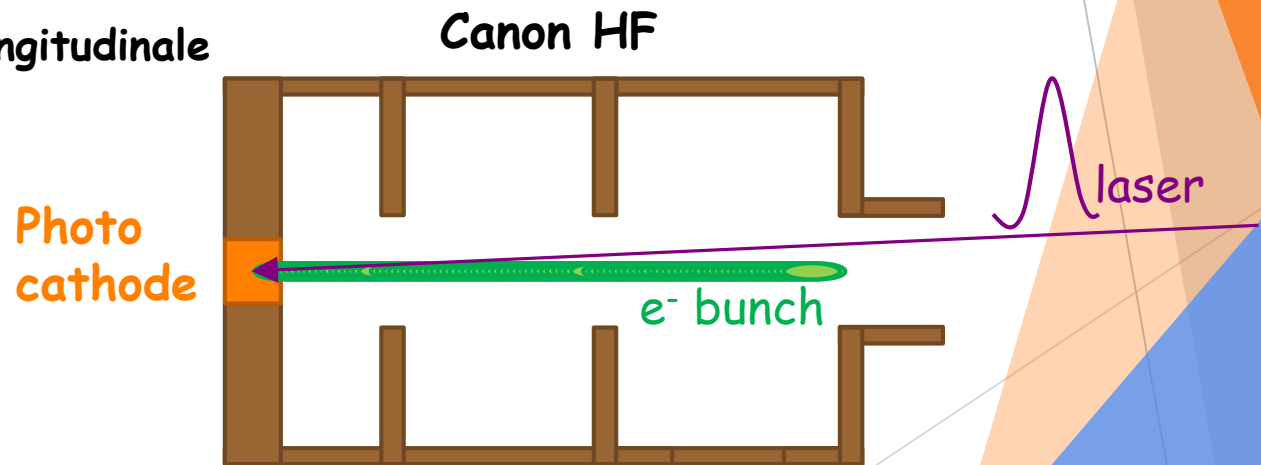
$E_z = 80 \text{ MV/m}$  ( $P_{in} = 6 \text{ MW}$ ,  $3 \mu\text{s}$ )  
Gain d'énergie = 5 MeV

Paramètres nominales du LINAC :

- Energie : 50 MeV,
- Charge/paquet : 1 nC,
- Repetition : 50 Hz,
- Emittance norm. rms :  $\epsilon_N \sim 4 \pi \text{ mm mrad}$
- Dispersion en énergie rms :  $< 1\%$
- Longueur du paquet rms :  $< 5 \text{ ps}$

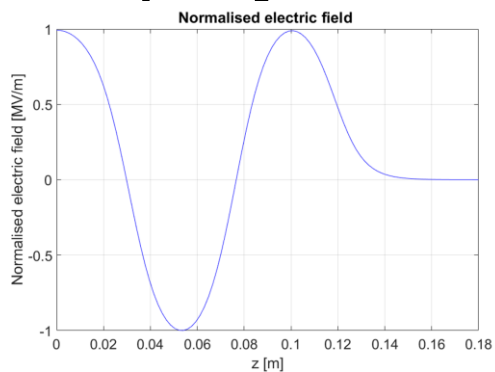
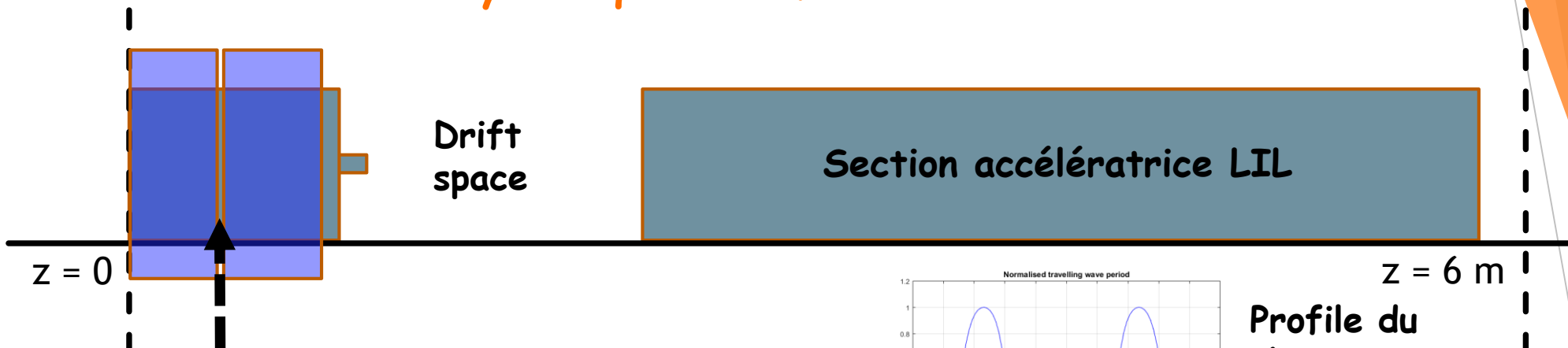
# Dynamique des faisceaux du photo-injecteur

- ▶ Etude de la dynamique des faisceaux avec le logiciel ASTRA (A Space charge TRacking Algorithm) spécifique pour le photo-injecteur et les accélérateurs linéaires.
- ▶ Objectives :
  - Minimiser l'emittance transverse pour les propriétés du faisceau dans l'anneau,
  - Retrouver la valeur d'emittance de  $\epsilon_{x,y} = 4 \text{ mm mrad } \pi$  (TDR ThomX),
  - Compromis entre l'emittance transverse et la taille transverse du faisceau qui n'est pas optimisé.
- ▶ Etude de l'effet de la plaque de garde dans la bobine de focalisation sur la dynamique des faisceaux,
- ▶ Caractéristiques de la distribution du paquet d'électrons:
  - Distribution gaussienne : transverse, longitudinale
  - 10000 particules,
  - charge per paquet  $Q = 1 \text{ nC}$ ,
  - Impulsion laser  $\sigma_t = 4 \text{ ps}$ ,
  - taille transverse rms  $\sigma_{x,y} = 1 \text{ mm}$ .

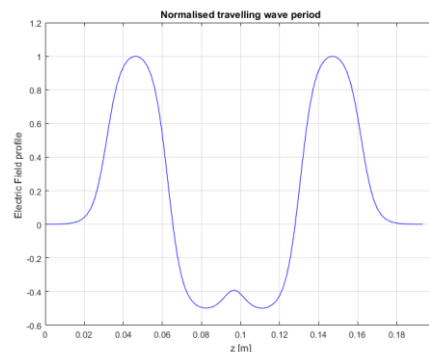


L. Garolfi et al., "BEAM DYNAMICS SIMULATIONS OF THE THOMX LINAC", Proceedings of IPAC2016, Busan, Korea.

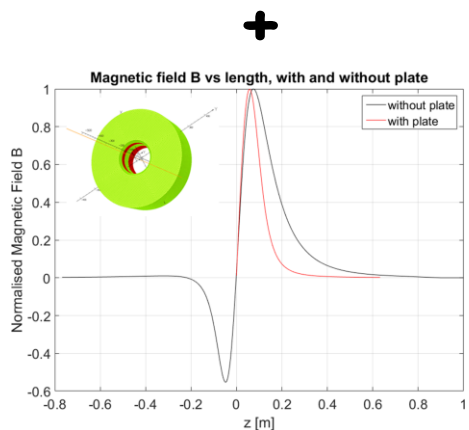
# Dynamique des faisceaux du LINAC



Champ électrique dans le canon HF



Profile du champ électrique d'une période d'onde progressive



Champ magnétique Créé par les bobines

	<b>B = 0.2620 T</b>
<b>Emittance normalisée <math>\epsilon_{x,y}</math> [<math>\pi</math> mm mrad]</b>	<b>7</b>
<b>Taille transverse <math>\sigma_{x,y}</math> [mm]</b>	<b>3.5</b>
<b><math>\Delta E/E</math> [%]</b>	<b>0.2</b>
<b>Taille longitudinale [ps]</b>	<b>3.2</b>

L. Garolfi et al., "ELECTRON LINAC UPGRADE FOR THOMX PROJECT", Proceedings of LINAC 2016, East Lansing, MI, USA.

## Conclusions et perspectives

- ▶ Etudes et conception HF du prototype
- ▶ Plans mécaniques du prototype (nombre réduit de cellules) aluminium
- ▶ Fabrication cellules accélératrices aluminium
- ▶ Tests à basse puissance du premier prototype aluminium
- ▶ Etudes de la dynamique des faisceaux du Linac 50 MeV
- ▶ Fabrication de prototype cuivre (fin 2016)
- ▶ Des tests de haute puissance de prototype cuivre seront réalisés sur un banc de test RF de l'IFIC (Université de Valence) dédié au conditionnement RF et analyse RF Breakdowns (début 2017).





Merci



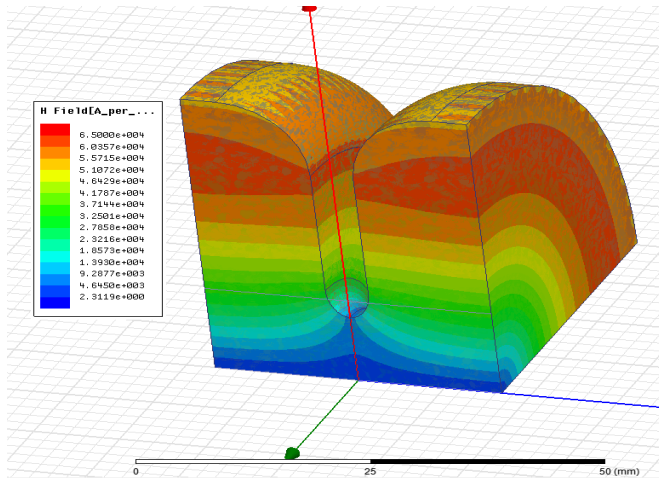
# Optimisation de la géométrie de la cellule accélératrice

Simulations électromagnétiques => distributions de champ de surface

Cellule élémentaire:  $\varnothing$  iris = 19 mm

Champ Magnétique de Surface

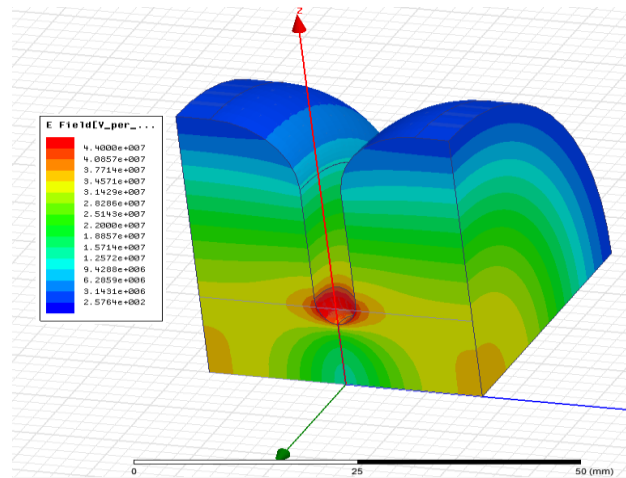
Pour  $P_{in} = 20$  MW



$H_s$  peak = 65 kA/m

Champ Electric de Surface

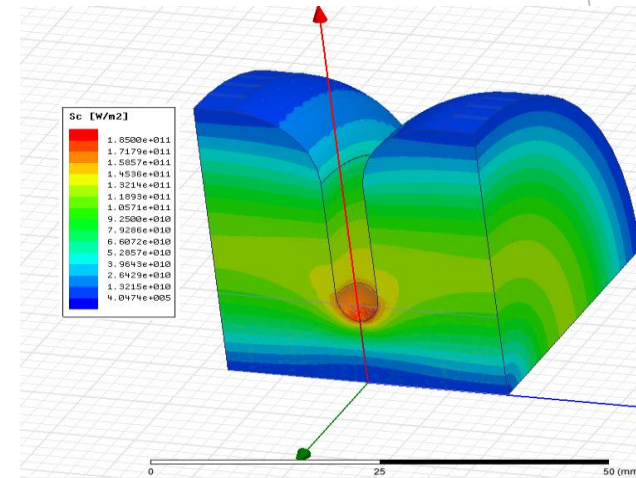
Pour  $P_{in} = 20$  MW



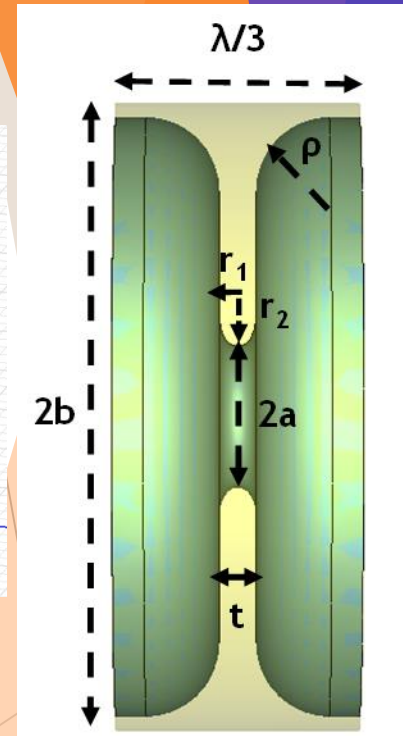
$E_s$  peak = 44 MV/m

Vector de Poynting modifié

Pour  $P_{in} = 20$  MW



$S_c$  max = 0,185 MW/mm<sup>2</sup>



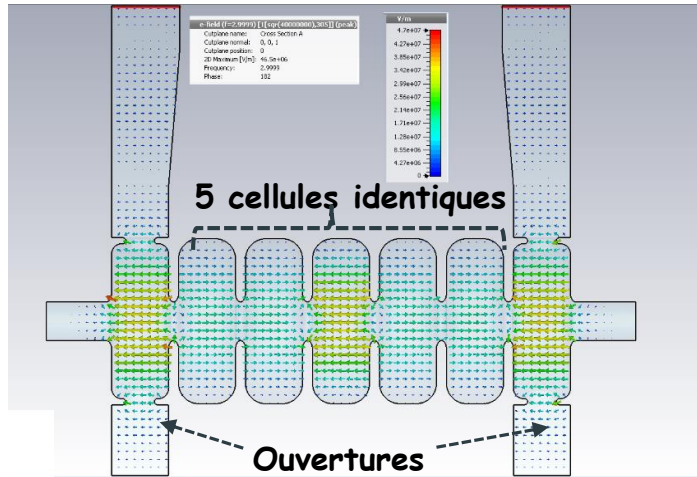
Les deux quantités  $E_s$  peak and  $S_c$  sont localisées dans la région d'iris

L. Garolfi, M. El Khaldi, "3 GHz SINGLE CELL CAVITY OPTIMIZATION DESIGN",  
Proceedings of IPAC2015, Richmond, VA, USA

# Design du prototype à impédance constante

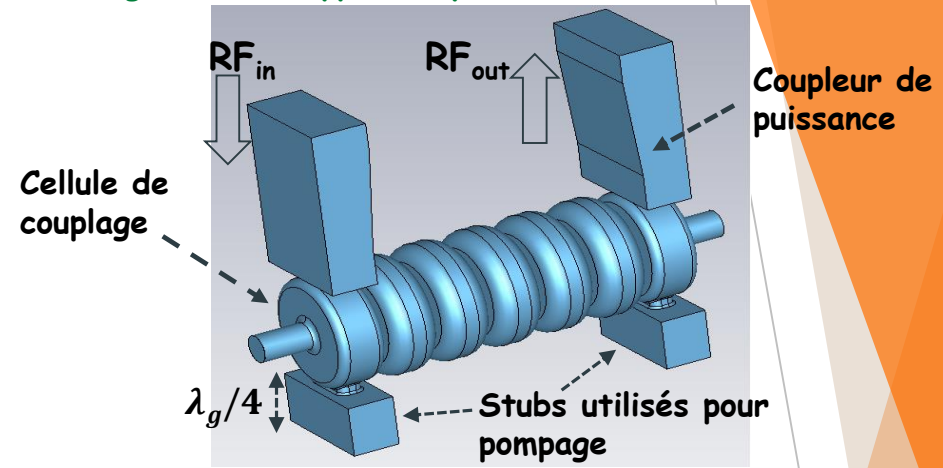
Simulations électromagnétiques => caractéristiques HF su prototype

Distribution du champ accélérateur axial

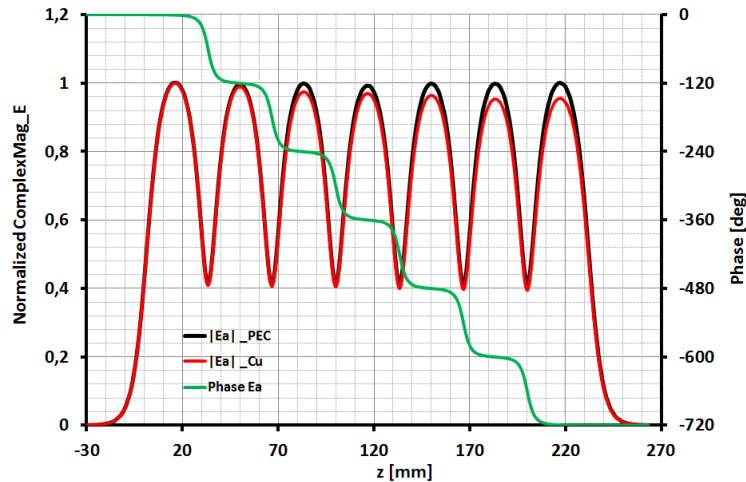


Compensant la distorsion du champ (symétrie RF)

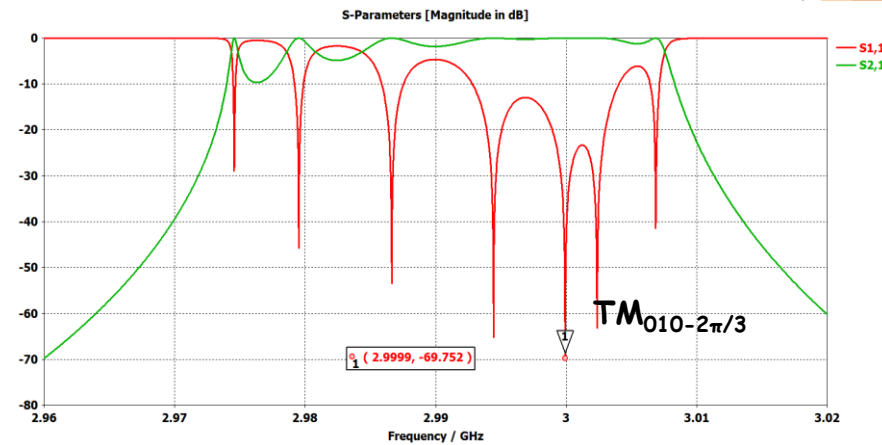
Design du Prototype à impédance constante (IC)



Amplitude et phase du champ accélérateur mode  $TM_{010-2\pi/3}$



Paramètres S



M. EL Khaldi, L. Garolfi, "RF DESIGN OF A HIGH GRADIENT S-BAND TRAVELLING WAVE ACCELERATING STRUCTURE FOR THOMX LINAC", Proceedings of IPAC2015, Richmond, VA, USA.

LINAC à fort gradient pour ThomX

L. Garolfi (LAL) - LAL, 13/12/2016

