



UNIVERSITY OF
LIVERPOOL



Etude et optimisation de la dynamique non linéaire et 6-dimensionnelle d'un faisceau d'électrons dans un anneau de stockage ayant une émittance ultra-faible

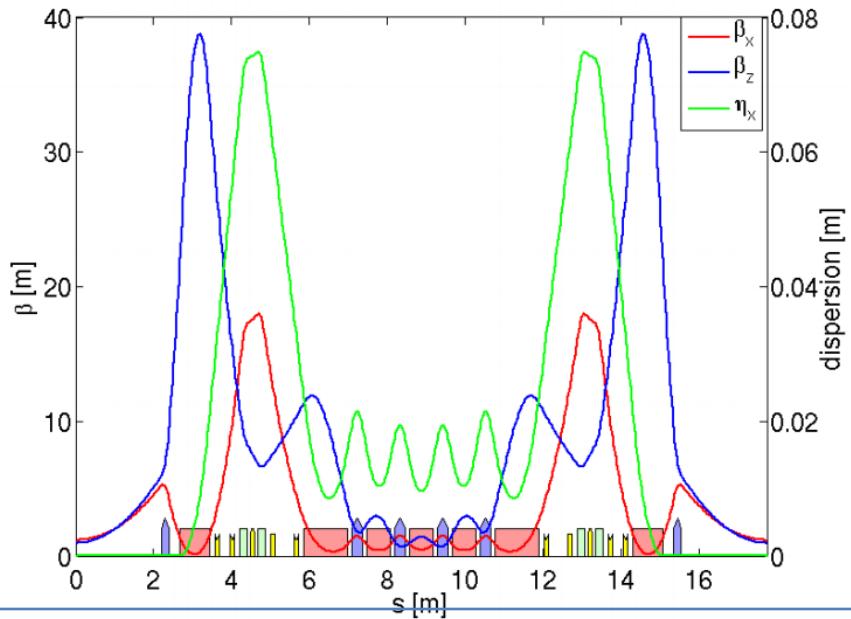
Lina HOUIMMI

2 octobre 2019

Journées Accélérateurs Roscoff



Comparaison linéaire et développement de mailles à émittance ultra faible



7BA BASELINE lattice 2.75GeV 20-fold symmetry

Emittance ε_x 72 pm.rad

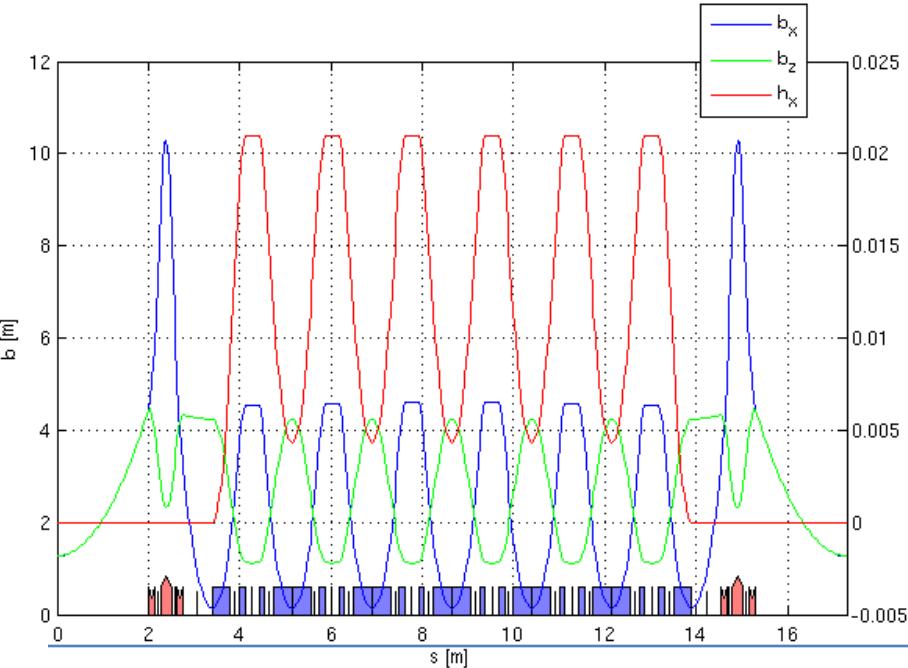
Tunes per period (ν_x, ν_z) (2.76, 0.91)

Momentum compaction factor α_c 1.47 E-4

Reverse bending angle -0,048 degrees

Energy loss per turn 15.5 keV

(β_x, β_z) @ Insertion Device (1.0, 1.0) m



7BA HOA lattice proposal 2.75GeV 20-fold symmetry

Emittance ε_x 66 pm.rad

Tunes per period (ν_x, ν_z) (3.37, 1.30)

Momentum compaction factor α_c 5.50E-05

Reverse bending angle -0.195 degrees

Energy loss per turn 27 keV

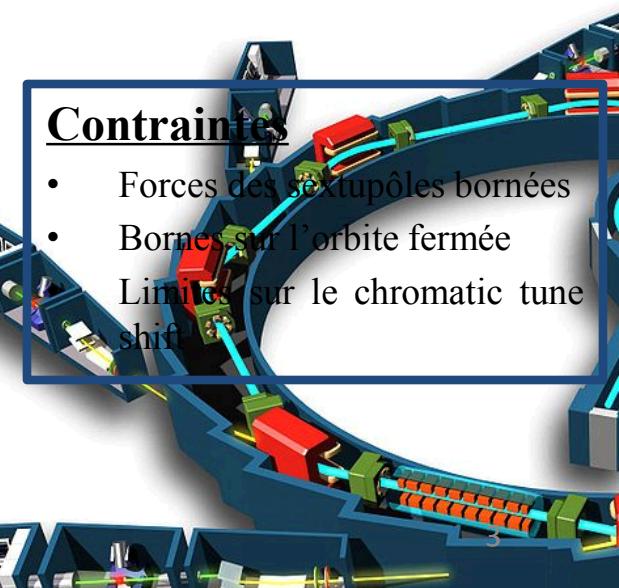
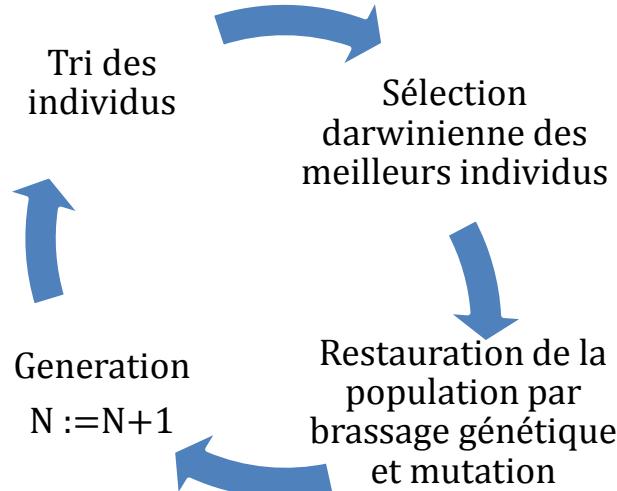
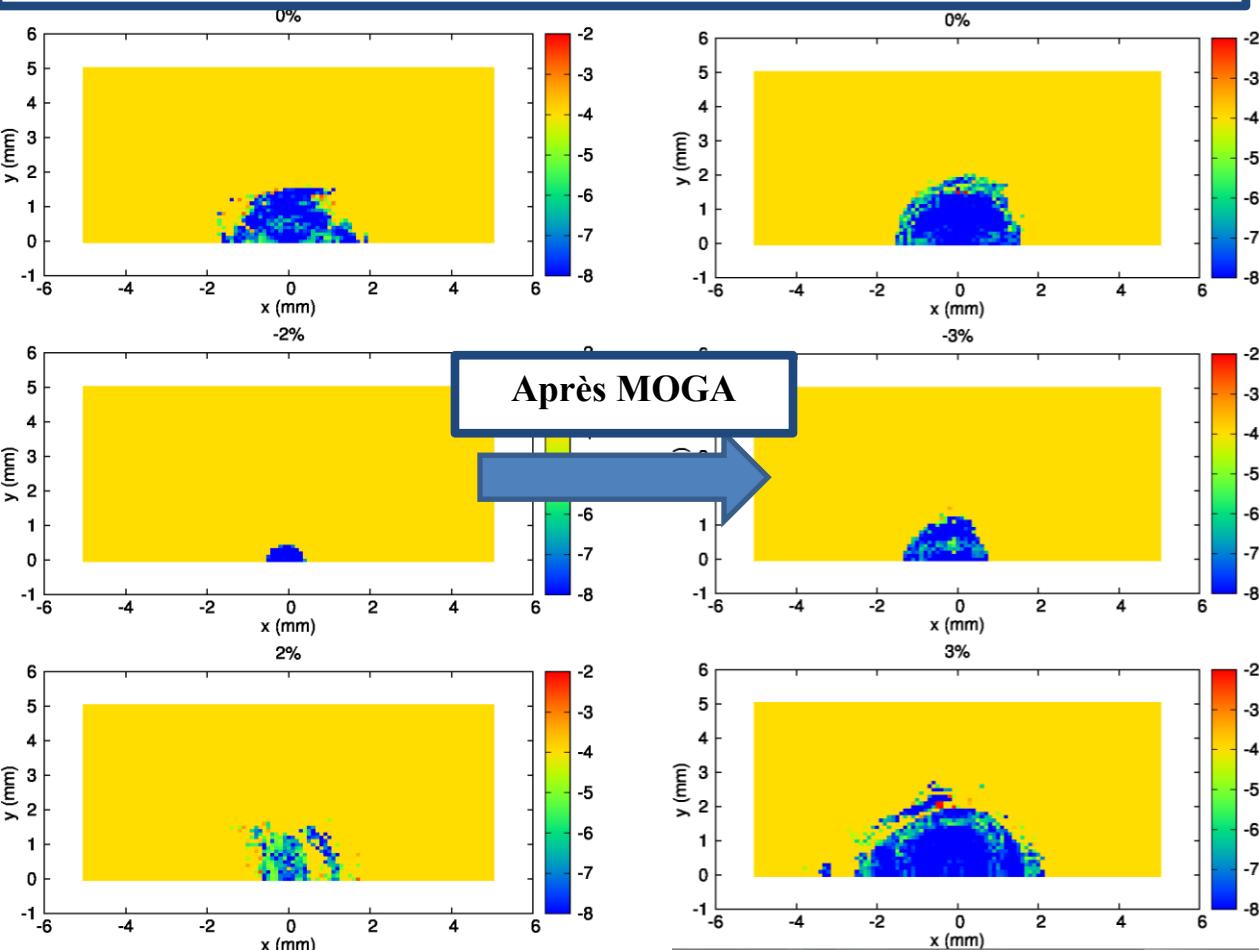
(β_x, β_z) @ Insertion Device

Algorithme Génétique Multi-Objectifs (MOGA) pour l'optimisation non linéaire 4D

MOGA-Bmad : optimisation de l'ouverture dynamique on- et off-momentum à chromaticité constante.

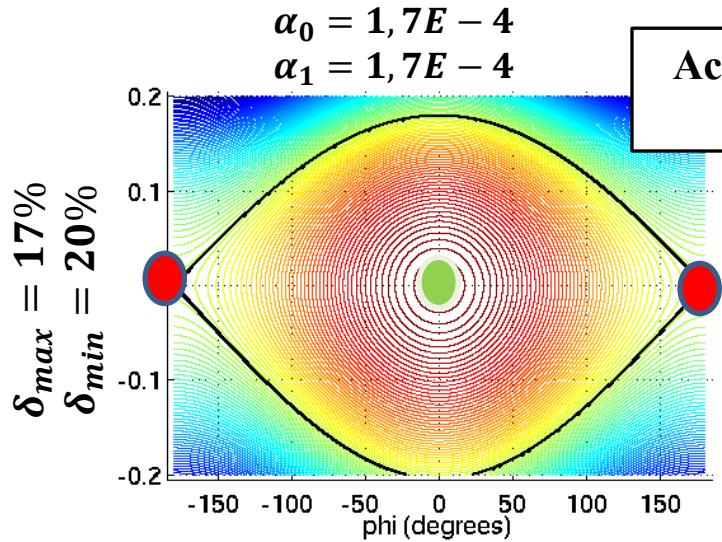
Exemple

Optimisation de la maille 7BA-4BA à symétrie 1, avec bump de dispersion dans une section longue, en utilisant des sextupôles et des octupôles



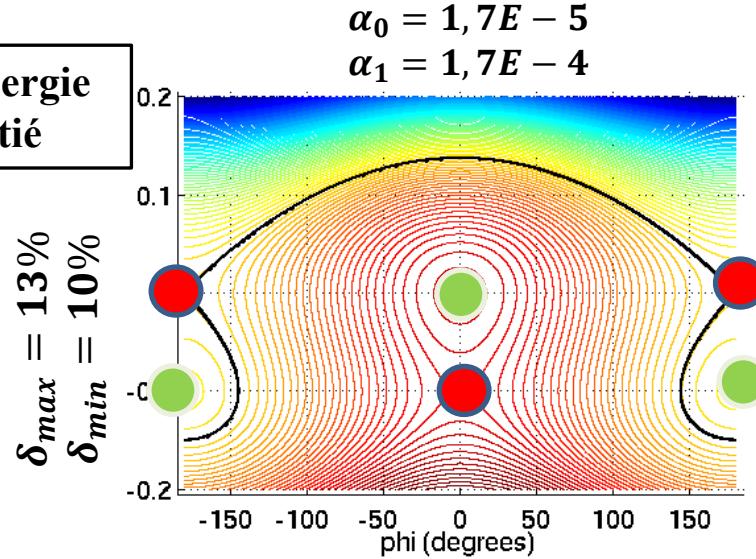
Contrôle de l'espace longitudinal : restauration de l'acceptance en énergie par manipulation des ordres supérieurs du facteur de compression des moments

$$\alpha_c = \alpha_0 + 2\alpha_1\delta + 3\alpha_2\delta^2$$



SFP = ‘Stable Fixed Point’

UFP = ‘Unstable Fixed Point’



Possibilité de contrôle : extension du MOGA

- Optimisation des ouvertures dynamiques transverses on- et off-momentum
 \rightarrow MOGA-Bmad
- Contrôles des caractéristiques de la zone stable longitudinale : taille, acceptance en énergie

$$\begin{cases} \alpha_0 = \frac{1}{C_0} \int_0^{C_0} -h\eta_0 \, ds \\ \alpha_1 = \frac{1}{C_0} \int_0^{C_0} \left[\frac{\eta_0'^2}{2} - h\eta_1 \right] \, ds \\ \alpha_2 = \frac{1}{C_0} \int_0^{C_0} \left[\eta_0'\eta_1' + h\frac{\eta_0\eta_0'^2}{2} - h\eta_2 \right] \, ds \end{cases}$$



Etude de la distorsion de la trajectoire sur les mailles hybrides à ultra-faible émittance

Forte réduction de l'ouverture dynamique 6D de la maille SOLEIL de type $-I^1$.

Formule usuelle de l'allongement de la trajectoire, moyennée sur la phase :

$$\Delta C = -2\pi(J_x \xi_x + J_y \xi_y)$$

avec J_i la variable d'action et ξ_i la chromaticité.

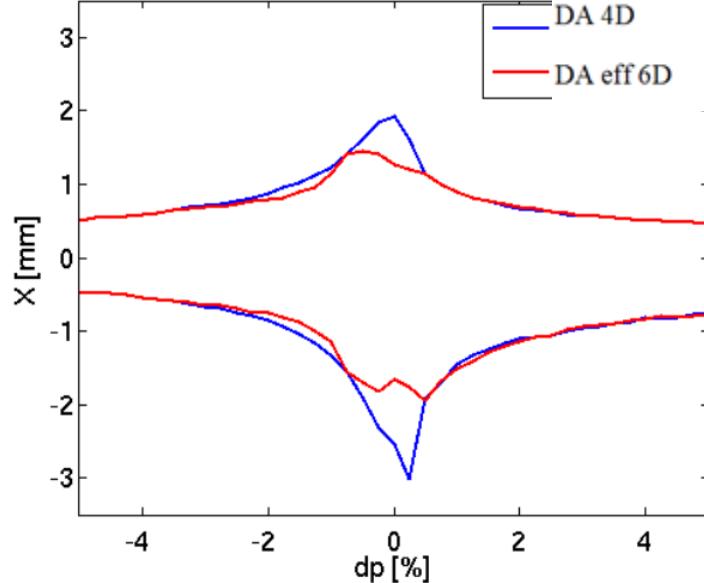
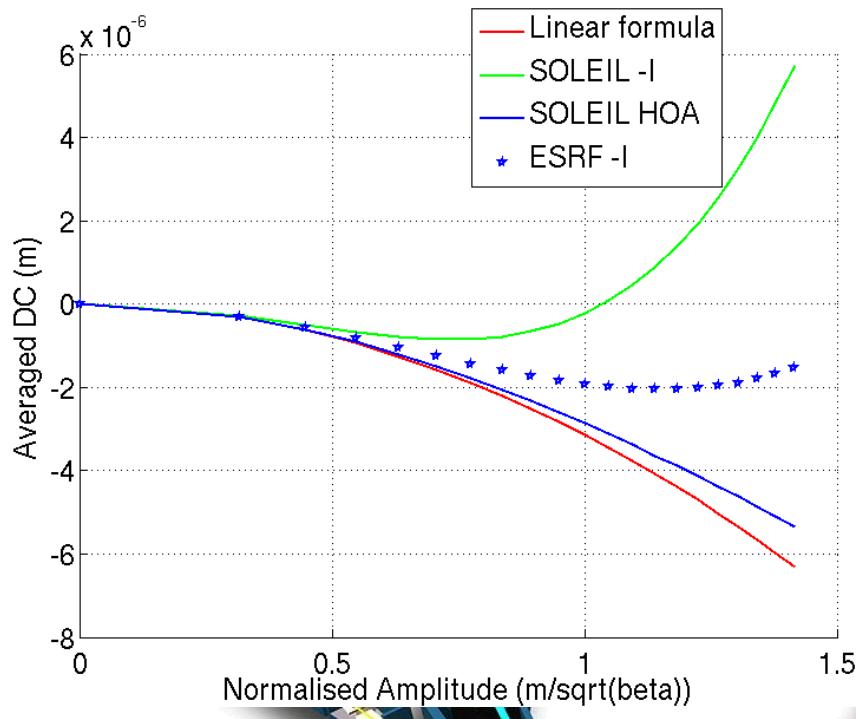


Figure 3: Horizontal dynamic aperture versus energy deviation at straight center with $\beta_x=1.3$ m.rad $^{-1}$.

→ Programme pour réduire voire annuler cet effet et restaurer la dynamique (en cours)



Tracking 6D sous A.T. pour différentes mailles



Les Journées accélérateurs

Roscoff 2 - 4 octobre 2019

Thèmes

Présentations orales et posters

- Accélérateurs de hadrons
- Accélérateurs de leptons
- Accélération laser-plasma
- Technologie des accélérateurs
- Applications et aspects industriels

Organisé par le bureau de la Division Accélérateurs de la SFP :

Laurent Nadolski (SOLEIL), Jean-Luc Révol (ESRF), Thomas Thuillier (LPSC), Nicolas Delerue (LAL), Alain Savalle (GANIL), Stéphane Chel (CEA/DRF/IRFU/DACM), Brigitte Cros (LPGP), Vincent Le Flanchec (CEA/DAM), Eric Giguet (ALSYOM), Luc Perrot (IPNO)

<http://accelerateurs.sfpnet.fr/>



The LHC “under pressure”

- Dynamic Pressure in the LHC - Detection of parasite ions and investigation of surface conditioning

S. Bilgen

LAL, IN2P3-CNRS, Paris-Sud University, Orsay

PhD supervisor:
Work supervisors :

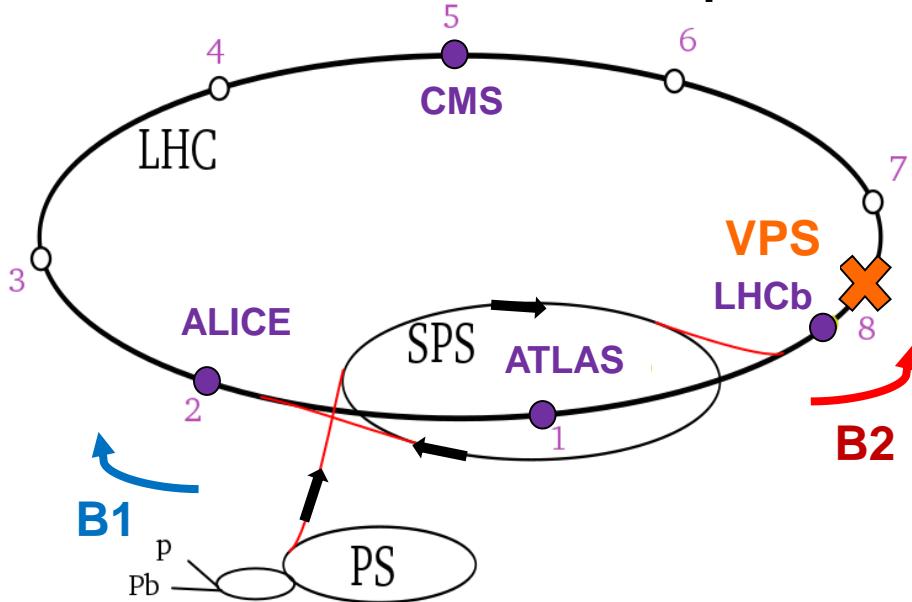
G. Sattonnay – LAL
B. Mercier, C. Bruni – LAL
V. Baglin - CERN, Geneva, Switzerland

Supported by:

FCC-hh Project

LHC RUN II Statement

CERN's accelerator complex



LHC characteristics

- ❖ World's largest and most powerful particle accelerator (27 km ring).
- ❖ Proton beam- PS- SPS- injection in LHC- energy ramp-collision at IP.
- ❖ CERN's mission: helps to uncover what the universe is made of and how it works.

LHC RUN II

- Beam emittance increases
- Deterioration of the luminosity factor
- Premature dumps with occurred due to beam divergence and instabilities.

To stay operational during 2018, the LHC was limited to fewer than the nominal number of bunches

LHC
27 km, 8.33 T
13 TeV, 2556 b



LHC
27 km, 8.33 T
14 TeV, 2808 b



FCC-hh
80 km, 20 T
100 TeV, 10600 b

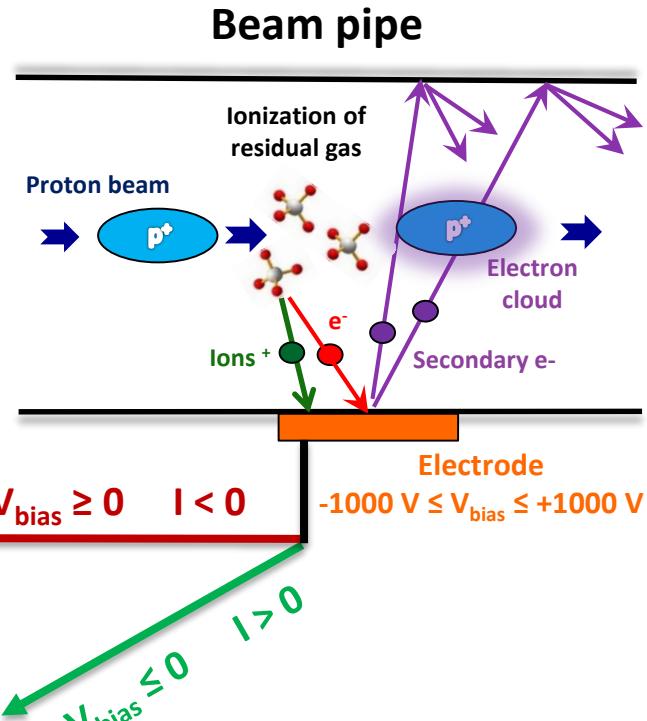
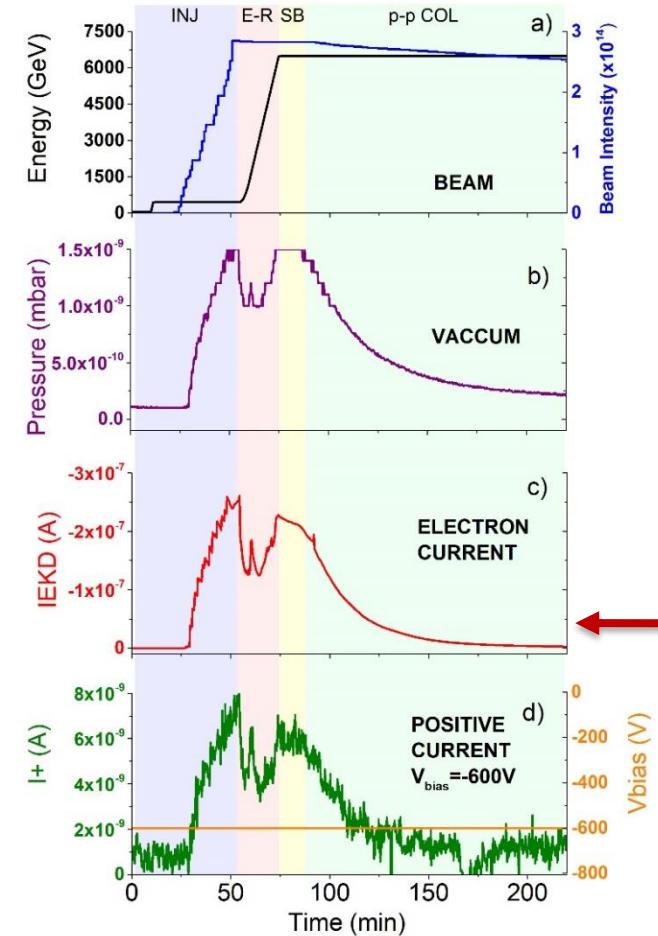
Dynamic pressure :

Stimulated desorption? Secondary particles? collective effects ?
Electron cloud? Ions ? Influence of surfaces?

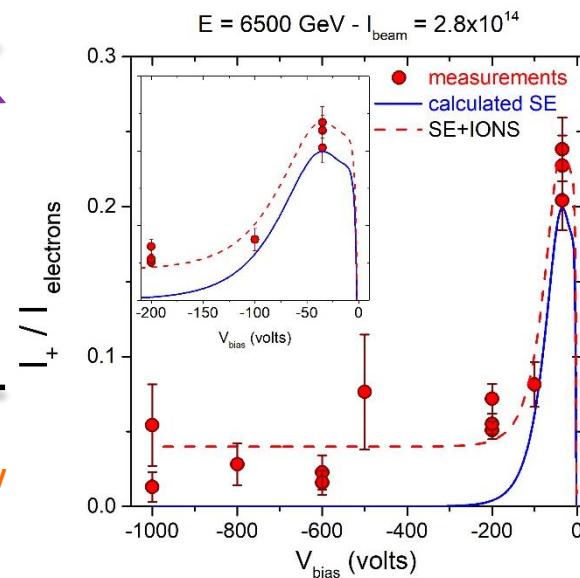
Results

Ionic current measured in the VPS of the LHC during RUN II

Standard fill for physics



Measurements with V_{bias} scanning compared to calculated SE contribution



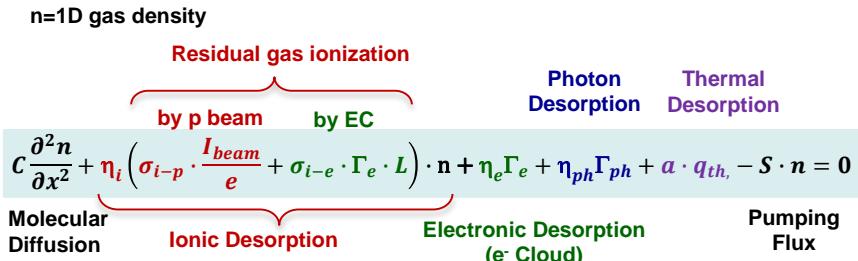
② The ion current represents 4% of the electron current.

① A positive ion current was detected.

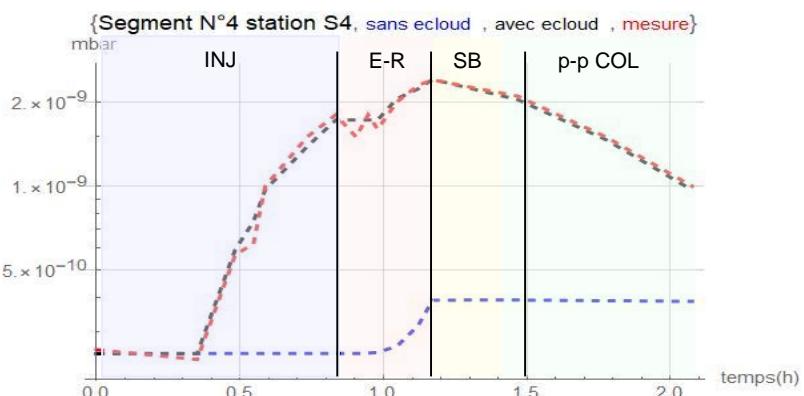
Results

DYVACS - DYnamic VACuum Simulations

Analytical model of the dynamic pressure based on VASCO code

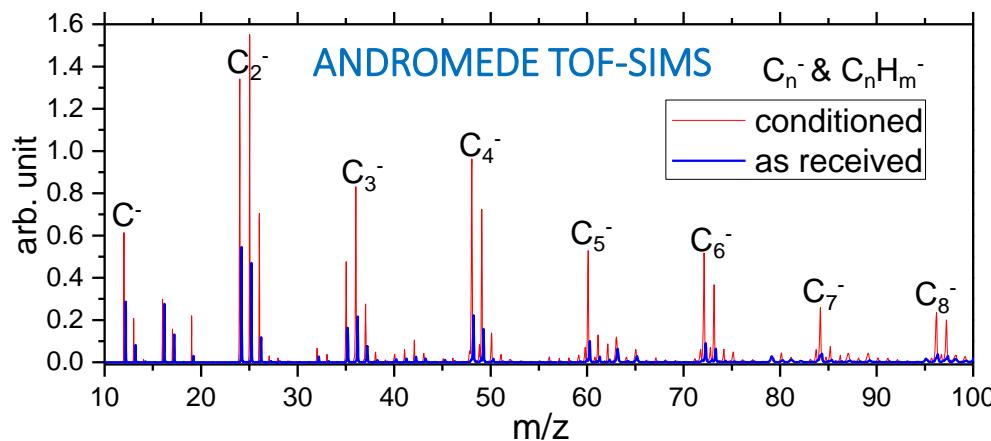
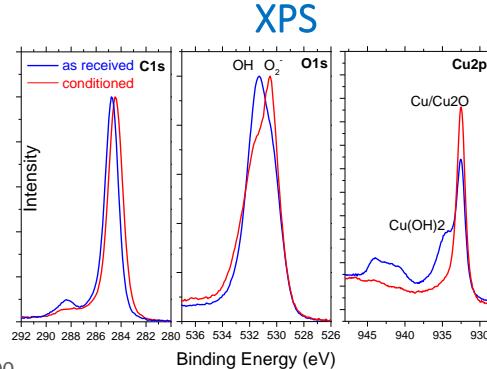
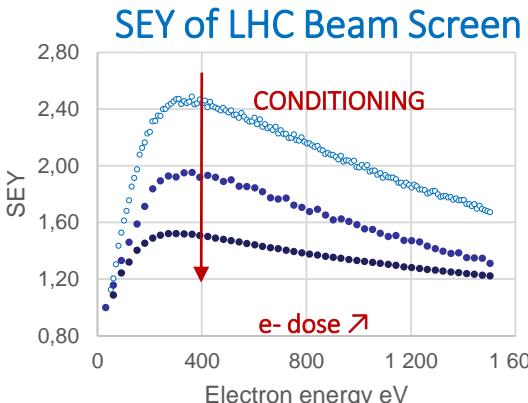


- Considering EC build-up: ↗ Electronic desorption
- Residual gas ionized by EC: ↗ ionic desorption



- ③ DYVACS simulations are in good agreement with measurements performed in the VPS of the LHC.
- ④ DYVACS can be used to predict dynamic pressure of future accelerators.

Surface Analysis



- ⑤ Conditioning effect and graphitization: Beam pipe surface chemistry is modified by interactions with electrons (EC).

Highlight

Issue

Dynamic phenomena as stimulated desorption, secondary particle creation and some collective effects induce a beam quality degradation and limit accelerator performances.

Results

- ① A positive ion current was detected.
- ② The ion current represents 4% of the electron current.
- ③ Simulations are in good agreement with measurements performed in the VPS.
- ④ DYVACS can be used to predict dynamic pressure of future accelerators.
- ⑤ Conditioning: Beam pipe surface chemistry is modified by interactions with e-.

Perspectives

- Further investigations of Conditioning & stimulated desorption (e- and ions) are necessary.
- Experimental data needed as input for DYVACS.
- Prediction of dynamic pressure for the FCC project.

A scenic view of Roscoff harbor in Brittany, France. In the foreground, a yellow and black lighthouse marker stands on a rocky pier. Beyond it, the harbor is filled with small boats and yachts. The town of Roscoff is built on a hillside overlooking the harbor, with its characteristic grey stone houses and a prominent lighthouse visible against a clear blue sky.

**Thank you for
your attention !**

Les Journées accélérateurs

Roscoff 2 - 4 octobre 2019

Thèmes

Présentations orales et posters

- Accélérateurs de hadrons
- Accélérateurs de leptons
- Accélération laser-plasma
- Technologie des accélérateurs
- Applications et aspects industriels

Organisé par le bureau de la Division Accélérateurs de la SFP :

Laurent Nadolski (SOLEIL), Jean-Luc Révol (ESRF), Thomas Thuillier (LPSC), Nicolas Delerue (LAL), Alain Savalle (GANIL), Stéphane Chel (CEA/DRF/IRFU/DACM), Brigitte Cros (LPGP), Vincent Le Flanchec (CEA/DAM), Eric Giguet (ALSYOM), Luc Perrot (IPNO)

<http://accelerateurs.sfpnet.fr/>

Étude des effets du champ de fuite des quadripôles finaux de HL-LHC sur des observables mesurées avec le faisceau

Thomas Pugnat¹,
B. Dalena¹, L. Bonaventura², A. Simona²,
R. De Maria³, V. K. Berglyd Olsen³

¹CEA - DRF/Irfu/DACM/LEDA



²MOX, Politecnico di Milano



³CERN

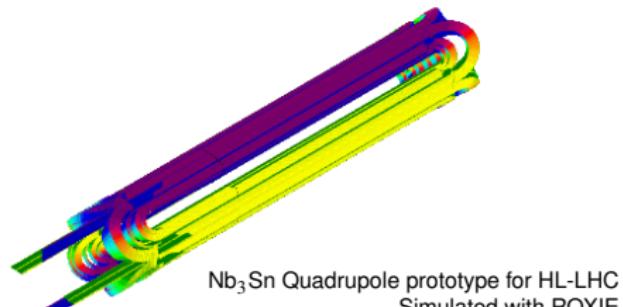
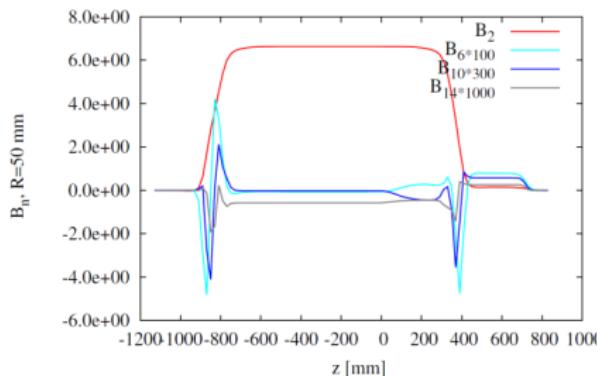


PhD Thesis: 17 April 2018 - 17 April 2021

Thèse: Dynamique faisceau pour les évolutions du LHC

Afin d'améliorer la conception et les performances des futurs collisionneurs circulaires hadroniques, j'étudie l'impact des distributions longitudinales des harmoniques non-linéaires des aimants sur la dynamique du faisceau.

En particulier, je considère le cas des quadrupôles de focalisation des régions interactions où la fonction bétatronique est très élevée.



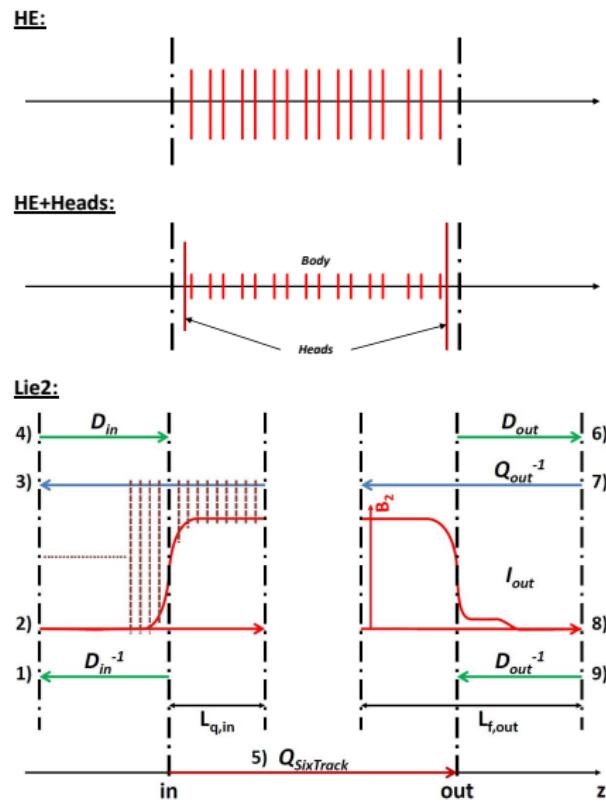
- Développer une fonction de transfert non-linéaire "réaliste" pour les études de dynamique faisceau.
- Utiliser des cartes magnétiques calculées ou mesurées.
- Déterminer des observables sensibles à la description longitudinale des harmoniques du champ.

Modèle de fonction de transfert non-linéaire

- ➊ **HE (Hard Edge):** 16 "Kick and Drift" de forces multipôlaires intégrées identiques ($\int B_n dz$).
- ➋ **HE+Heads:** Similaire à HE avec une partie des forces intégrées dans des kick additionnels aux extrémités des quadripôles.
- ➌ **Lie2:** Fonction de transfert non-linéaire dérivée de l'algèbre de Lie. Les extrémités sont modélisées en calculant le potentiel vecteur avec $dz = 2\text{cm}$.

- ➍ **ND0:** Les harmoniques pures du quadripôle.
- ➎ **ND6:** avec jusqu'à la 6^{ème} dérivée du gradient.

La force intégrée des multipôles est la même pour tous les modèles (hors dérivées des gradients). Les harmoniques non naturelles sont modélisées comme HE dans les 3 cas.



Context des études

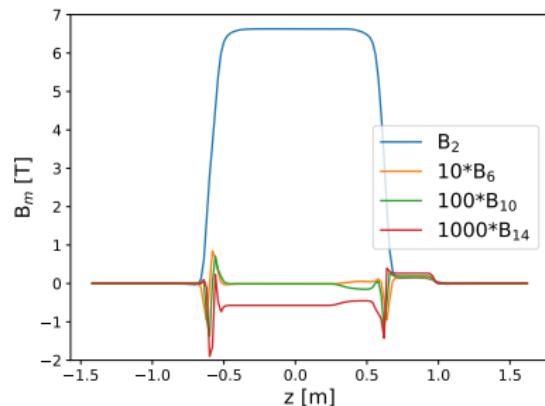
Objectifs:

Étudier l'impact d'une description plus réaliste des harmoniques magnétiques des quadripôles des Triplet Finaux (IT) de HL-LHC sur des observables mesurées avec le faisceau:

- Le décalage du nombre d'onde avec l'amplitude
(Amplitude Detuning, ici)
- L'ouverture dynamique
(Dynamic Aperture, DA, voir le poster)

Amplitude Detuning théorique:

$$\Delta Q_u = \underbrace{(\partial Q_u / \partial 2J_u)}_{b_4, b'_2, b''_2} 2J_u + \underbrace{\left(\frac{1}{2} \partial^2 Q_u / \partial (2J_u)^2 \right)}_{b_6, b'_4, b''_4, b'''_2, b''''_2} (2J_u)^2$$



Harmoniques normales échantillonées avec $\Delta z = 2 \text{ cm}$ pour le prototype de quadripôle de l'IT. Grâce à E. Todesco et S. Izquierdo Bermudez.

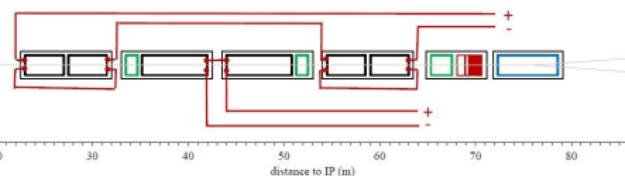
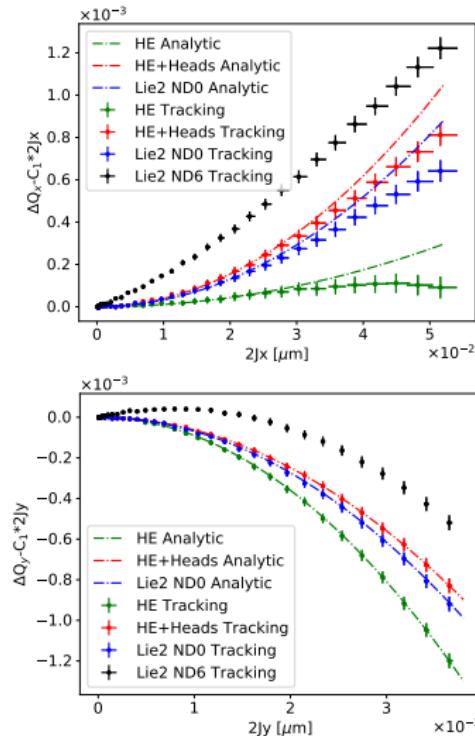


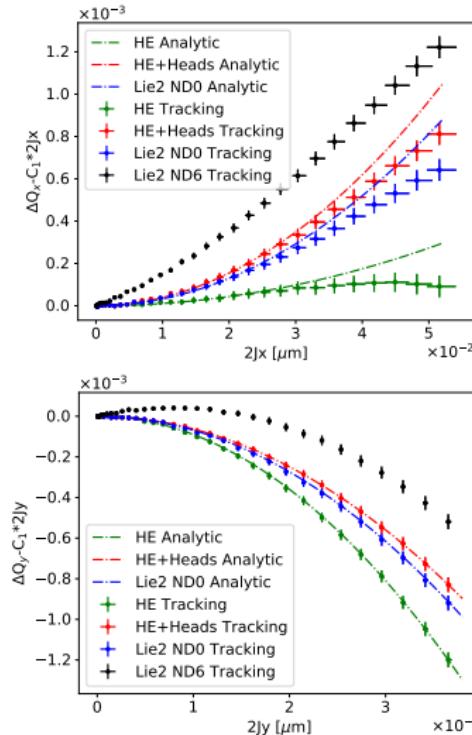
Schéma de l'alimentation des Triplet Finaux.

Contribution à l'Amplitude Detuning

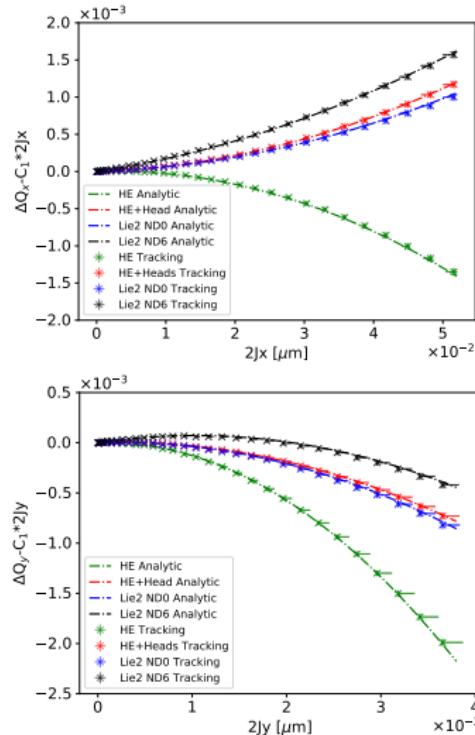


Amplitude Detuning avec toutes les harmoniques ($b_3, b_4, b_5, b_6, \dots +$ aléatoire) dans l'IT sans la correction du b_6 .

Contribution à l'Amplitude Detuning



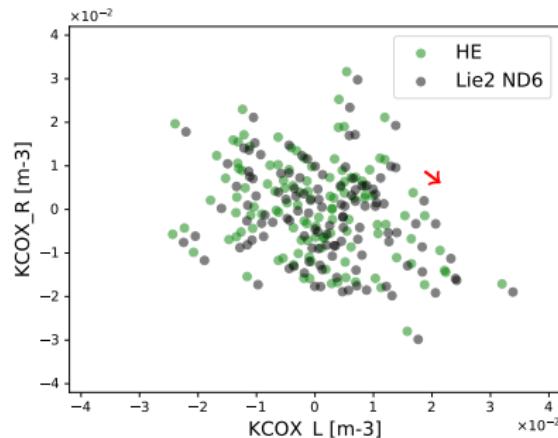
Amplitude Detuning avec toutes les harmoniques ($b_3, b_4, b_5, b_6, \dots +$ aléatoire) dans l'IT sans la correction du b_6 .



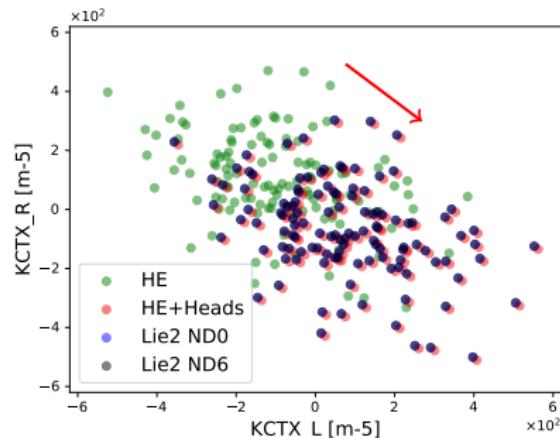
Amplitude Detuning avec uniquement l'harmonique b_6 (+ aléatoire b_6) dans l'IT sans la correction du b_6 .

Forces des correcteurs non-linéaires

Forces intégrées pour les correcteurs **octupolaires** (appelées KCOX) calculées pour les modèles HE et Lie2 ND6, avec 60 graines.



Forces intégrées pour les correcteurs **dodécapolaires** (appelées KCTX) calculées pour les 4 modèles, avec 60 graines.



Il y a un décalage systématique dans la force des correcteurs d'ordre supérieur (b_4, b_6) dépendant du modèle. Les valeurs restent néanmoins dans les spécifications.

Conclusion et Perspectives

Conclusion:

- L'Amplitude Detuning de 2^{ème} ordre est sensible à la distribution longitudinale des harmoniques.
- Le modèle HE+Heads est une approximation rapide et efficace de la distribution longitudinale des harmoniques.
- Les dérivées jusqu'à la 2^{ème}-ordre du gradient principal (octupole-like) impactent le Amplitude Detuning linéaire.

- Une déviation par rapport à un Amplitude Detuning purement de 2^{ème} ordre apparaît qui pourrait être expliquée par des harmoniques d'ordre supérieur.
- Les forces des correcteurs calculées avec le nouveau modèle restent dans les spécifications.
- Le modèle Lie2 a été implémenté dans SixTrack.

Perspectives:

- Répéter les analyses pour le LHC et FCC (si les harmoniques du champ sont disponibles).
- Est-ce que d'autres observables (β -beating, avance de phase, RDTs) sont sensibles aux non-linéarités et au modèle?

- Étudier des techniques de réduction de bruit dans le spectre des mesures tour par tour des BPMs pour améliorer les mesures sur le faisceau:
méthode Bayésienne, Machine Learning,
...

Bibliographie

- [1] *Fringe Field Modeling for the High Luminosity LHC Large Aperture quadrupole,*
B. Dalena *et al.*,
in *Proc. IPAC'14*, Dresden, Germany, June 2014, paper TUPRO002, pp. 993-996.
- [2] *Accurate and Efficient Tracking in Electromagnetic Quadrupoles,*
T. Pugnat *et al.*,
in *Proc. IPAC'18*, Vancouver, Canada, June 2014, paper THPAK004, pp. 3207-3210.
- [3] *Accurate computation of transfer maps from magnetic field data,*
M. Venturini, A. J. Dragt,
Nucl. Instr. Meth., vol. 427, pp. 387-392, May 1999.
- [4] SixTrack,
<http://sixtrack.web.cern.ch/SixTrack>
- [5] *High order time integrators for the simulation of charged particle motion in magnetic quadrupoles,*
A. Simona *et al.*,
Comp. Phys. Comm., vol. 239, pp. 33-52, Feb. 2019.
- [6] *HLLHCV1.0: HL-LHC Layout and Optics Models for 150 mm Nb3Sn Triplets and Local Crab-cavities,*
R. De Maria *et al.*,
in *Proc. IPAC'13*, Shanghai, China, May 2013, paper TUPFI014, pp. 1358-1360.
- [7] *Dynamic aperture studies for HL-LHC V1.0,*
Y. Cai *et al.*,
CERN-ACC-2018-0054.
- [8] *Report from LHC MDs 1391 and 1483: Tests of new methods for study of nonlinear errors in the LHC experimental insertions*,
E. H. Maclean *et al.*,
CERN, Geneva, Switzerland, Rep.
CERN-ACC-Note-2018-0035, Jan. 2017
- [9] *Report from LHC MD 2158:IR-nonlinear studies*,
E. H. Maclean *et al.*,
CERN, Geneva, Switzerland, Rep.
CERN-ACC-2018-0021, Mar. 2018
- [10] *Detailed review of the LHC optics commissioning for the nonlinear era*,
E. H. Maclean *et al.*,
CERN, Geneva, Switzerland, Rep.
CERN-ACC-2019-0029, Feb. 2019
- [11] MADX, <https://mad.web.cern.ch/mad>
- [12] *Tune Dependence on Momentum and Betatron Amplitudes*,
A. W. Chao and M. Tigner,
in *Handbook of Accelerator Physics and Engineering*, 2nd printing, 1999, pp. 73
- [13] *SIXTRACK VERSION 5: STATUS AND NEW DEVELOPMENTS*,
R. De Maria *et al.*,
in *Proc. IPAC'19*, Melbourne, Australia, May 2019, paper WEPTS043, pp. 3200-3203

Les Journées accélérateurs

Roscoff 2 - 4 octobre 2019

Thèmes

Présentations orales et posters

Accélérateurs de hadrons

Accélérateurs de leptons

Accélération laser-plasma

Technologie des accélérateurs

Applications et aspects industriels



Secrétariat : Sandra Cardot
email : roscoff@accelerateurs.fr



Organisé par le bureau de la Division Accélérateurs de la SFP :

Laurent Nadolski (SOLEIL), Jean-Luc Révol (ESRF), Thomas Thuillier (LPSC), Nicolas Delerue (LAL),
Alain Savalle (GANIL), Stéphane Chevallier (CEA/DRF/IRFU/DACM), Brigitte Cros (LPGP), Vincent Le Flanchec (CEA/DAM),
Eric Giguet (ALSYMOM), Luc Perrot (IPNO)

<http://accelerateurs.sfpnet.fr/>



Étude de l'instabilité de couplage des modes transverses dans le grand collisionneur de hadrons du CERN

D.Amorim

Superviseur CERN: N.Biancacci

Directeur de thèse: J.-M. De Conto

Remerciements:

S.Antipov, X.Buffat, E.Carideo, L.Carver, T.Levens, A.Mereghetti, E.Métral,
N.Mounet, A.Oeftiger, B.Salvant, M.Soderen, D.Valuch, LHC-OP and Injectors-OP

Journées accélérateurs 2019

Roscoff, France

2 Octobre 2019

La luminosité est la grandeur clé dans un collisionneur

M nombre de paquets

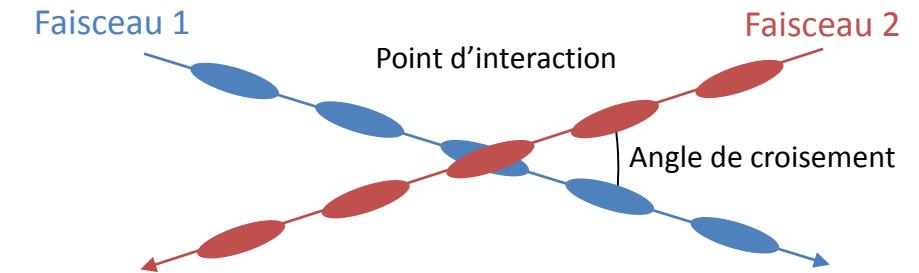
N_b intensité du paquet

f_0 fréquence de révolution

$\sigma_{x,y}$ taille transversale

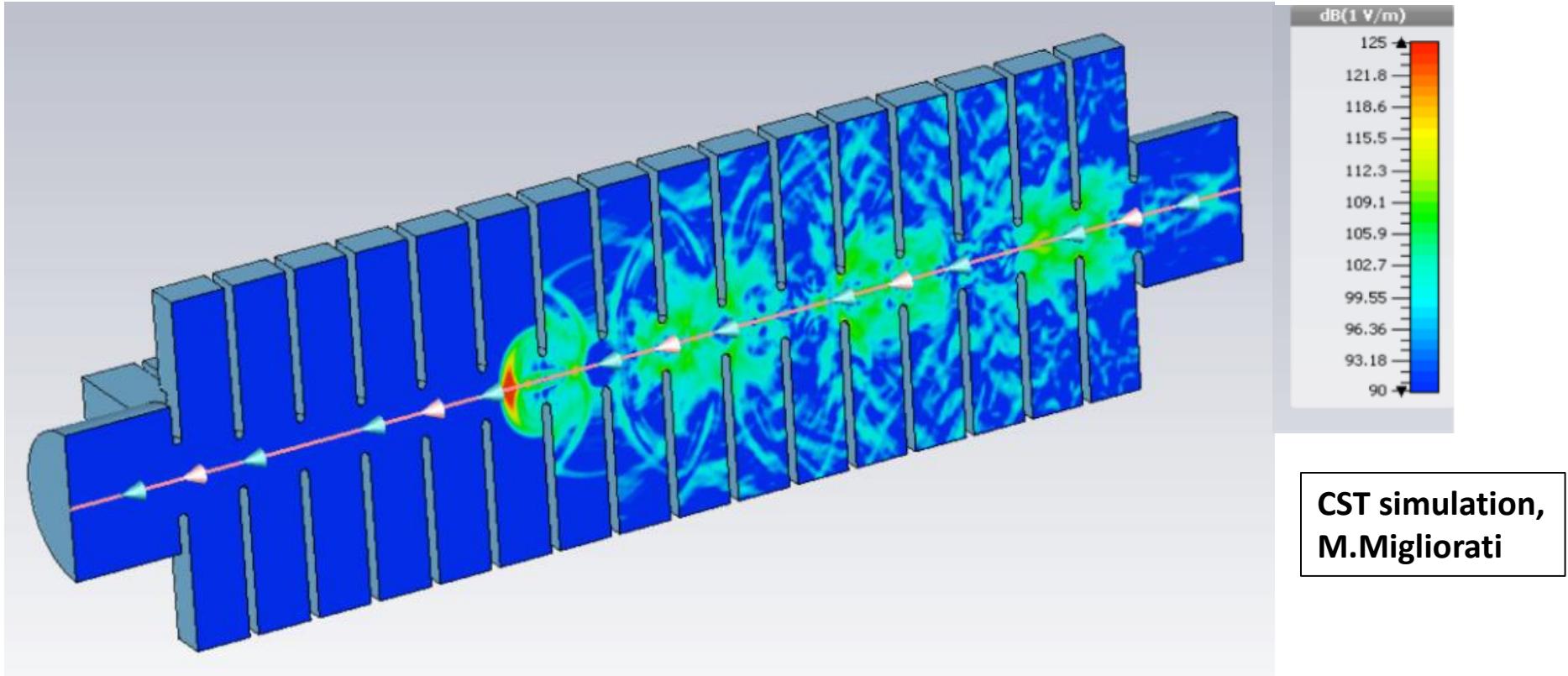
F facteur de réduction (angle de croisement)

$$\mathcal{L} = \frac{f_0 M N_b^2}{4\pi \sigma_x \sigma_y} F$$



- Le projet de LHC Haute Luminosité (HL-LHC) prévoit d'augmenter celle-ci d'un facteur 5
 - En augmentant l'intensité des paquets
 - En réduisant la taille des paquets et l'angle de croisement

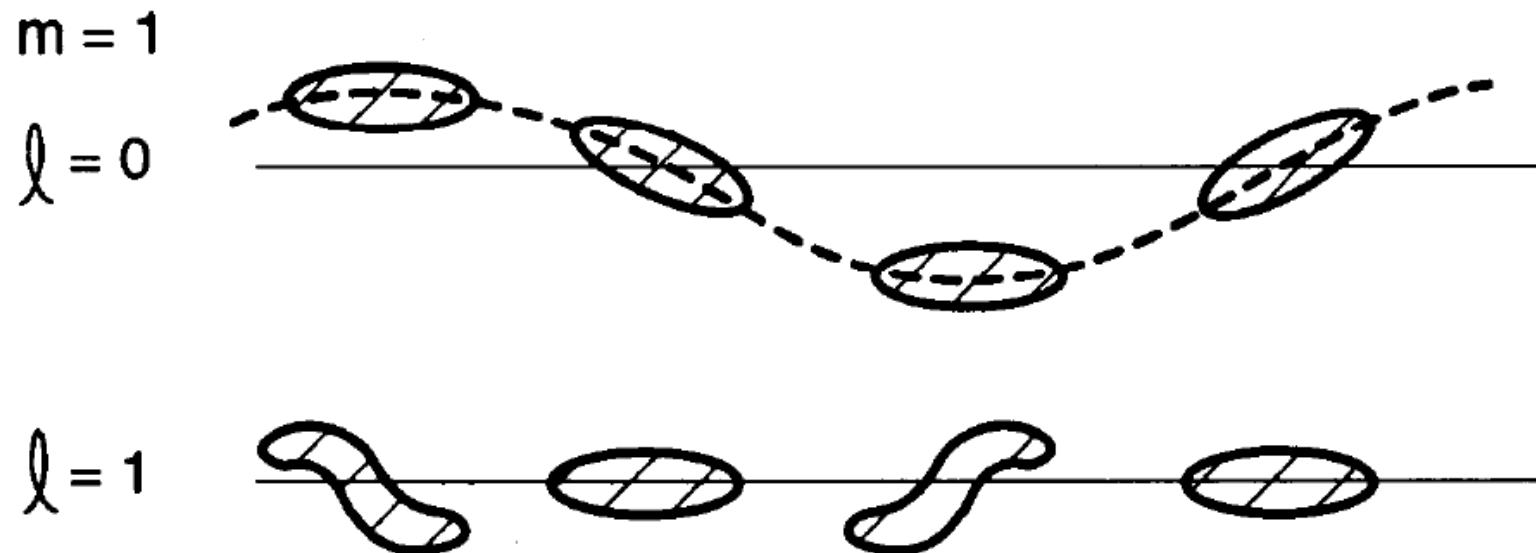
Le faisceau interagit électromagnétiquement avec son environnement



- L'impédance de la machine caractérise ces champs électromagnétiques
- Ces champs peuvent perturber les paquets suivants, voir le paquet lui-même
- Ces effets peuvent être atténués en optimisant les équipements de la machine

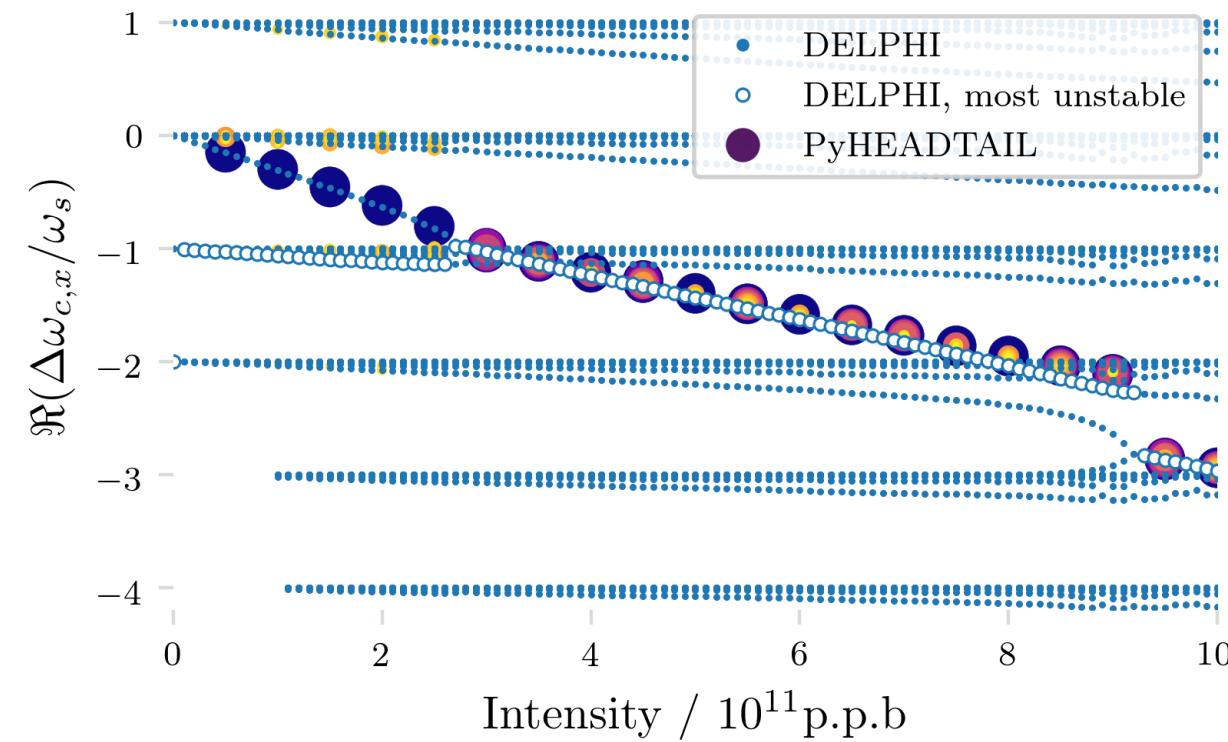
A haute intensité, les paquets peuvent se mettre à osciller

- Peut causer des **pertes d'intensité**, une **augmentation de la taille** des paquets voir des **extractions non prévues** du faisceau

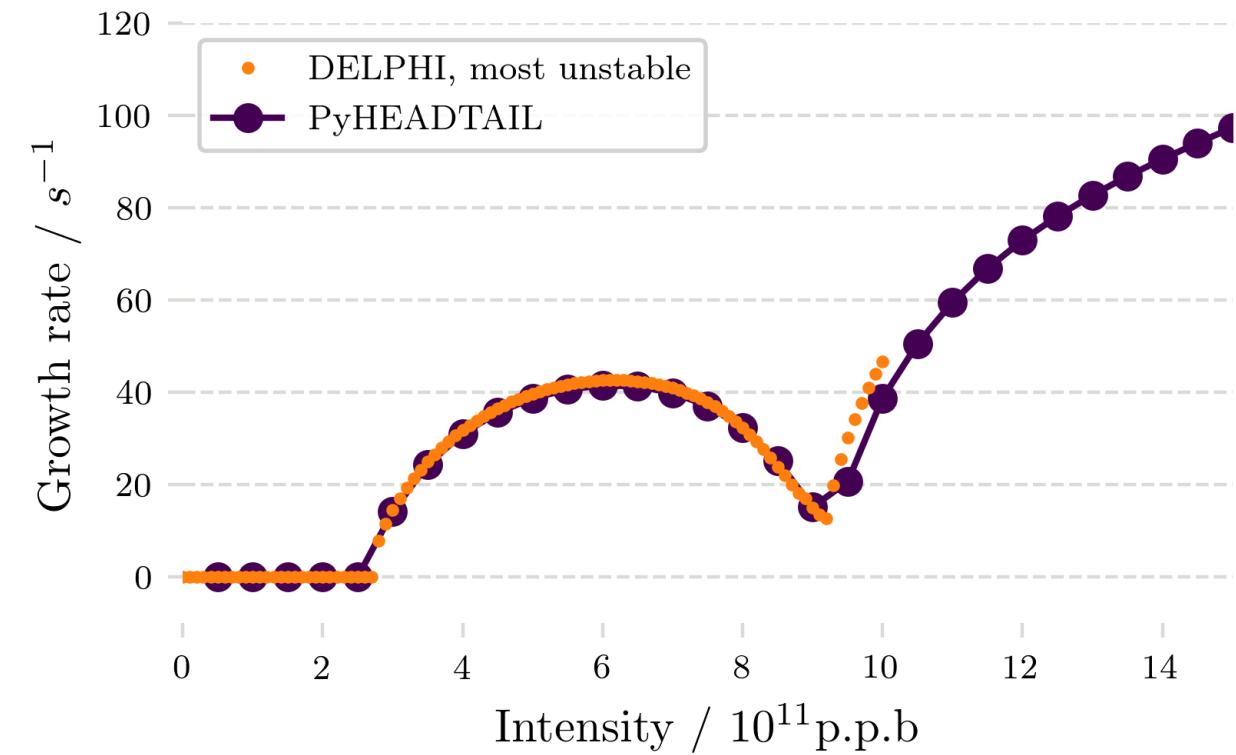


Les modes d'oscillation peuvent être simulés avec différentes approches

- Analytique: résolution de l'équation de Vlasov (ex: code DELPHI)
- Tracking avec des code macroparticules (ex: code PyHEADTAIL)

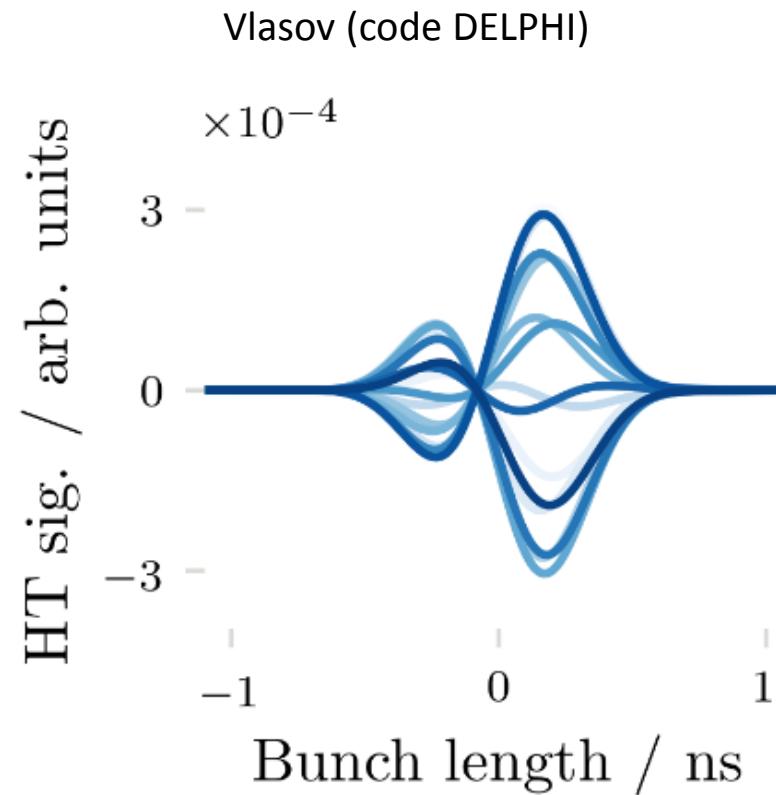
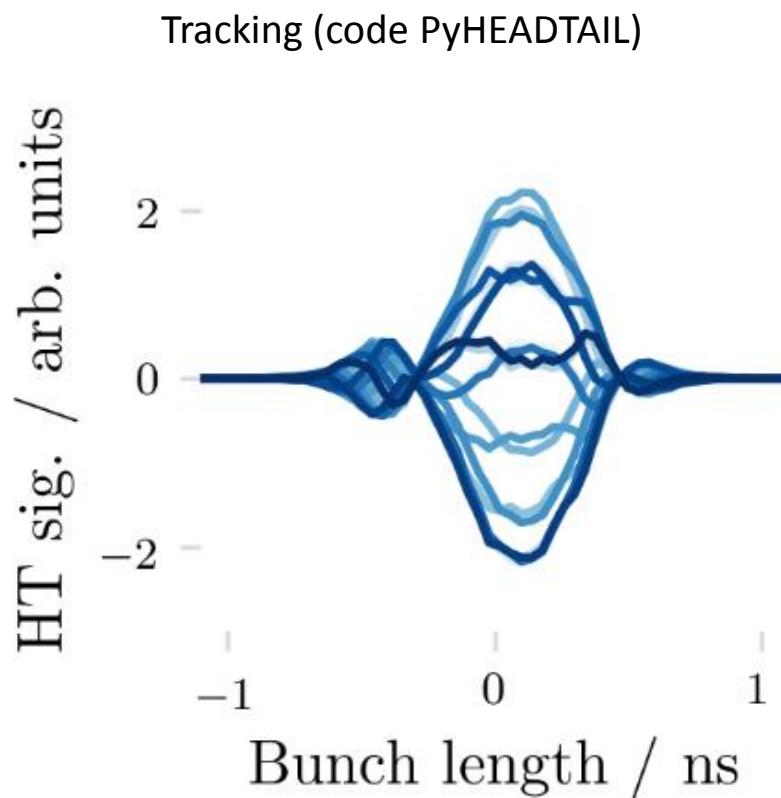


Modèle impédance: LHC 2017



Les profils des paquets peuvent être obtenus avec les deux approches

- Reconstruction analytique implémentée dans le code DELPHI
- Accès à une observable supplémentaire

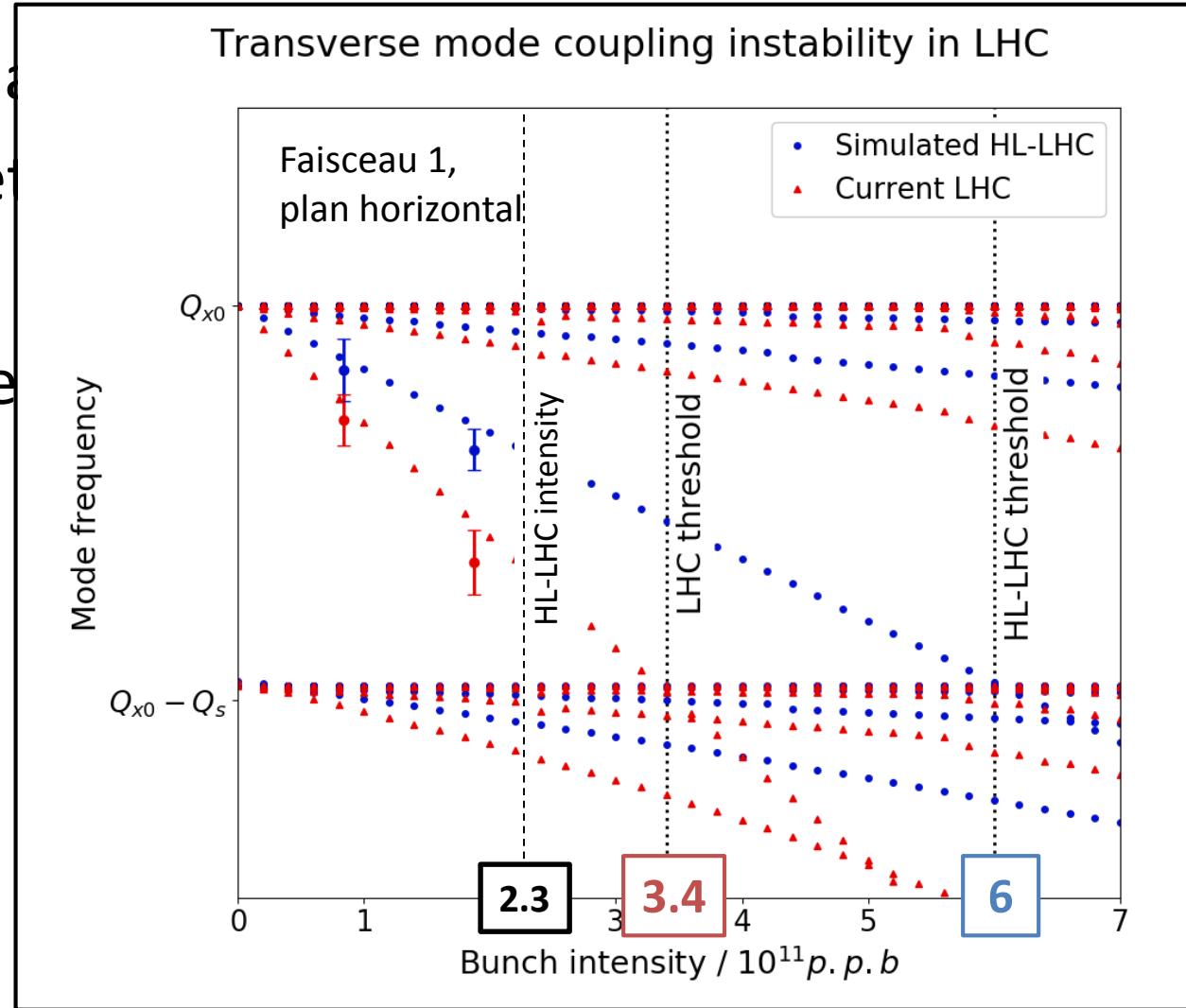


L'impédance de HL-LHC doit être réduite pour faire face à l'augmentation d'intensité

- Évaluer les marges de stabilité actuelles
- Prouver l'effet bénéfique de la réduction d'impédance
- Méthode: mesure du décalage du nombre d'onde transverse

L'impédance de HL-LHC doit être réduite pour faire face à l'augmentation d'intensité

- Évaluer les ma...
- Prouver l'effe...
- Méthode: me...



erse

Conclusions

- Les instabilités faisceau causées par l'impédance peuvent être étudiées par des codes analytiques ou par des codes de tracking
- Le code analytique DELPHI permet de reconstruire le profil des paquets mesurable dans l'accélérateur
- L'effet bénéfique de la réduction d'impédance prévue pour HL-LHC a pu être démontré

Les Journées accélérateurs

Roscoff 2 - 4 octobre 2019

Thèmes

Présentations orales et posters

- Accélérateurs de hadrons
- Accélérateurs de leptons
- Accélération laser-plasma
- Technologie des accélérateurs
- Applications et aspects industriels

Organisé par le bureau de la Division Accélérateurs de la SFP :

Laurent Nadolski (SOLEIL), Jean-Luc Révol (ESRF), Thomas Thuillier (LPSC), Nicolas Delerue (LAL), Alain Savalle (GANIL), Stéphane Chel (CEA/DRF/IRFU/DACM), Brigitte Cros (LPGP), Vincent Le Flanchec (CEA/DAM), Eric Giguet (ALSYOM), Luc Perrot (IPNO)

<http://accelerateurs.sfpnet.fr/>



First Beam-Beam Long-range Compensation Experiment in the CERN LHC

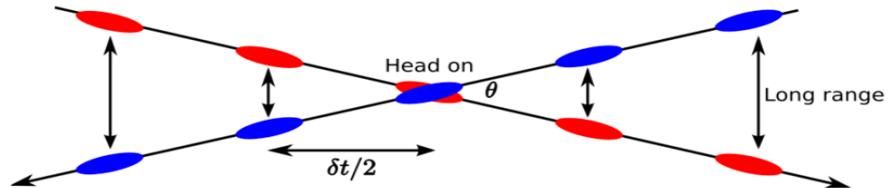
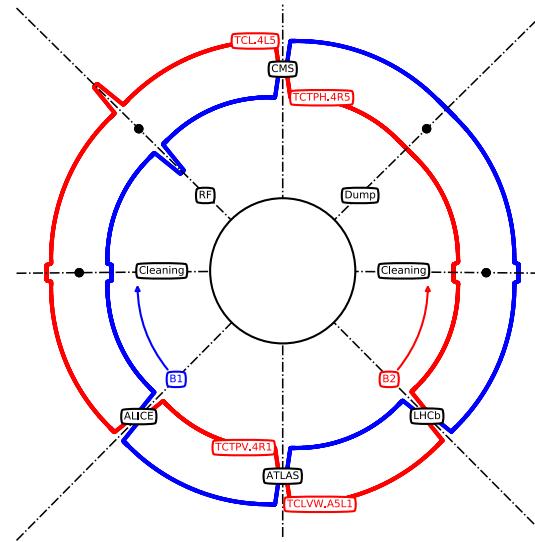
A. Poyet



Journées Accélérateurs de la SFP – Roscoff – 2nd October 2019

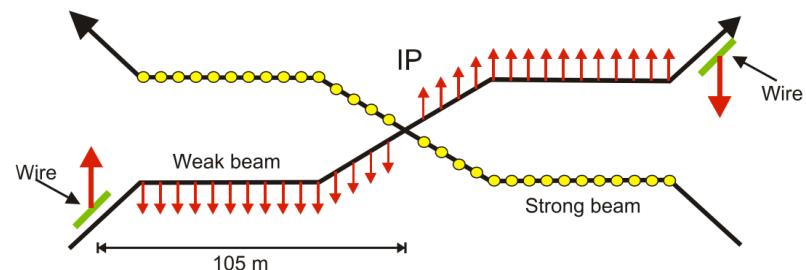
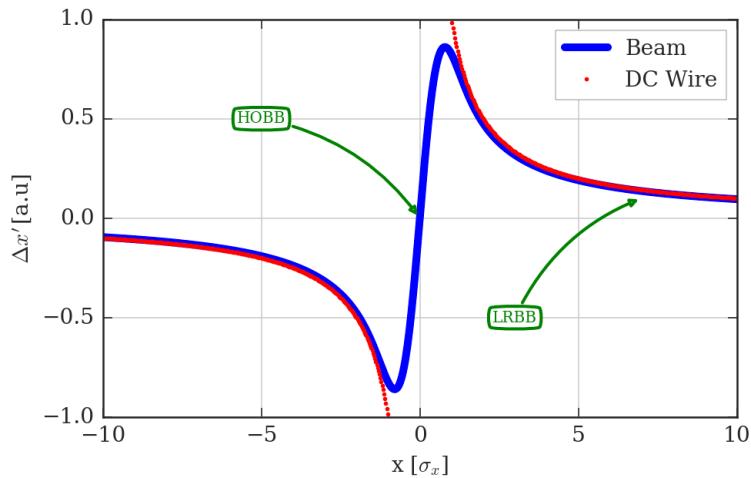
I – Introduction to the problem

- LHC is a **collider**
 - 2 beams circulating and colliding in 4 points
- Two types of interactions:
 - Maximizing the **inelastic collisions** (**Head-On** → **Luminosity**)
 - Consequence: **electromagnetic** interactions (**Long-Range** → lifetime deterioration)
- This effect increases with the beam intensity, and with the reduction of crossing angle → **limitation for LHC, HL-LHC and other future colliders**



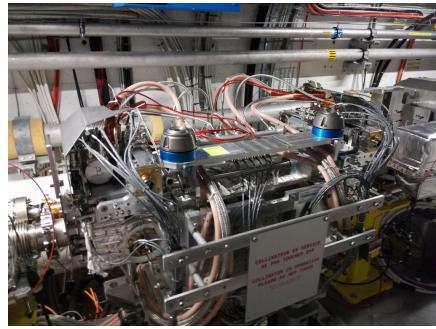
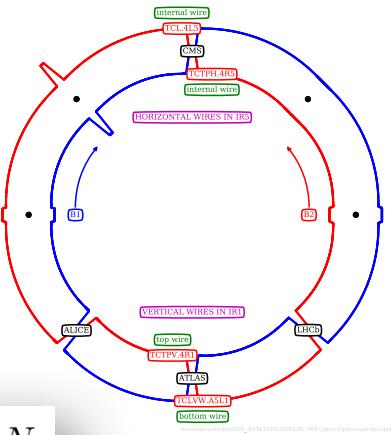
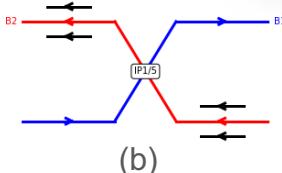
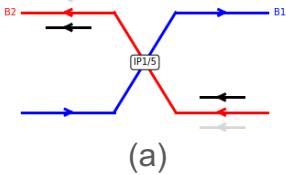
II – Proposed solution

- Early 2000's, JP Koutchouk proposed for the first time to **compensate the BBLR using a wire**
- By placing a wire at the same s-position as the BBLR interaction, **this wire would produce the same kick**
- **Impossible to install one wire per interaction** → ~20 interactions per side per IP
- **The s-position of the wire has an important impact on the non-linear beam dynamics of the problem**
- One wire per side per IP, choose wisely !

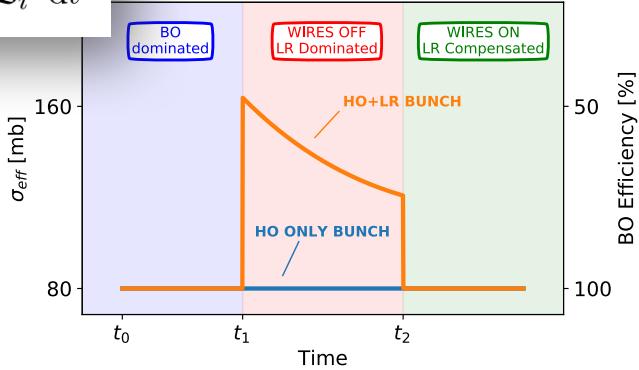


III – Experimental Setup

- Wires embedded in 4 collimators around IP1/5 (8 wires)
- 2 possible configuration :
 - Single wire configuration (a)
 - Alternative non-linear configuration (b)

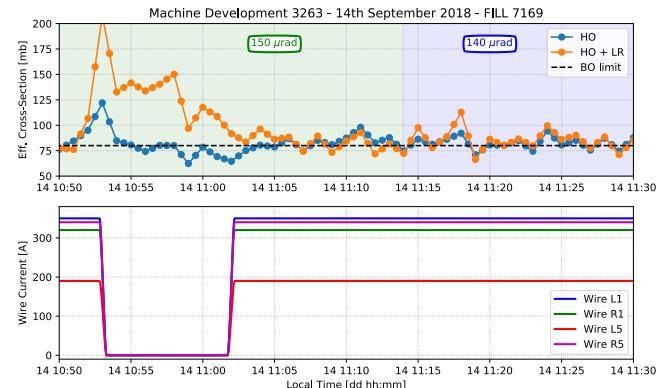
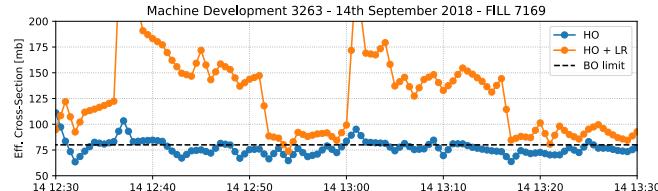
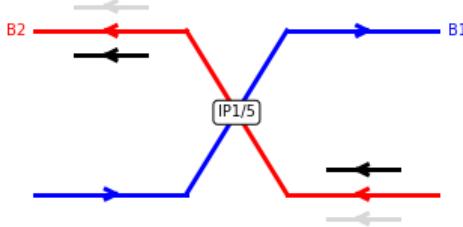


$$\sigma_{eff} = -\frac{1}{\sum_i \mathcal{L}_i} \frac{dN}{dt}$$



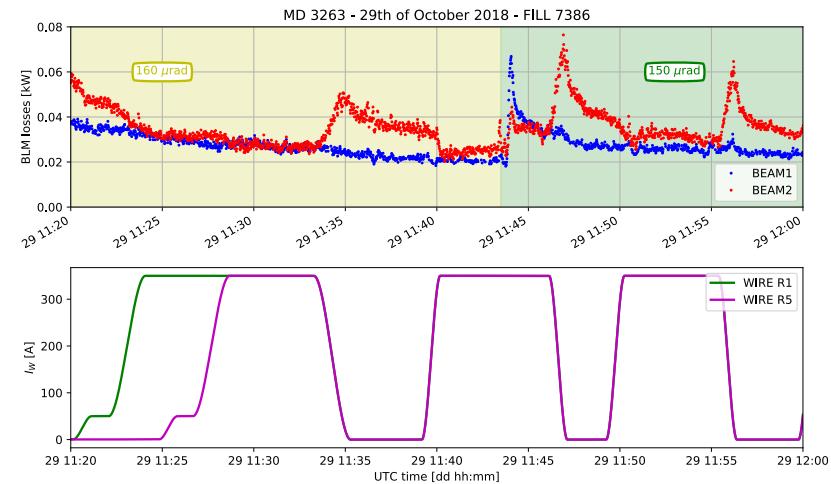
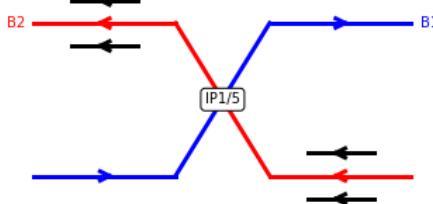
IV – Experimental Results

- Single wire configuration
- Clear effect on the effective cross-section, even by reducing the crossing angle



IV – Experimental Results

- Alternative non-linear configuration
- **Visible effect** on the beam losses, possibility to reduce the crossing angle without increasing the losses



Conclusions

- During LHC Run II, 2 years of experiments during which the potential of the compensation of the BBLR using wires has been observed
- Powering the wires reduces the beam losses, allowing a reduction of the crossing angle
- Tests have been led both with low intensity beams, and in scenarios closer to operation
- The next step is now to prepare the LHC Run III in order to gain experience in operation with the wires



Thank you for your attention!



Credits : thanks to the wire compensators team !

Les Journées accélérateurs

Roscoff 2 - 4 octobre 2019

Thèmes

Présentations orales et posters

Accélérateurs de hadrons

Accélérateurs de leptons

Accélération laser-plasma

Technologie des accélérateurs

Applications et aspects industriels



Secrétariat : Sandra Cardot
email : roscoff@accelerateurs.fr



Organisé par le bureau de la Division Accélérateurs de la SFP :

Laurent Nadolski (SOLEIL), Jean-Luc Révol (ESRF), Thomas Thuillier (LPSC), Nicolas Delerue (LAL),
Alain Savalle (GANIL), Stéphane Chevallier (CEA/DRF/IRFU/DACM), Brigitte Cros (LPGP), Vincent Le Flanchec (CEA/DAM),
Eric Giguet (ALSYMOM), Luc Perrot (IPNO)

<http://accelerateurs.sfpnet.fr/>

Résonateur Quadripolaire

Conception d'un nouvel instrument pour la caractérisation d'échantillons supraconducteurs

Sarra BIRA

Directeur de thèse: Michel Guidal

Institut de Physique Nucléaire d'Orsay IPNO



Journée Accélérateurs Roscoff 2019



Plan

- Motivations
- Le résonateur quadripolaire
- Principe de mesure de la résistance de surface
- Etapes de conception
- Ensemble résonateur et chambre de mesure
- Conclusion et perspectives.

Motivations

- Les cavités accélératrices en Niobium massif ($T_c < 9.2$ K)

➤ Performances max atteintes $\Rightarrow E_{acc} = 59$ MV/m
soit $B_s = 200$ mT



Cavité accélératrice

Motivations

- Les cavités accélératrices en Niobium massif ($T_c < 9.2$ K)



Cavité accélératrice

➤ Performances max atteintes $\Rightarrow E_{acc} = 59$ MV/m
soit $B_s = 200$ mT

- Objectif: trouver des nouveaux matériaux supraconducteurs avec B_c et T_c plus élevés
- $\Rightarrow Nb_3Sn, NbN, MgB_2$

Motivations

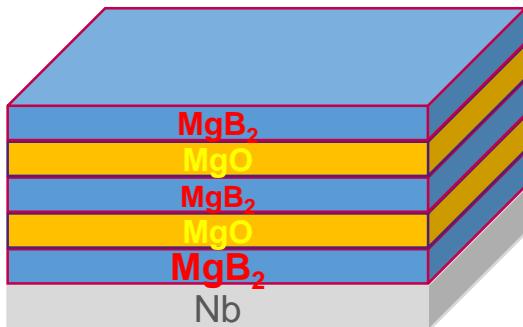
- Les cavités accélératrices en Niobium massif ($T_c < 9.2$ K)



Cavité accélératrice

- Performances max atteintes $\Rightarrow E_{acc} = 59$ MV/m
soit $B_s = 200$ mT

- Objectif: trouver des nouveaux matériaux supraconducteurs avec B_c et T_c plus élevés
 - $\Rightarrow Nb_3Sn, NbN, MgB_2$



Multicouches



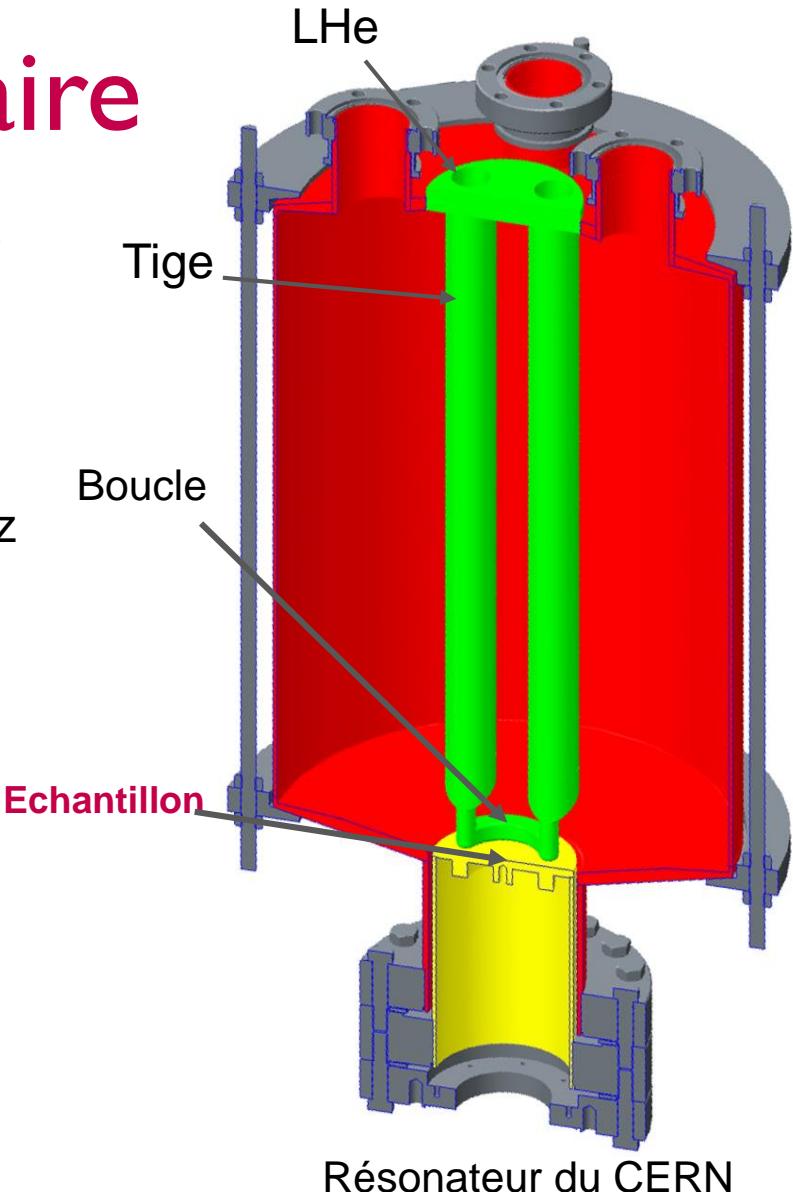
Couche mince

Résonateur quadripolaire

- Propriétés du matériau supraconducteur (f , T , B)
 - Mesure de la résistance de surface R_s
 - Longueur de pénétration de London λ
 - Température de transition T_c

Résonateur quadripolaire

- Propriétés du matériau supraconducteur (f , T , B)
 - Mesure de la résistance de surface R_s
 - Longueur de pénétration de London λ
 - Température de transition T_c
- Système basé sur le design du CERN à 400MHz

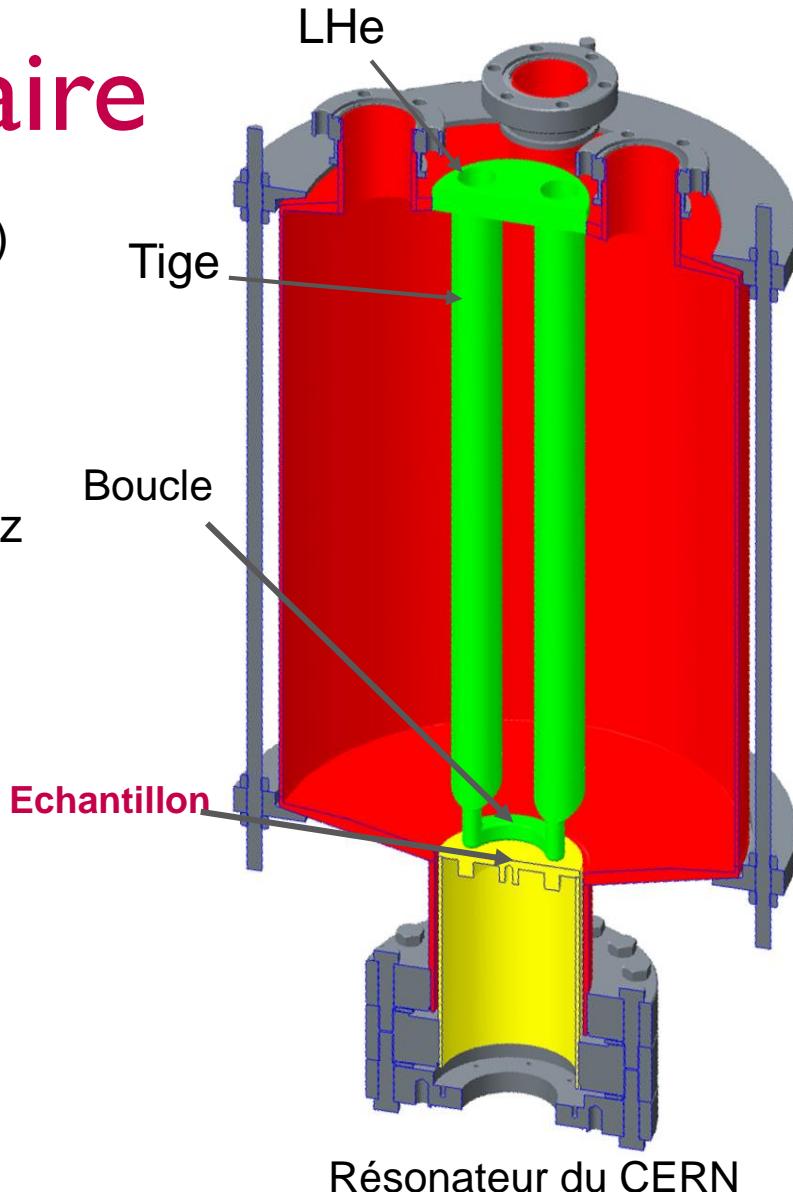


Résonateur du CERN

Résonateur quadripolaire

- Propriétés du matériau supraconducteur (f , T , B)
 - Mesure de la résistance de surface R_s
 - Longueur de pénétration de London λ
 - Température de transition T_c
- Système basé sur le design du CERN à 400MHz
- Petits échantillons de **20 mm** de diamètre
- Fréquence de fonctionnement:
 - 1.3GHz (fréquence de référence),
 - 2.6GHz, 3.8GHz

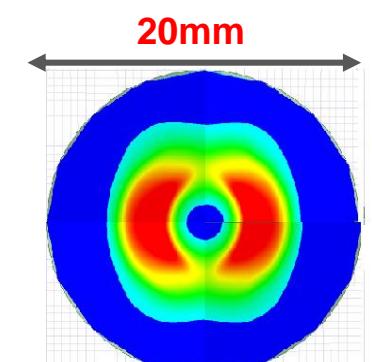
(comparaison avec une autre cavité TE011)



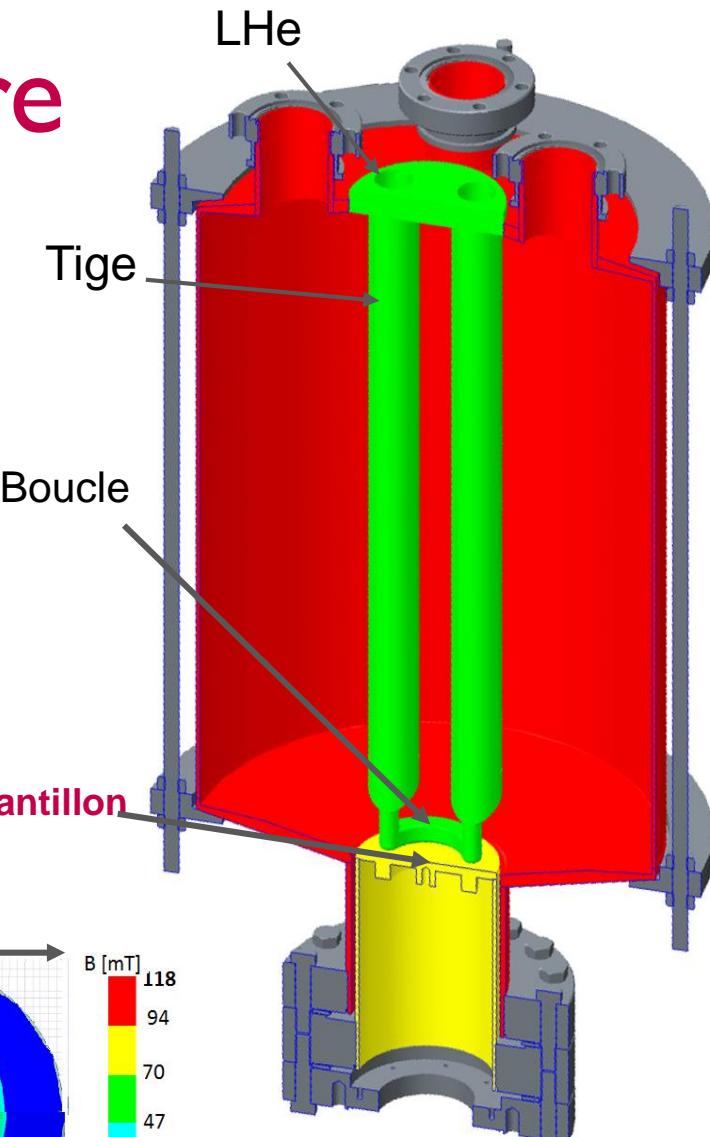
Résonateur du CERN

Résonateur quadripolaire

- Propriétés du matériau supraconducteur (f , T , B)
 - Mesure de la résistance de surface R_s
 - Longueur de pénétration de London λ
 - Température de transition T_c
- Système basé sur le design du CERN à 400MHz
- Petits échantillons de **20 mm** de diamètre
- Fréquence de fonctionnement:
 - 1.3GHz (fréquence de référence),
 - 2.6GHz, 3.8GHz(comparaison avec une autre cavité TE011)



Champ magnétique sur
l'échantillon



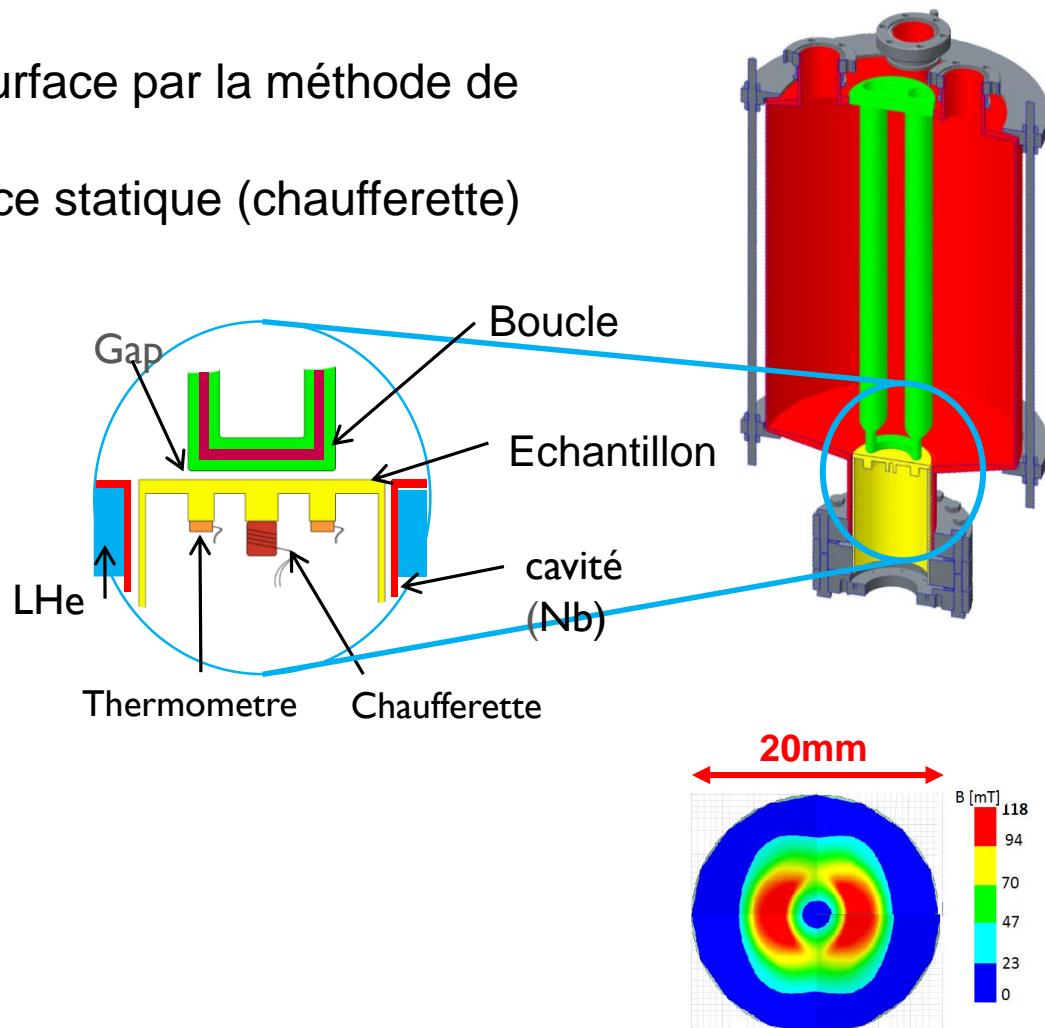
Résonateur du CERN

Principe de mesure de la résistance de surface

- La mesure de la résistance de surface par la méthode de compensation calorimétrique

Principe de mesure de la résistance de surface de surface

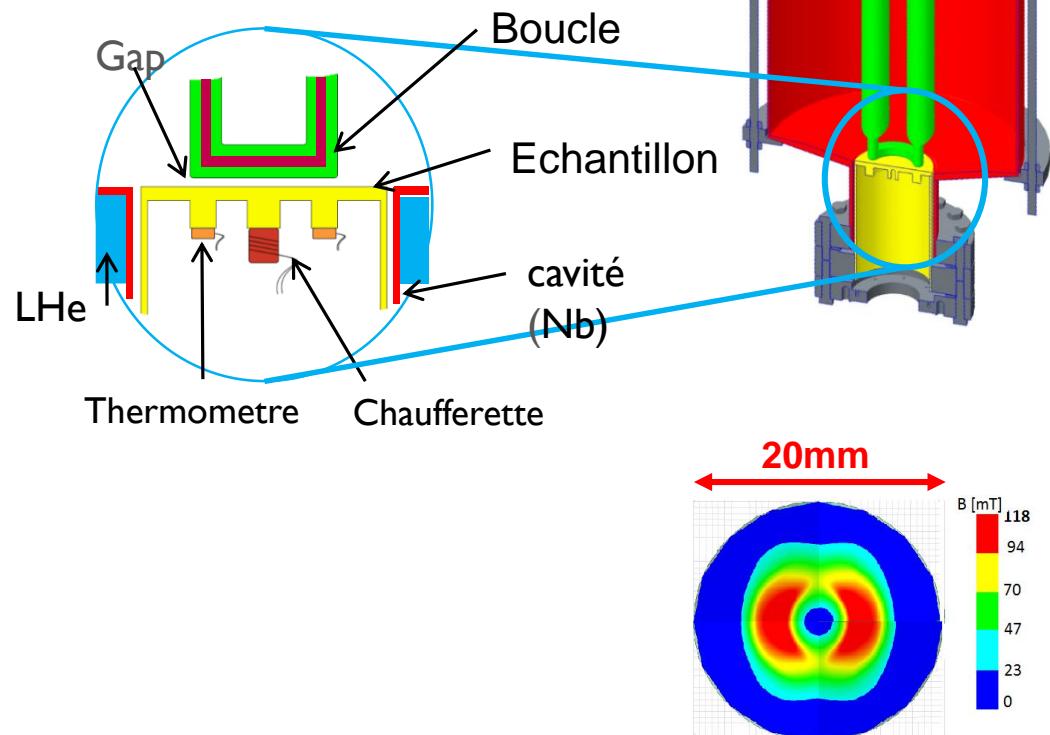
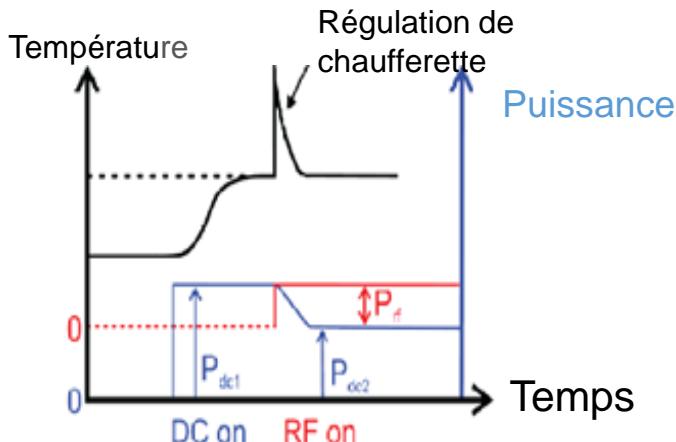
- La mesure de la résistance de surface par la méthode de compensation calorimétrique
 - Chauffage par une puissance statique (chaufferette)
 - Chauffage RF



Champ magnétique sur l'échantillon

Principe de mesure de la résistance de surface de surface

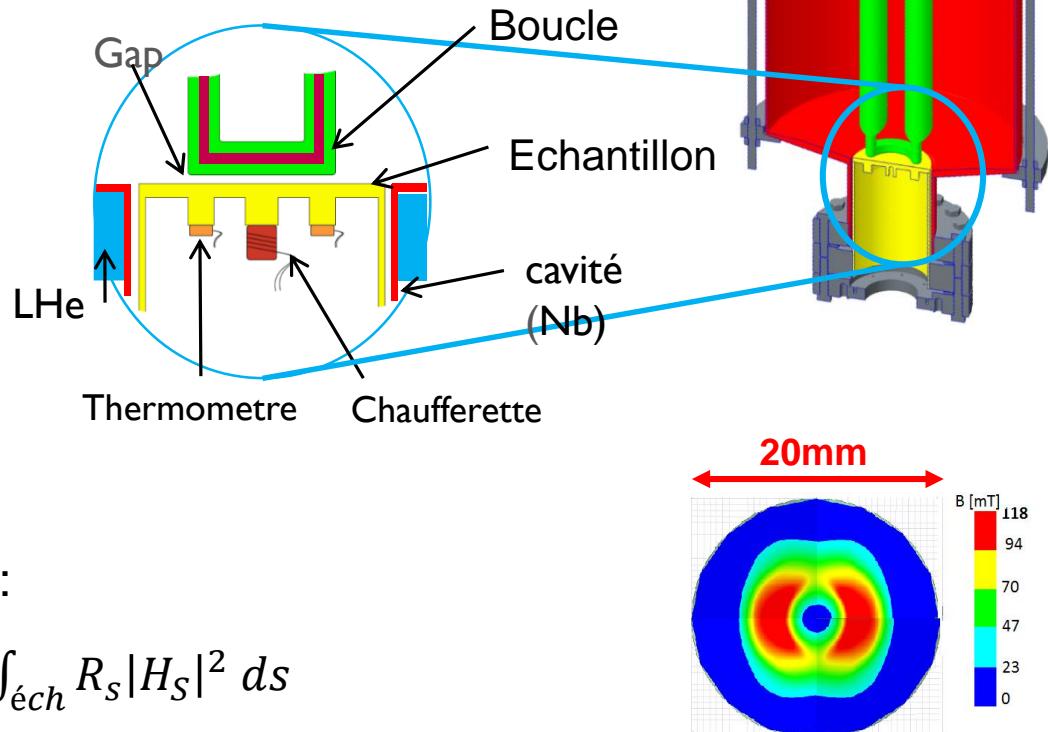
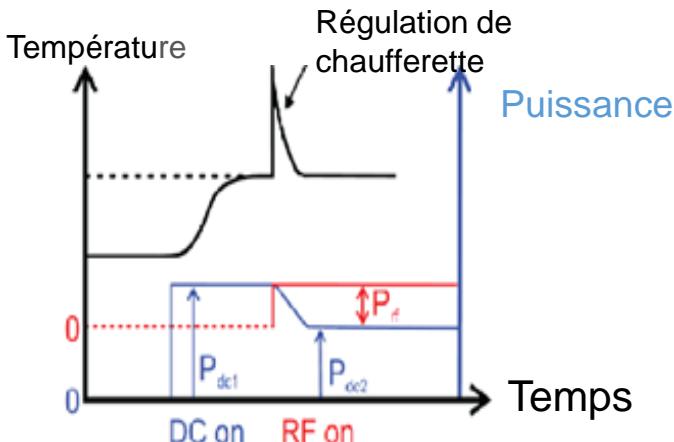
- La mesure de la résistance de surface par la méthode de compensation calorimétrique
 - Chauffage par une puissance statique (chaufferette)
 - Chauffage RF



Champ magnétique sur
l'échantillon

Principe de mesure de la résistance de surface

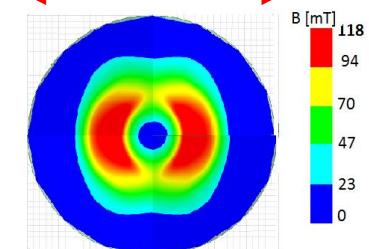
- La mesure de la résistance de surface par la méthode de compensation calorimétrique
 - Chauffage par une puissance statique (chaufferette)
 - Chauffage RF



- La puissance RF est donnée par:

$$\Rightarrow P_{RF} = P_{DC1} - P_{DC2} = \frac{1}{2} \iint_{\text{éch}} R_s |H_S|^2 ds$$

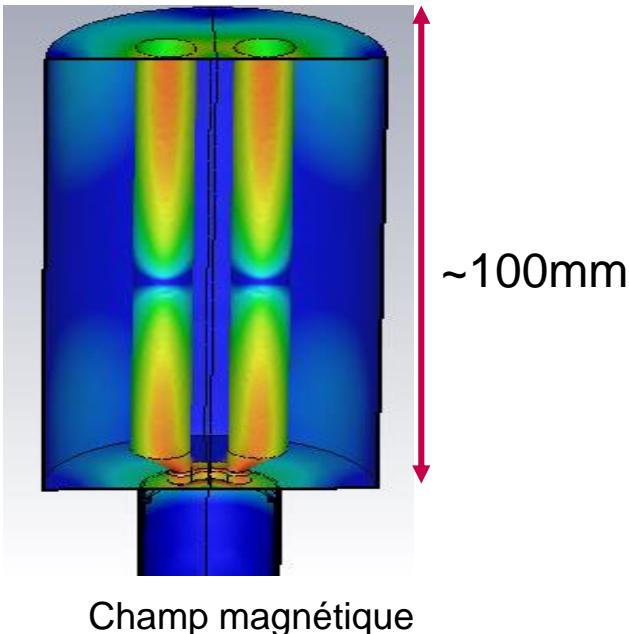
- La résistance de surface : $R_s = \frac{2P_{RF}}{\iint_{\text{éch}} |H_S|^2 ds}$



Champ magnétique sur l'échantillon

Etapes de conception

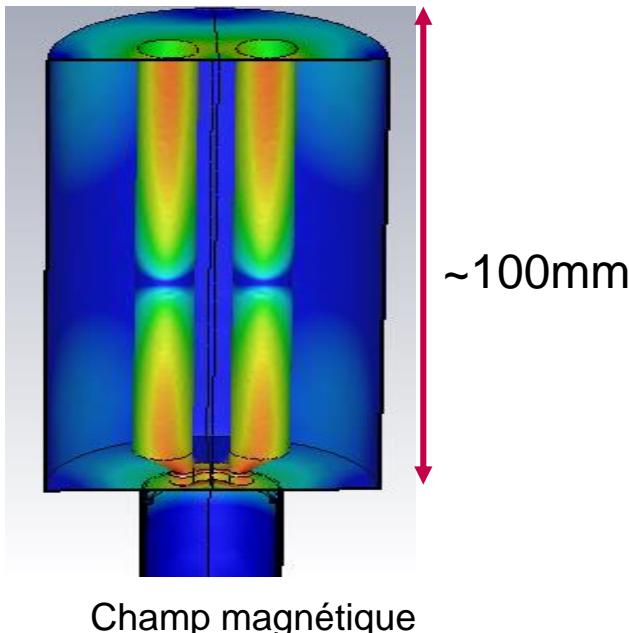
Etudes RF



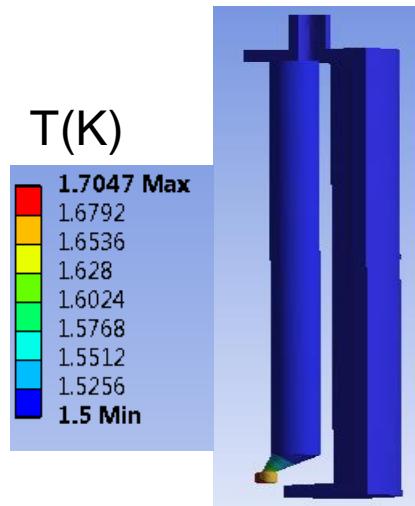
- Optimisation de la géométrie de la cavité
Ansys et CST

Etapes de conception

Etudes RF



Etude thermique

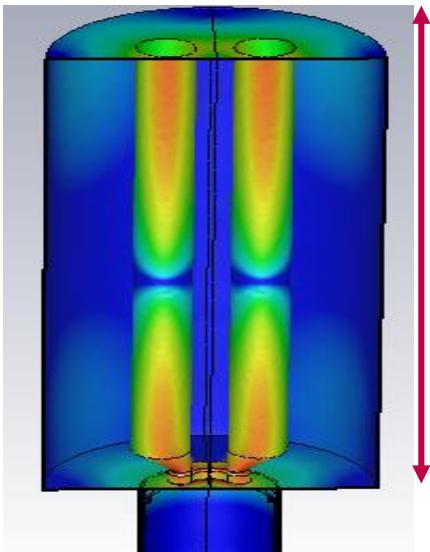


Température du résonateur
après le refroidissement

- Optimisation de la géométrie de la cavité Ansys et CST
- Fixer la gamme de température et du champ magnétique (Ansys)

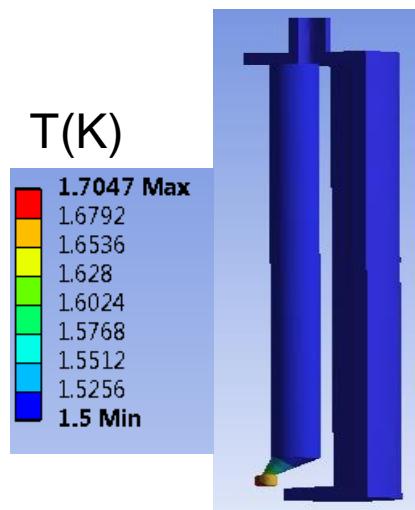
Etapes de conception

Etudes RF



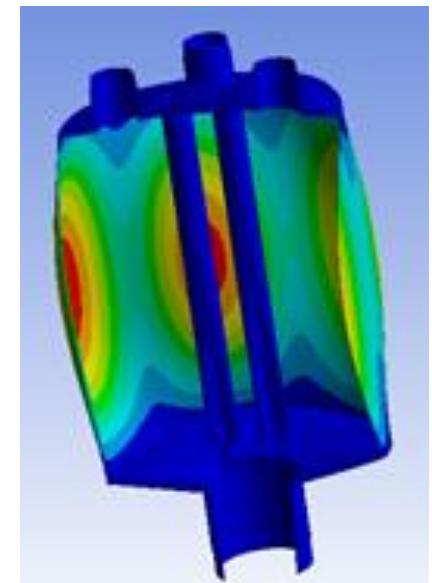
Champ magnétique

Etude thermique



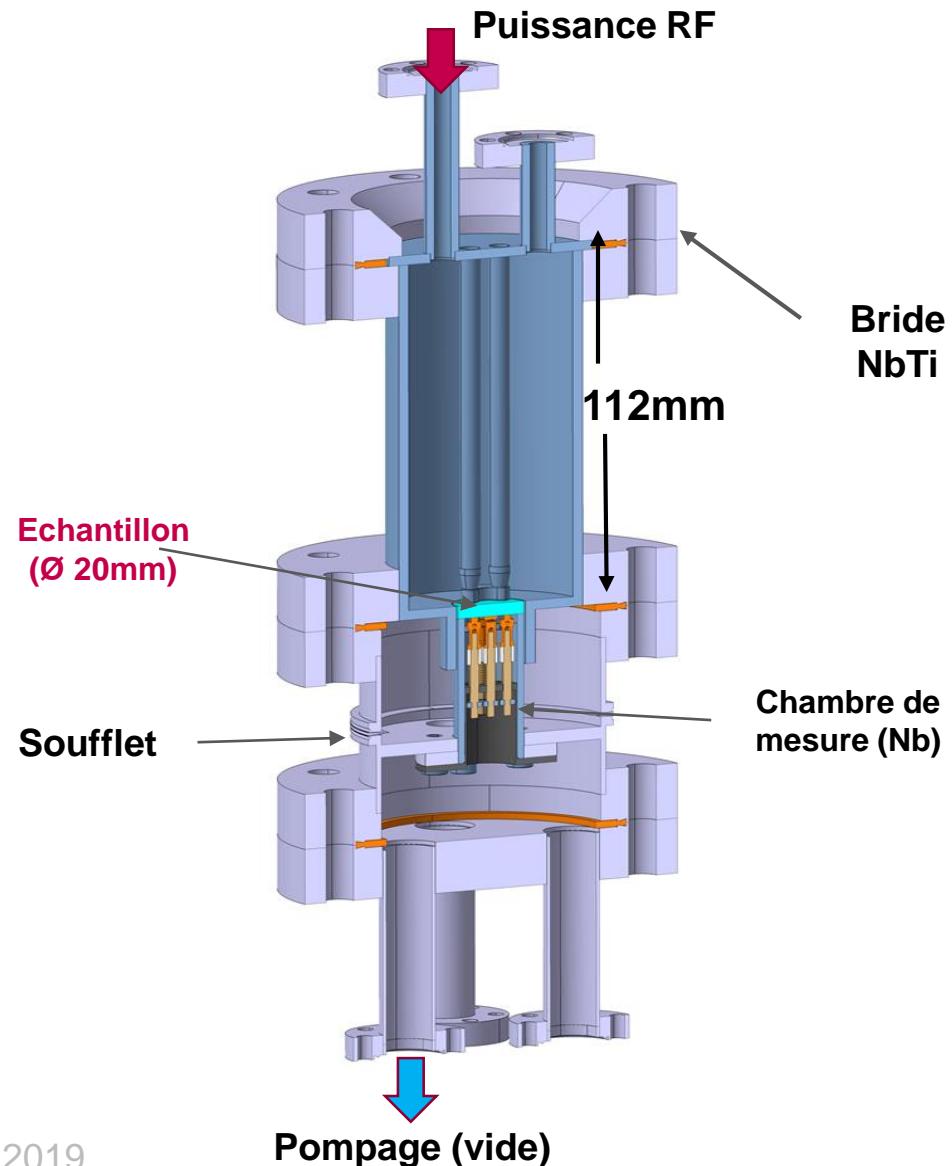
Température du résonateur
après le refroidissement

Etude mécanique



- Optimisation de la géométrie de la cavité (ANSYS et CST)
- Fixer la gamme du température et du champ magnétique de fonctionnement (ANSYS)
- Prédiction des déformations/rétraints sur résonateur (ANSYS)

Configuration finale du résonateur et de la chambre de mesure



Conclusion et perspectives

- Fabrication du Résonateur Quadripolaire
- Produire des échantillons supraconducteurs avec la technique ALD (Atomic layer deposition), en collaboration avec l'IRFU (T.Proslier)
- Objectif final: mesure du premier échantillon dans le QPR

Merci pour votre
attention ☺

Les Journées accélérateurs

Roscoff 2 - 4 octobre 2019

Thèmes

Présentations orales et posters

Accélérateurs de hadrons

Accélérateurs de leptons

Accélération laser-plasma

Technologie des accélérateurs

Applications et aspects industriels



Secrétariat : Sandra Cardot
email : roscoff@accelerateurs.fr



Organisé par le bureau de la Division Accélérateurs de la SFP :

Laurent Nadolski (SOLEIL), Jean-Luc Révol (ESRF), Thomas Thuillier (LPSC), Nicolas Delerue (LAL),
Alain Savalle (GANIL), Stéphane Chevallier (CEA/DRF/IRFU/DACM), Brigitte Cros (LPGP), Vincent Le Flanchec (CEA/DAM),
Eric Giguet (ALSYMOM), Luc Perrot (IPNO)

<http://accelerateurs.sfpnet.fr/>

OPTIQUE ET DIAGNOSTIQUES FAISCEAU POUR LA HEBT DU PROJET MYRRHA 100 MEV

- **MYRRHA** : *Multi-purpose Hybrid Research Reactor for High-tech Applications*
- Directeur de thèse : Fadi IBRAHIM
- Co-Directeur: Luc PERROT

MYRRHA 600 MEV, RÉACTEUR NUCLÉAIRE SOUS-CRITIQUE PILOTÉ PAR ADS

Projet MYRRHA, Belgique / MÖL :

- Incinération des déchets nucléaire à longue vie (Am).
- Etude de la transmutation et produire de nouveaux radio-isotopes (ISOL).

Nécessité de réduire le stress thermique dans la cuve du réacteur. 3 jours de redémarrage après un arrêt faisceau de plus de 3s.

Concevoir un LINAC-protons fiable:

- Minimiser les pannes.
 - Moins de 40 arrêts/an. → Double injecteur.
- ⇒ Phase 1: Démonstrateur LINAC 100 MeV protons.

Schéma de principe MYRRHA: ADS et réacteur

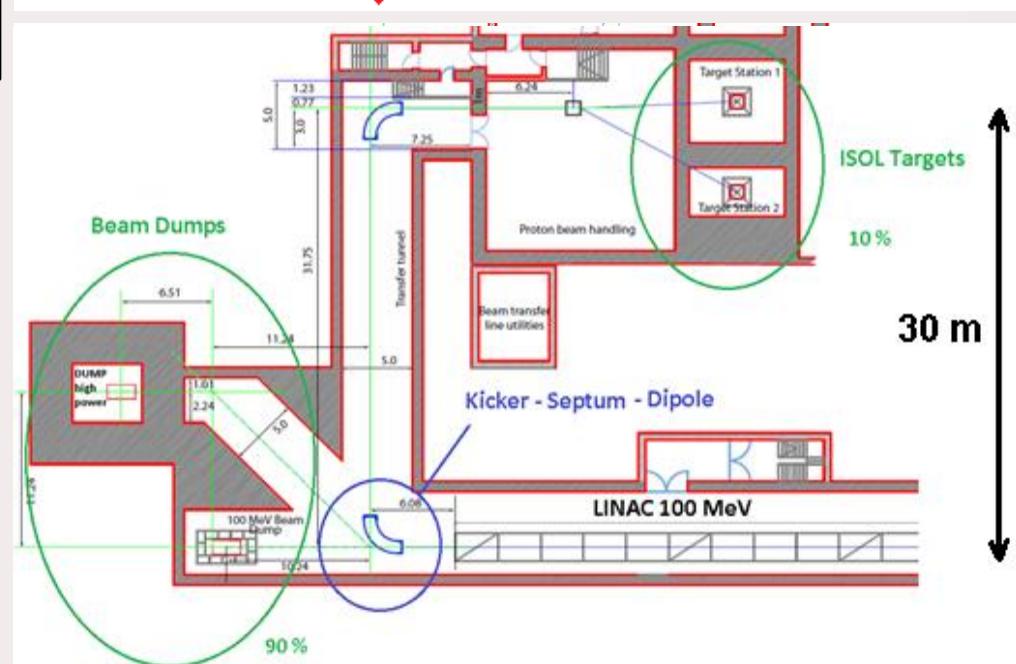
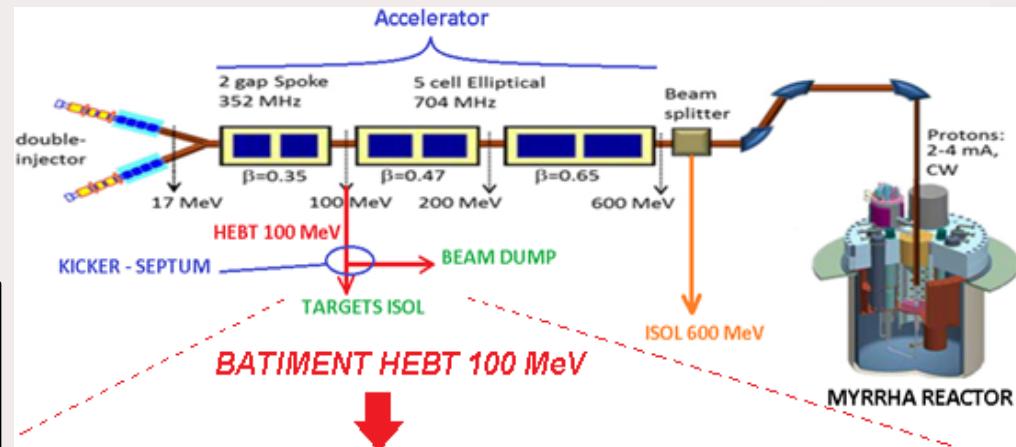


Schéma Bâtiment - Sortie LINAC et HEBT

MYRRHA 600 MEV, RÉACTEUR NUCLÉAIRE SOUS-CRITIQUE PILOTÉ PAR ADS

Projet MYRRHA, Belgique / MÖL :

- Incinération des déchets nucléaire à longue vie (Am).
- Etude de la transmutation et produire de nouveaux radio-isotopes (ISOL).

Nécessité de réduire le stress thermique dans la cuve du réacteur. 3 jours de redémarrage après un arrêt faisceau de plus de 3s.

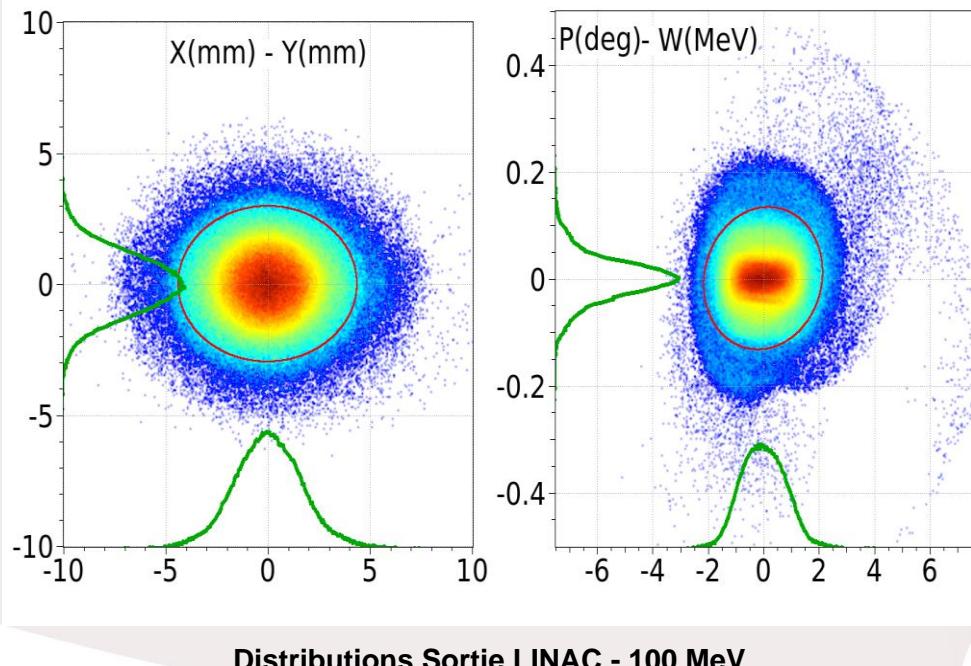
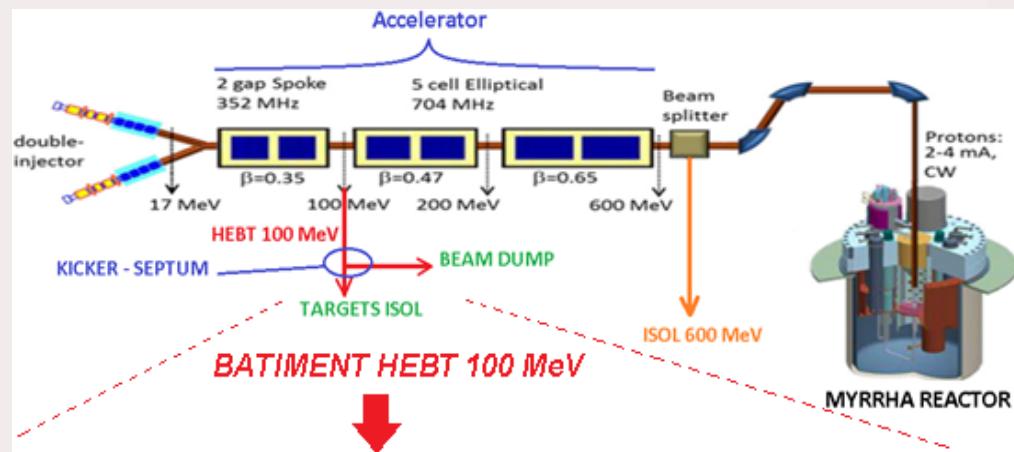
Concevoir un LINAC-protons fiable:

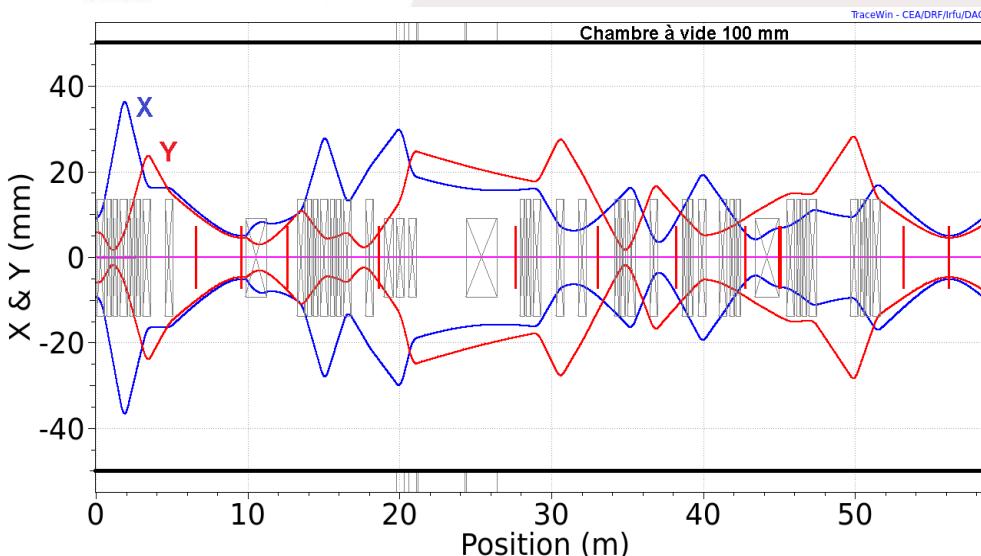
- Minimiser les pannes.
 - Moins de 40 arrêts/an. → Double injecteur.
- ⇒ Phase 1: Démonstrateur LINAC 100 MeV proton.

Caractéristiques faisceau nominal:

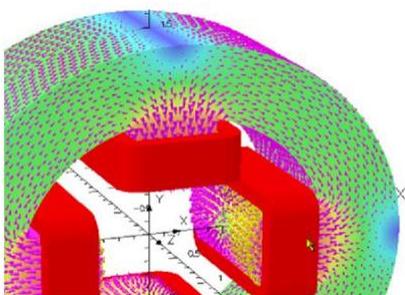
- Sortie LINAC, $E = 100 \text{ MeV}$
- Courant faisceau = 4 mA
- RF 176 MHz
- Continu (DC 100%)
- Emittance Transverse $0.25 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$

Schéma de principe MYRRHA: ADS et réacteur

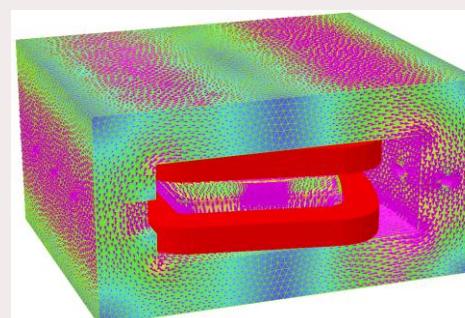




Enveloppe faisceau en X et Y. Sortie LINAC → Hall Exp. PTF ISOL



Carte de champ OPERA 3D:
Quadrupôle magnétique



Carte de champ OPERA 3D:
Dipôle magnétique

Etude de dynamique faisceau avec Tracewin :

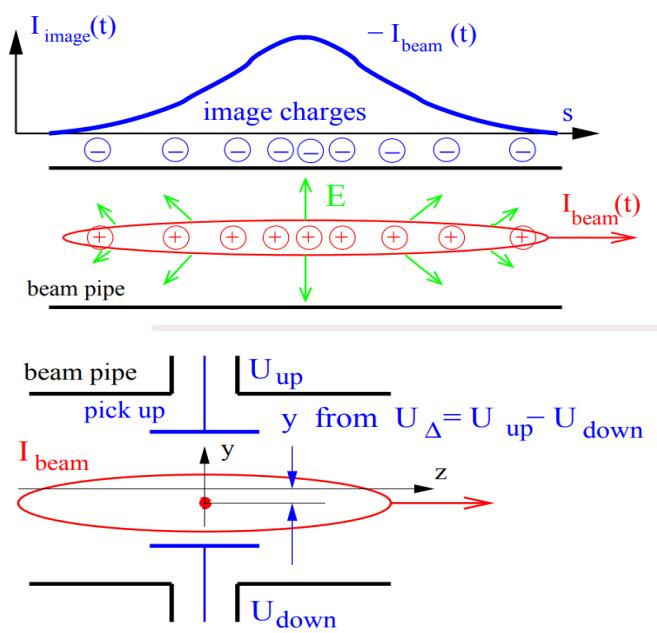
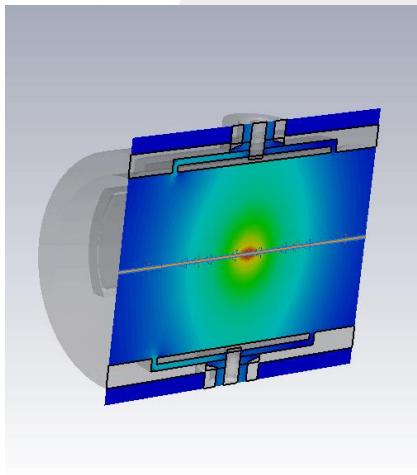
- Eléments magnétiques simples : Positionner Quadrupôle, Dipôles, Sterners en respectant les dimensions du bâtiment.
- Ajuster les gradients des éléments optiques
- Etude d'erreurs: Prise en compte des incertitudes sur le faisceau et les éléments.

Conception magnétique des éléments optiques:

- Réalisation de cartes de champ avec OPERA et/ou CST des éléments optiques.
- Utiliser les cartes de champ pour affiner les simulations Tracewin.

DIAGNOSTIQUES FAISCEAU

- BEAM POSITION MONITOR -



Déséquilibre de charges → position du faisceau

Etudes électrostatique du BPM avec CST :

- Développement BPM pour HEBT à 100 MeV.
- Simuler le passage du faisceau dans un BPM (caractéristiques MYRRHA, IPHI, SPIRAL2).
- Carte de champ électrique dans le BPM.
- Induction de signal → Tension de sortie du détecteur.
- Etude paramétrique: Estimation de sensibilité d'induction par paramètre + étude de corrélations (géométries du BPM, caractéristiques Faisceau).
- Comparaison à des calculs analytiques => Code ROOT étude paramétrique.

Mesures:

- Mesures sur faisceaux réels
 - IPHI (3MeV, 60 mA protons)
 - SPIRAL2 (5mA/40MeV D, 1mA/14.5MeV/u Ions lourd)
 - Injecteur MYRRHA à Louvain (4mA/1.5 Mev protons)

CONCLUSIONS - PERSPECTIVES

- Participation au rapport européen MYRTE: Première étude complète de Dynamique Faisceau HEBT, et définition d'un cahier des charges de conception magnétique aimant rapide Kicker-Septum.
- Approfondir la conception des lignes HEBT: Nouveau plan bâtiment à venir.
- Conception magnétique des éléments Optiques, benchmark OPERA /CST.
- Poursuivre des études BPM avec CST/PIC, comparer avec le code d'étude paramétrique.
- Traiter les mesures réalisées à IPHI, comparer avec le code d'étude paramétrique.
- Mesure sur faisceau SPIRAL2 à réaliser.

Merci de votre attention

Les Journées accélérateurs

Roscoff 2 - 4 octobre 2019

Thèmes

Présentations orales et posters

Accélérateurs de hadrons

Accélérateurs de leptons

Accélération laser-plasma

Technologie des accélérateurs

Applications et aspects industriels



Secrétariat : Sandra Cardot
email : roscoff@accelerateurs.fr

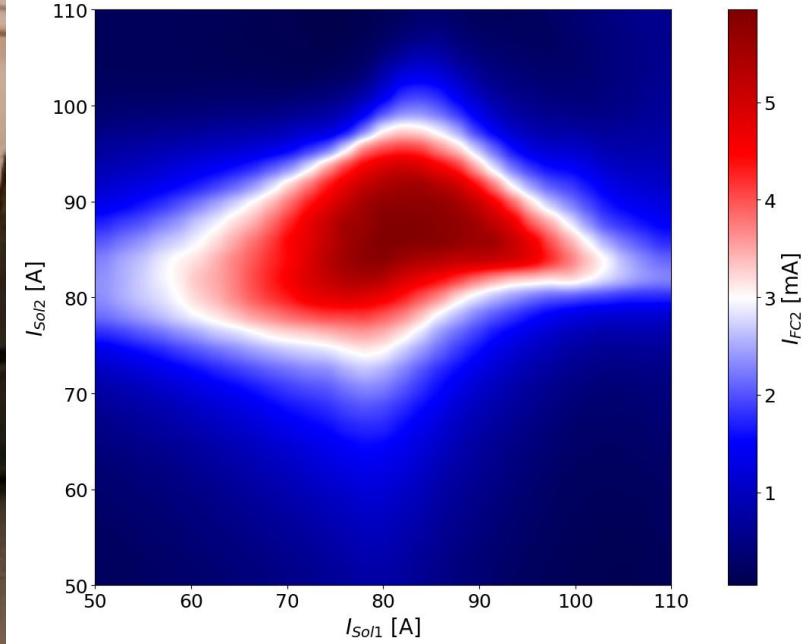
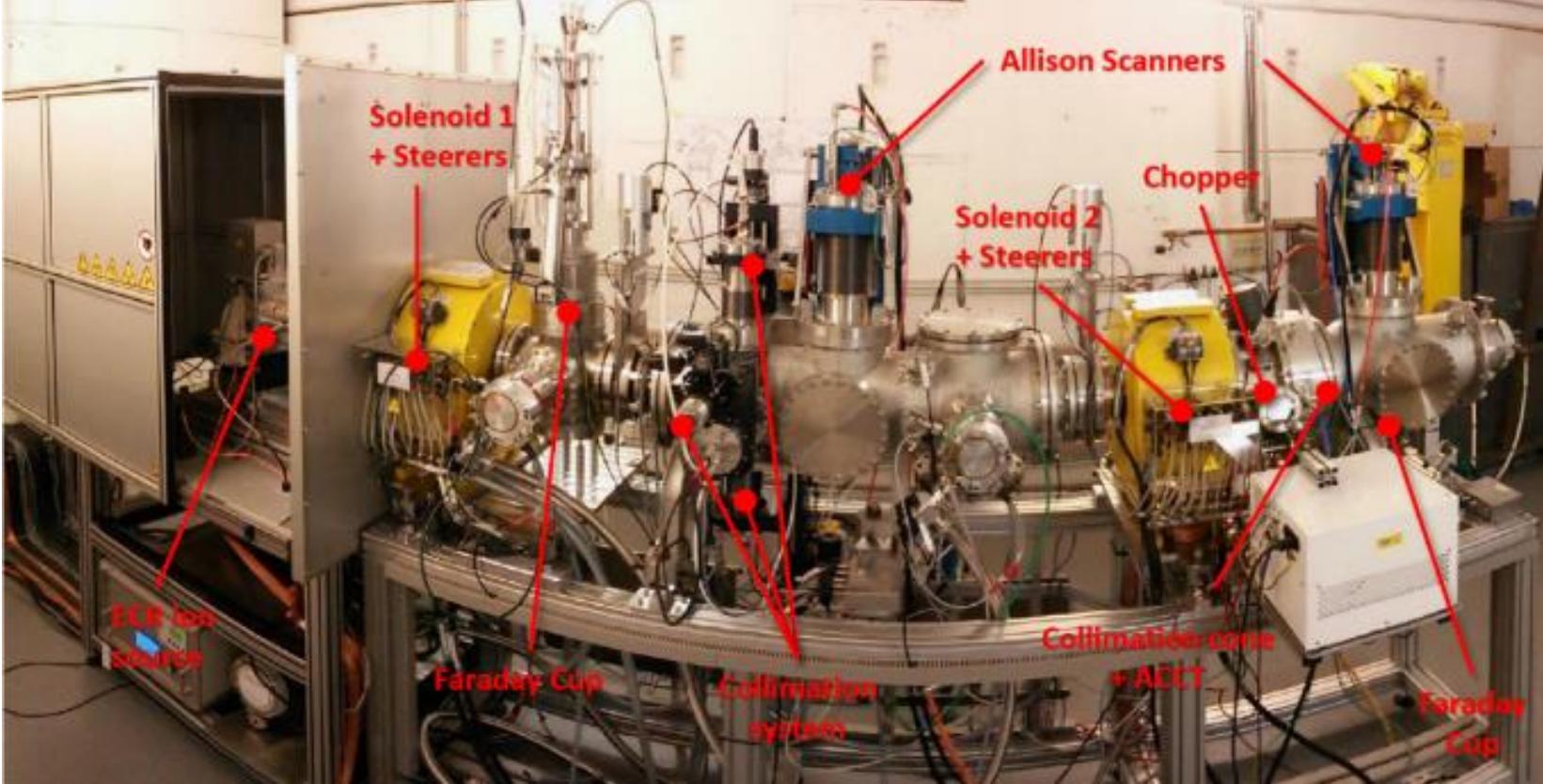


Organisé par le bureau de la Division Accélérateurs de la SFP :

Laurent Nadolski (SOLEIL), Jean-Luc Révol (ESRF), Thomas Thuillier (LPSC), Nicolas Delerue (LAL),
Alain Savalle (GANIL), Stéphane Chevallier (CEA/DRF/IRFU/DACM), Brigitte Cros (LPGP), Vincent Le Flanchec (CEA/DAM),
Eric Giguet (ALSYMOM), Luc Perrot (IPNO)

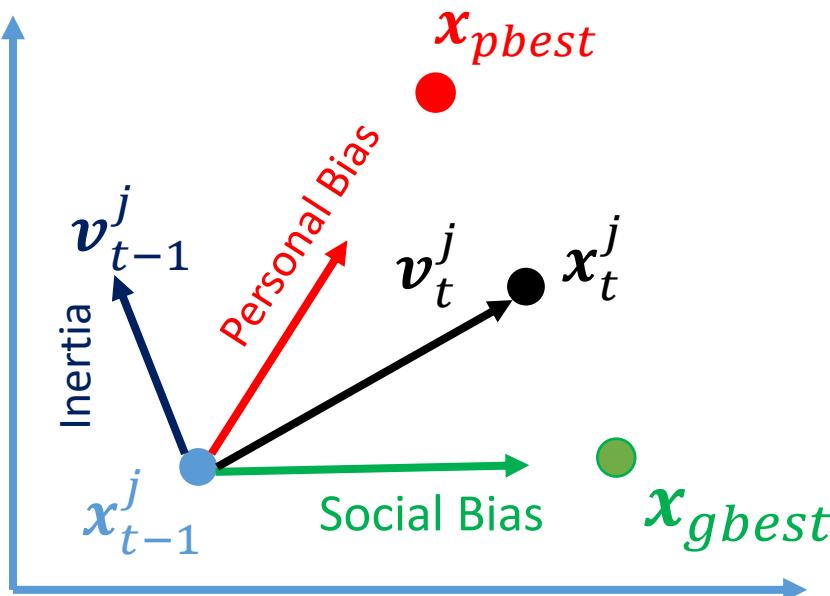
<http://accelerateurs.sfpnet.fr/>

Recommission de la LEBT MYRRHA & Modélisation rapide avec des RNs

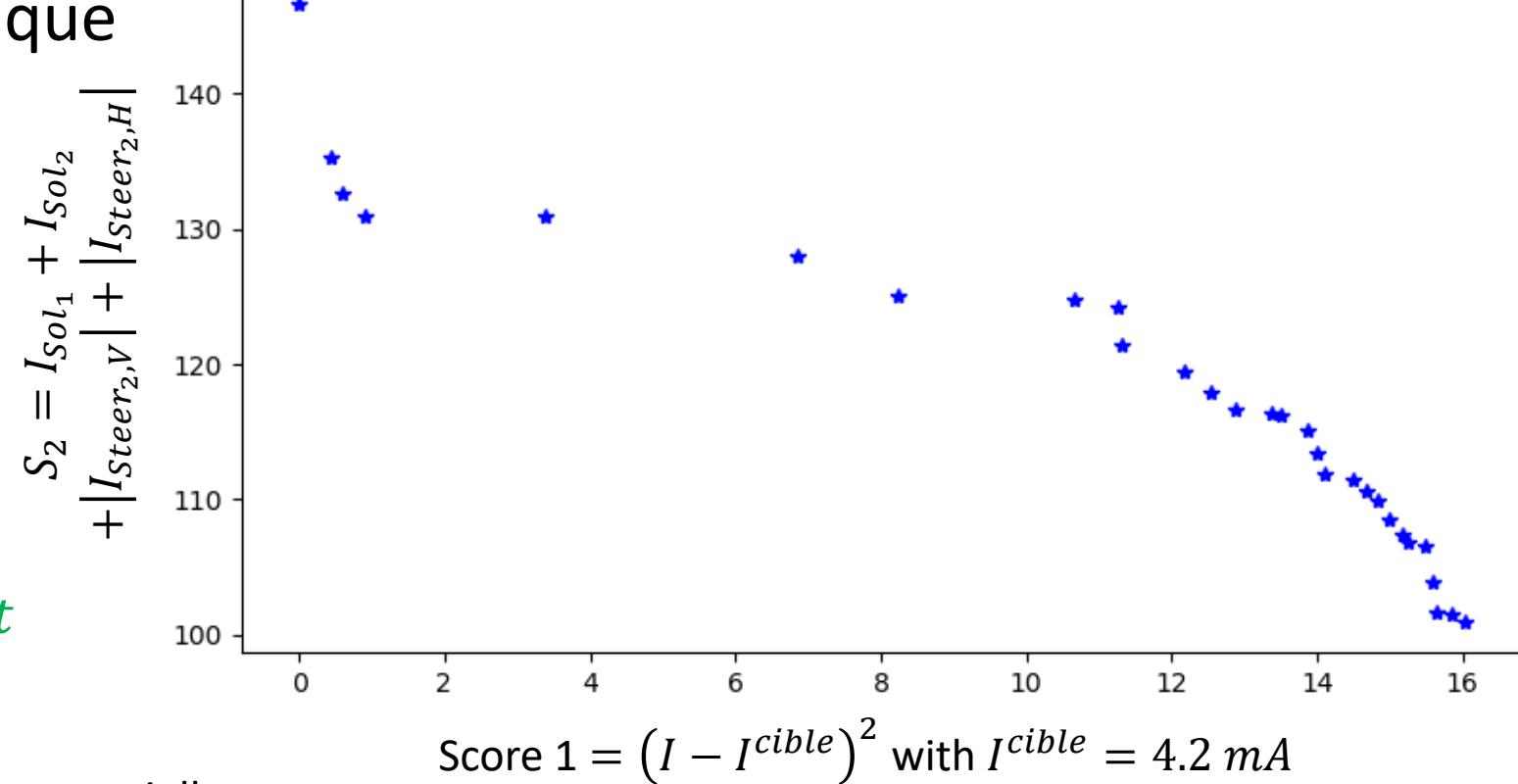


Présenté par Mathieu Debongnie
Doctorant ACS-LPSC

- Algorithme métaheuristique

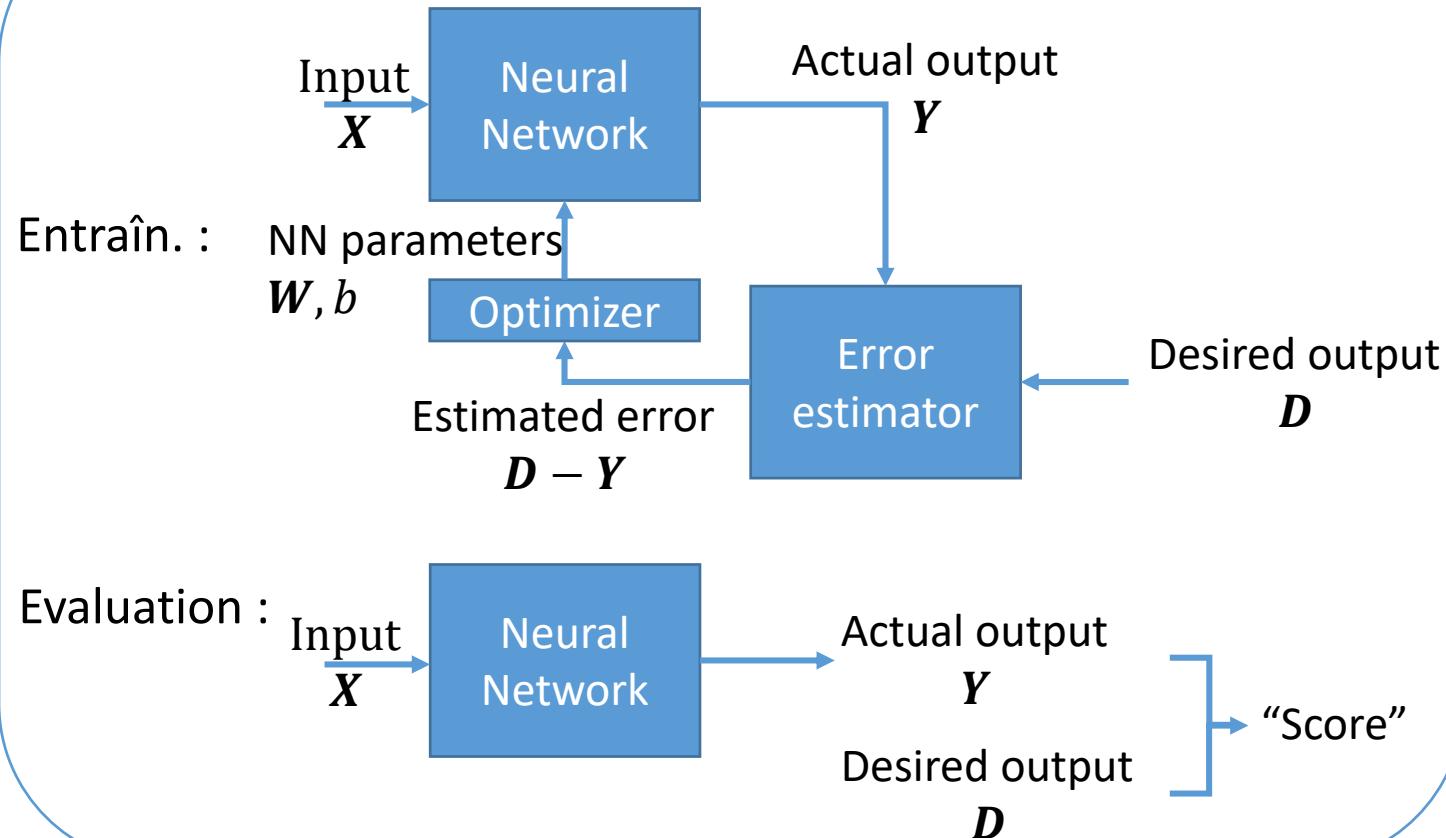


Ici, les particules sont des solutions potentielles du problème à optimiser (\neq particles in physics)



Premier tests !
Améliorations à faire

Entraînement supervisé d'un réseau de neurones



Nécessite

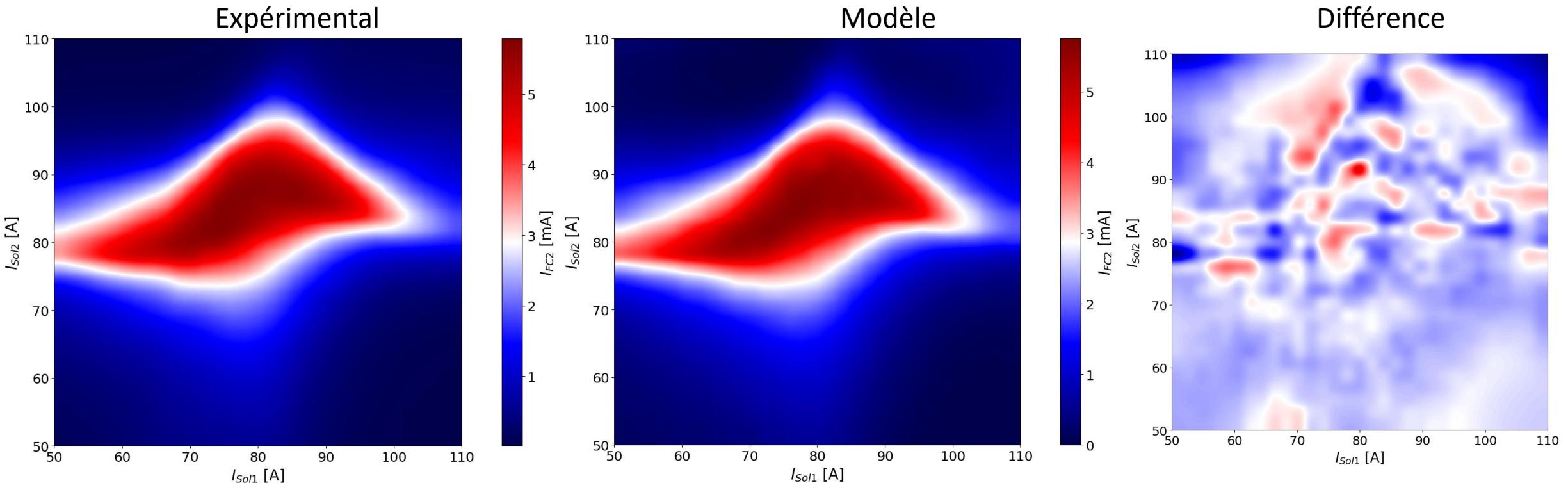
- Dataset d'entraînement (X, D)
- Dataset d'évaluation (X, D)

Paramètres

- Réseau de neurones
- Estimateur d'erreur
- Optimisateur

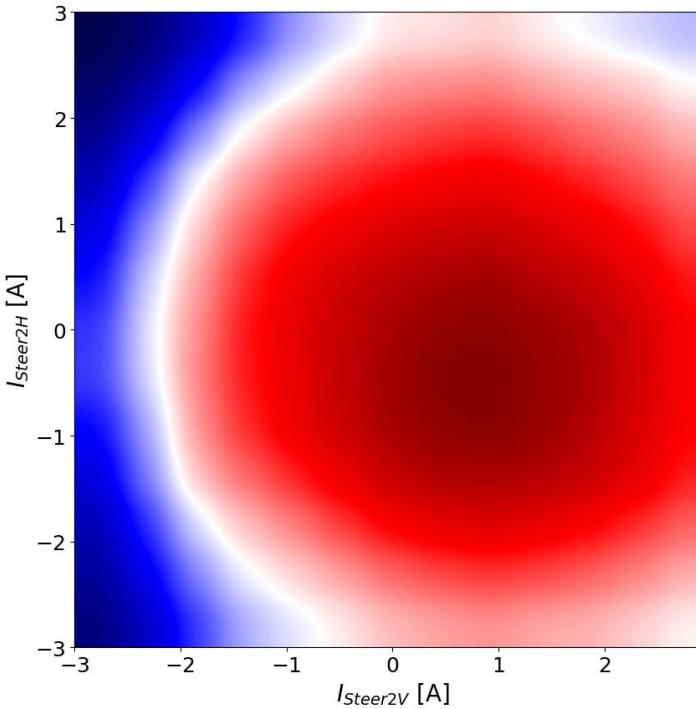
Simple en principe mais
difficile en pratique
→ approche par essai-erreur

Performances du modèle

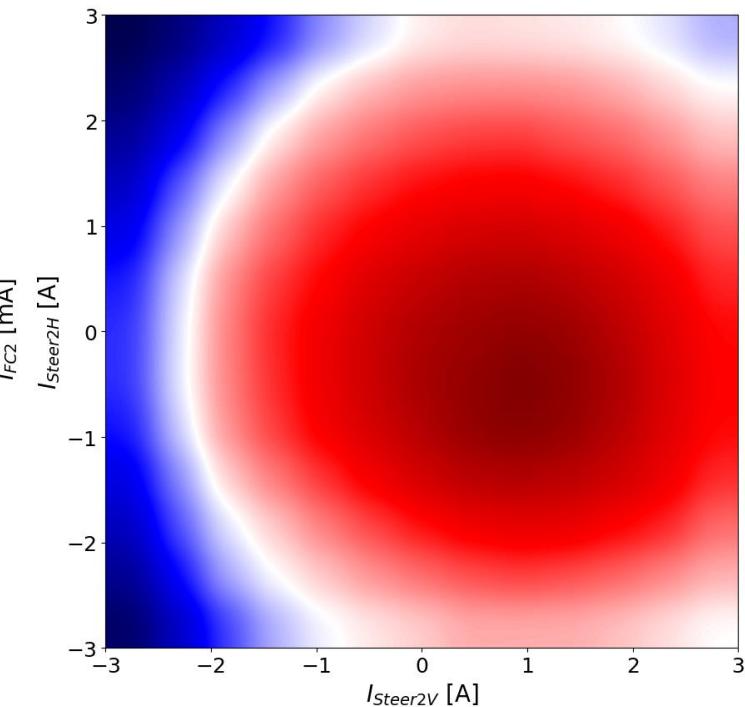


Performances du modèle

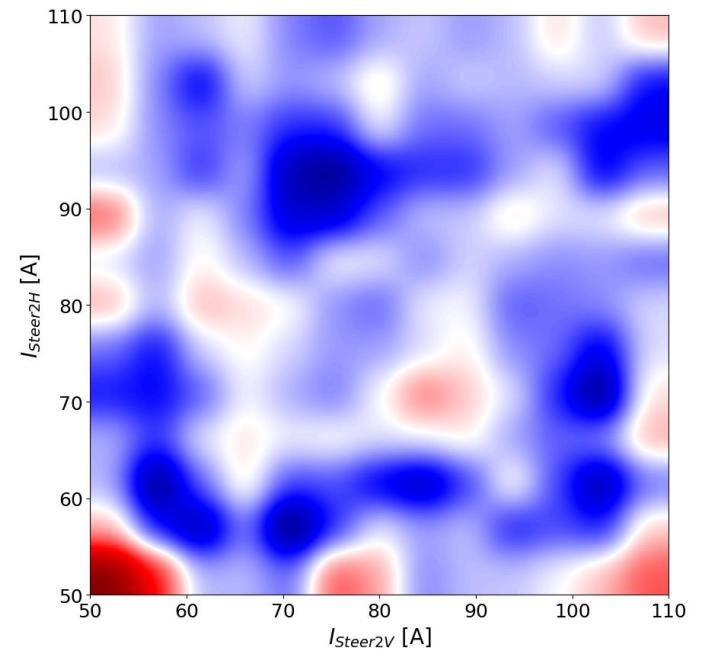
Expérimental



Modèle



Différence



Conclusions et perspectives

- Dans la bonne direction mais manque de précision
- Retour sur la LEBT