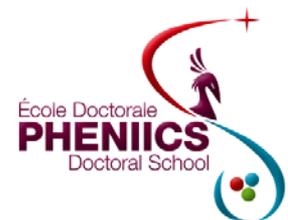


Mesure de l'impédance longitudinale du CERN SPS avec le faisceau et effets sur sa stabilité à haute intensité

*Journées accélérateurs de la SFP – Roscoff
03/10/2015*

A. Lasheen

Remerciements: T. Argyropoulos, T. Bohl, J. Esteban Müller, D. Quartullo,
E. Shaposhnikova, H. Timko, J. E. Varela, membres section BR, groupe de travail
impédance, groupe OP, étudiants d'été



Plan

- Les projets HL-LHC et LIU**
- Le modèle d'impédance longitudinale du SPS**
- Mesures de l'impédance avec le faisceau**
- Mesures d'instabilités à hautes intensités**
- Simulations de réduction d'impédance**

Projets HL-LHC et LIU

- ❑ **Projet HL-LHC** (début 2020-2025): augmentation de la luminosité d'un facteur 10
- ❑ L'augmentation de luminosité provient en partie d'une augmentation en intensité du faisceau (particules par paquet).
- ❑ **Intensité nominale actuelle** (4 trains de 72 paquets, 225 ns d'espace entre trains, 25 ns d'espace entre paquets):

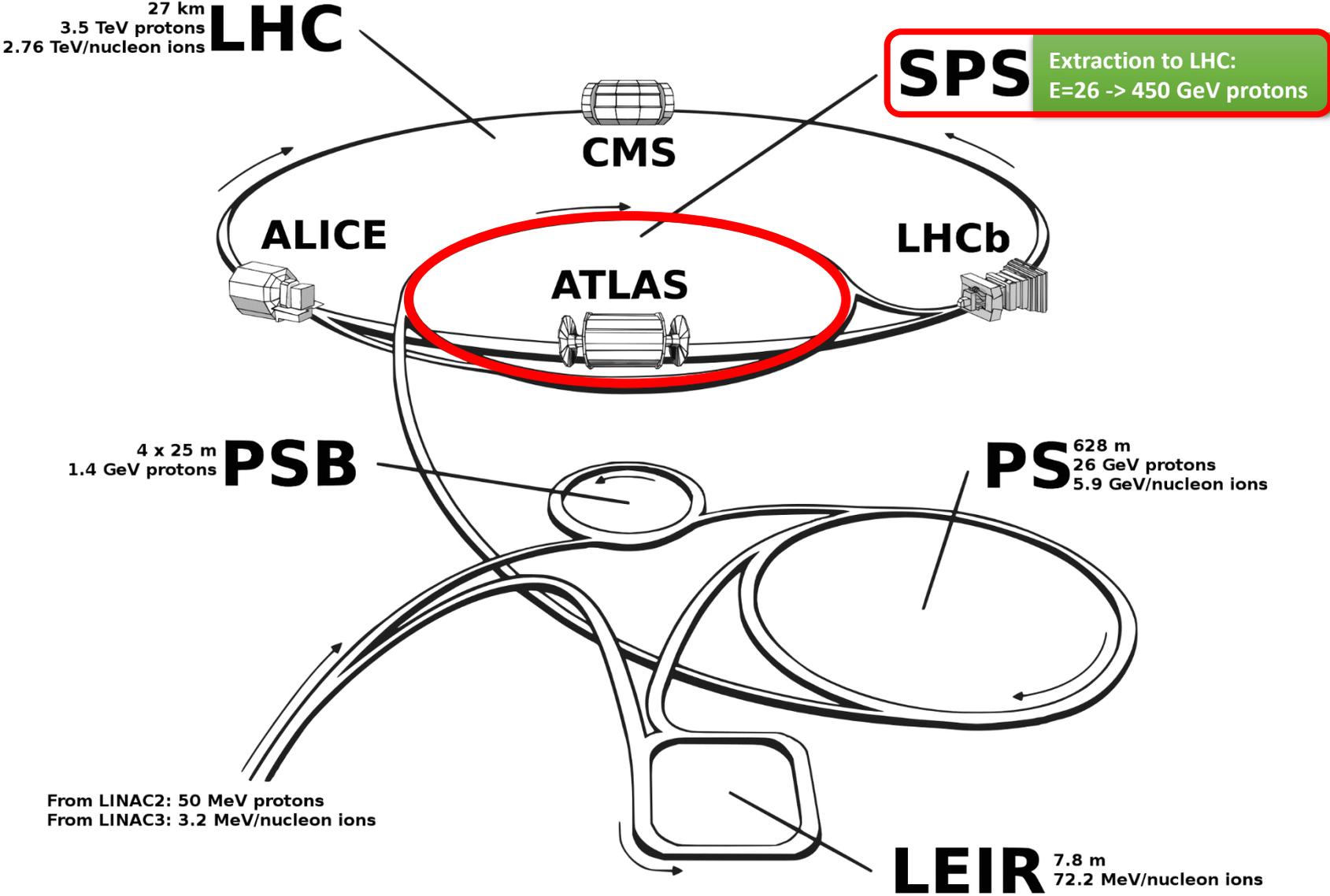
$$1.2 \cdot 10^{11} \text{ par paquet}$$

- ❑ **Objectif d'intensité** pour HL-LHC:

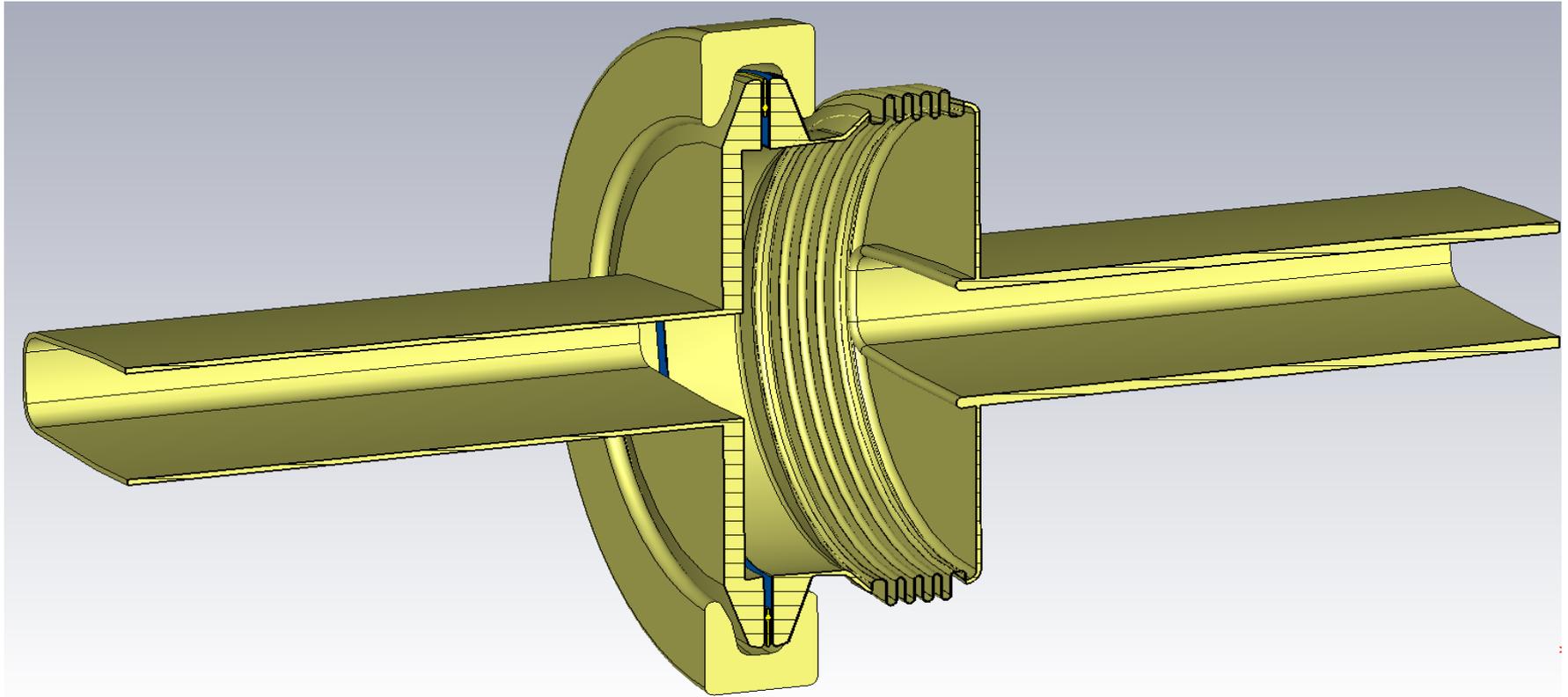
$$2.3 \cdot 10^{11} \text{ par paquet}$$

- ❑ **Le SPS ne permet pas de délivrer une telle intensité à cause des instabilités (=> projet LIU-SPS).**

Complexe d'accélérateurs du CERN

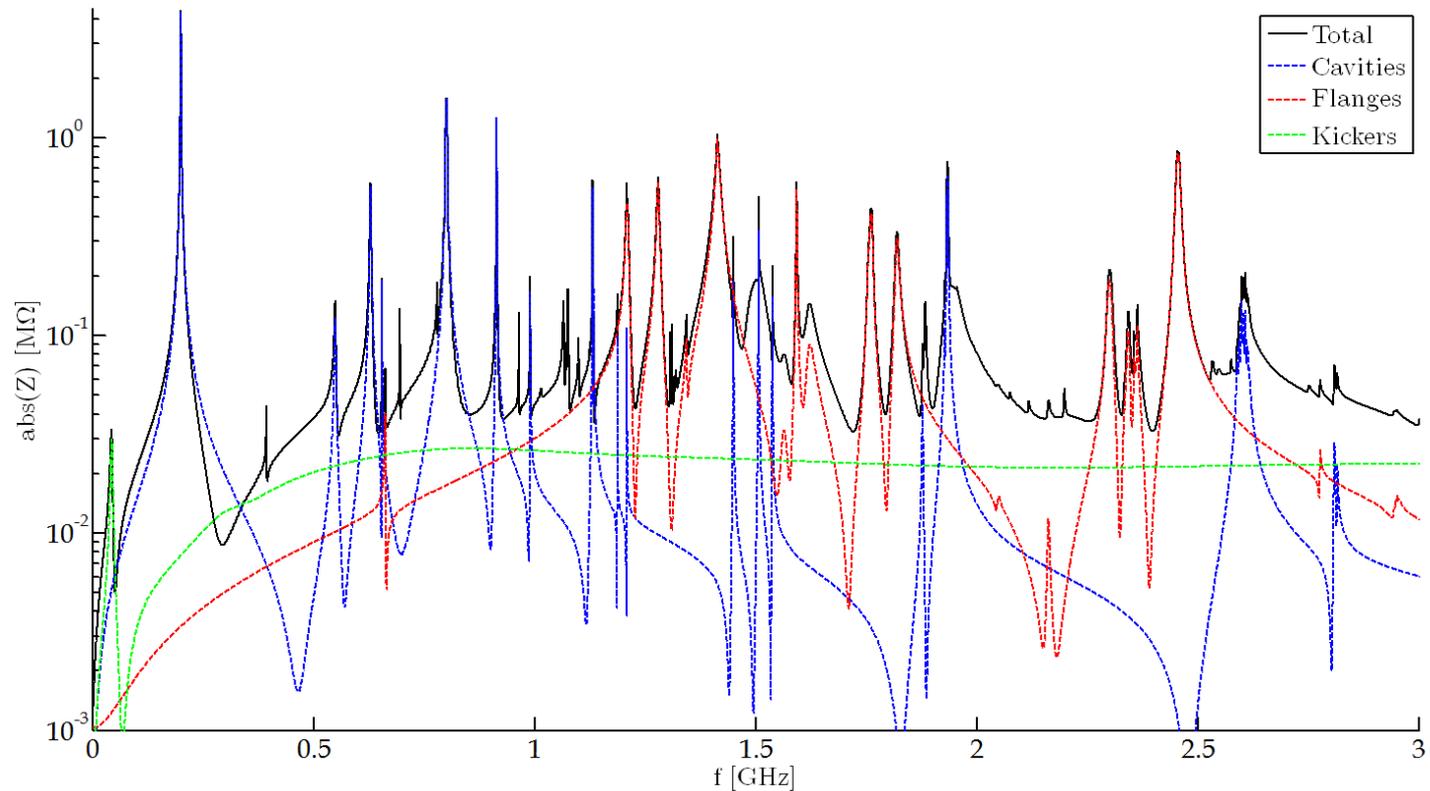


Exemple de source d'impédance



Brides de vide:
~ 10 types différents
> 500 au total

Modèle d'impédance du SPS



□ Dernier modèle d'impédance (J. Varela, B. Salvant, C. Zannini, D. Bazyl, P. Kramer):

□ **Cavités et résonances d'ordres supérieurs (HOMs)**

□ **Aimants d'injection/extraction (Kickers)**

□ **Bride de vide (vacuum flanges)**

□ *Ports de pompages*

□ *BPMs*

□ *Résistivité chambre à vide*

□ *Charge d'espace (26 GeV)*

□ ...

Construction du modèle d'impédance

Vérification des paramètres utilisés dans l'accélérateur et des caractéristiques du faisceau

(tension RF, emittance, intensité...)

Mesures de faisceau conçues pour sonder l'impédance longitudinale

(déplacement de la phase synchrone, de la fréquence synchrotronique, modulation de paquets longs sans RF, instabilités...)

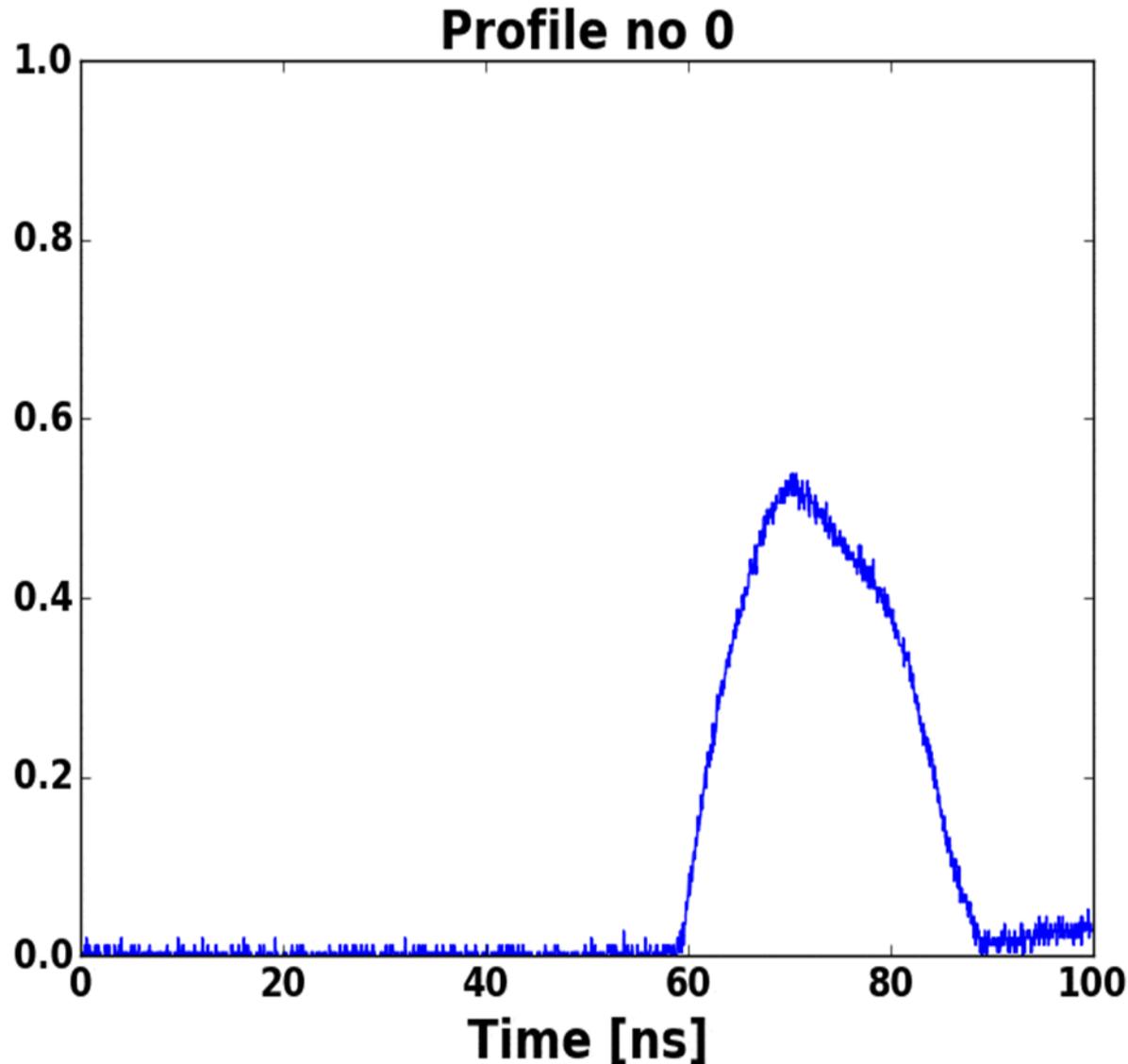
Simulations reproduisant les paramètres de l'accélérateur et du faisceau utilisés dans les mesures

(Code de simulation BLonD)

Investigation des éléments pouvant contribuer à l'impédance et ajout au modèle pour les simulations.

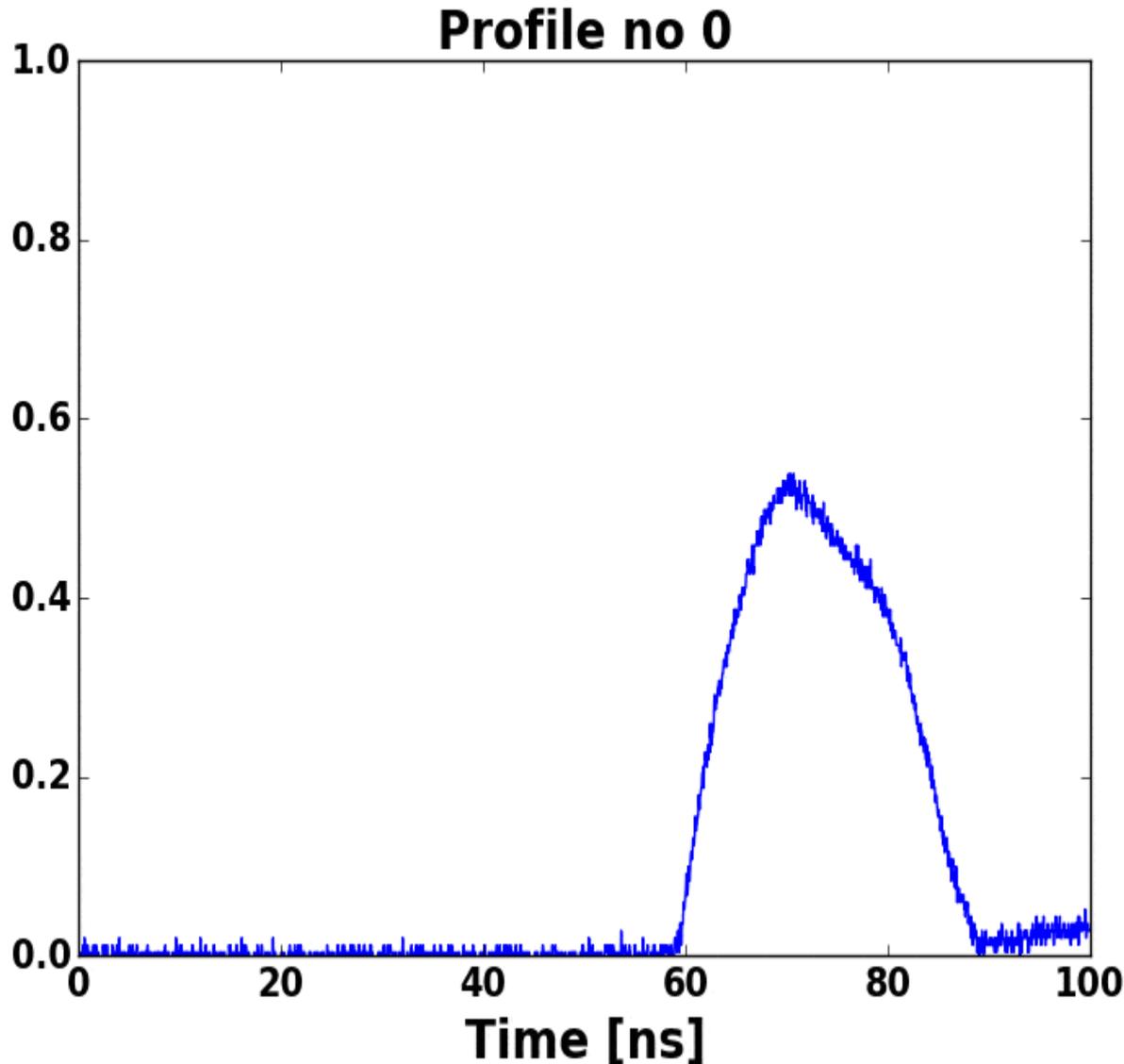


Modulation de long paquets sans tension RF



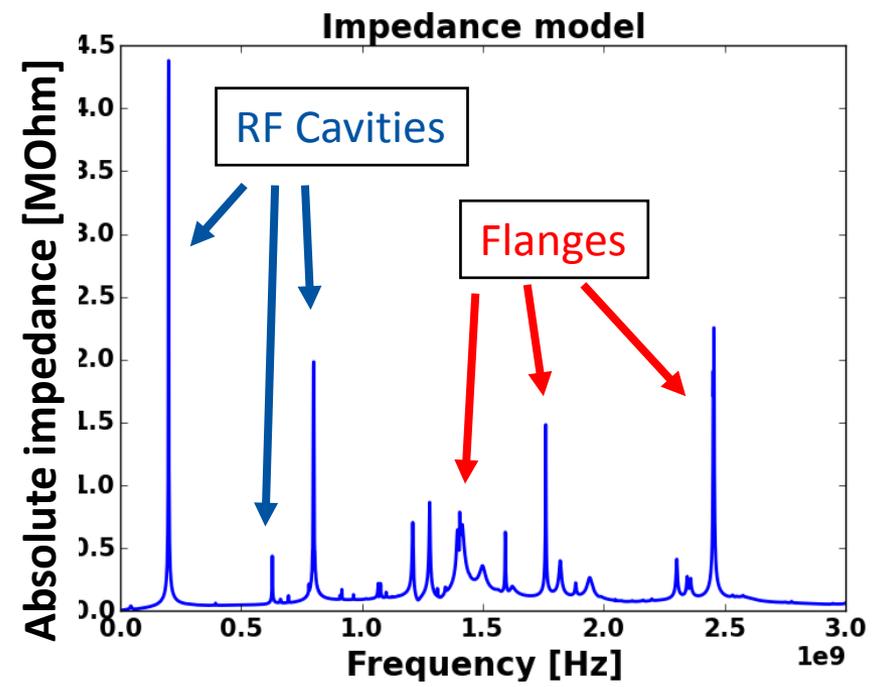
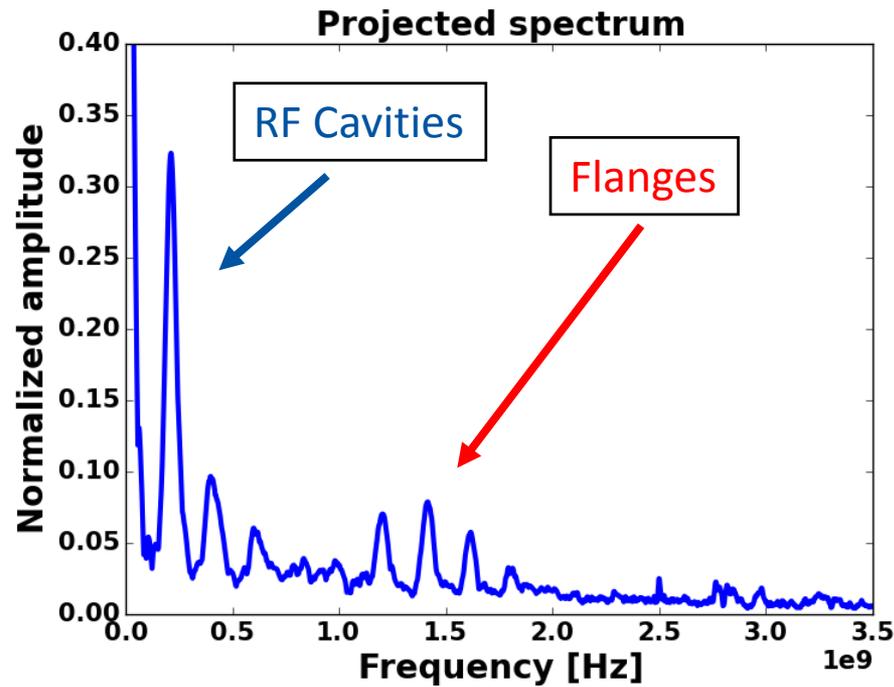
- Un paquet est injecté dans la machine sans tension RF.
- Le paquet est modulé par l'impédance de la machine.

Modulation de long paquets sans tension RF



- Un paquet est injecté dans la machine sans tension RF.
- Le paquet est modulé par l'impédance de la machine.

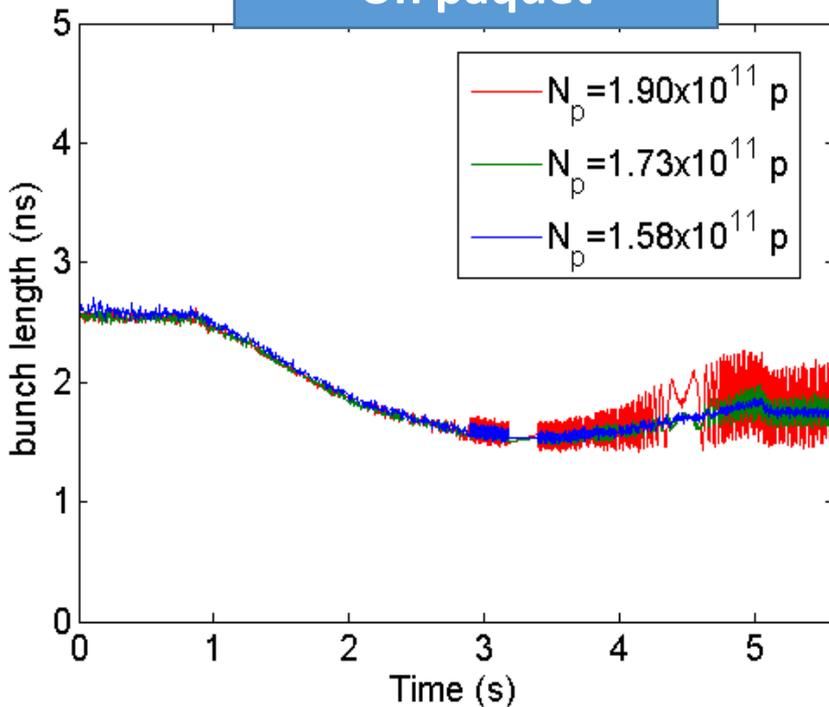
Modulation de long paquets sans tension RF



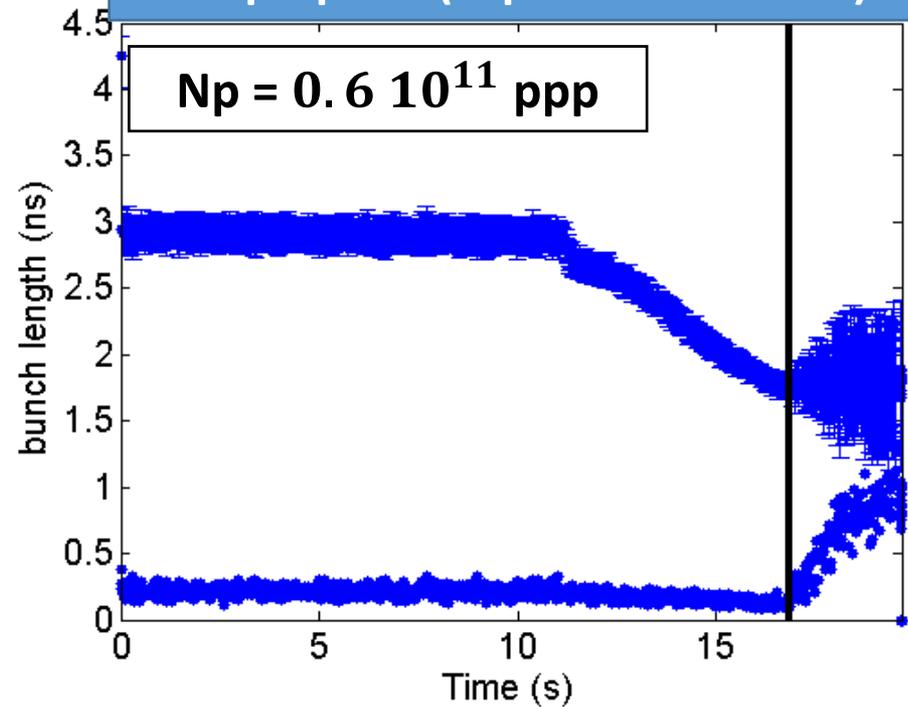
- ❑ Ces mesures sont utilisées pour sonder l'impédance avec un R/Q élevé à haute fréquence (brides de vide...)
- ❑ D'autres types de mesures ont été effectuées pour sonder d'autres informations sur l'impédance.

Exemples d'instabilités durant la rampe

Un paquet



12 paquets (espacement 25 ns)



- ❑ Les instabilités apparaissent à haute énergie pour des intensités élevées.
- ❑ L'intensité limite diminue avec le nombre de paquets.

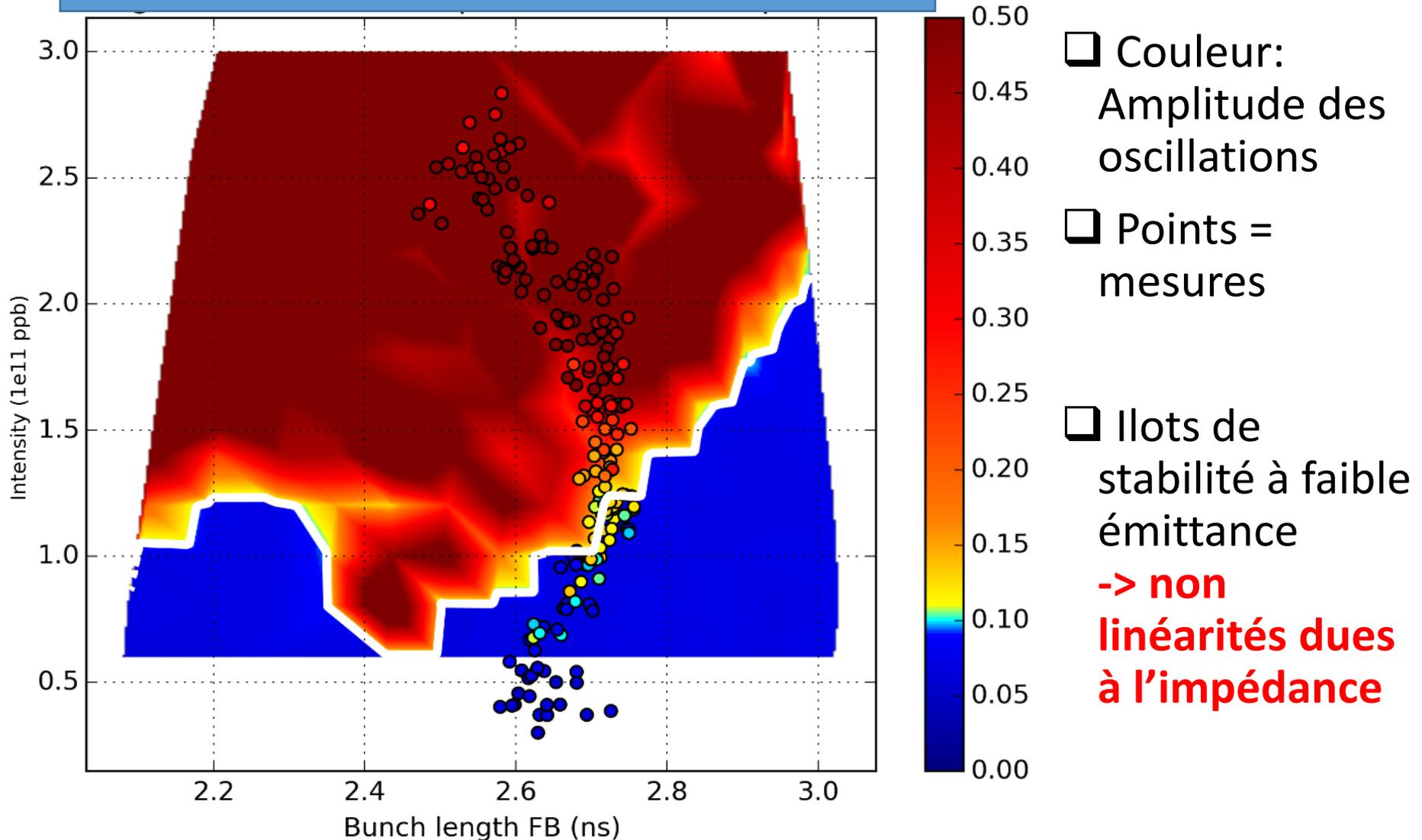
Espace des paramètres à étudier

- Paramètres à étudier:
 - Intensité
 - Emittance
 - Energie
 - Distribution
 - Nombre de paquets
 - Espacement entre les paquets
 - Tension RF (cavité accélératrice 200MHz + 4^{ème} harmonique 800 MHz)

- Sources d'impédance majeures:
 - Brides de vide
 - Aimants d'injection/extraction
 - Cavités RF et résonnances d'ordre supérieur
 - ...

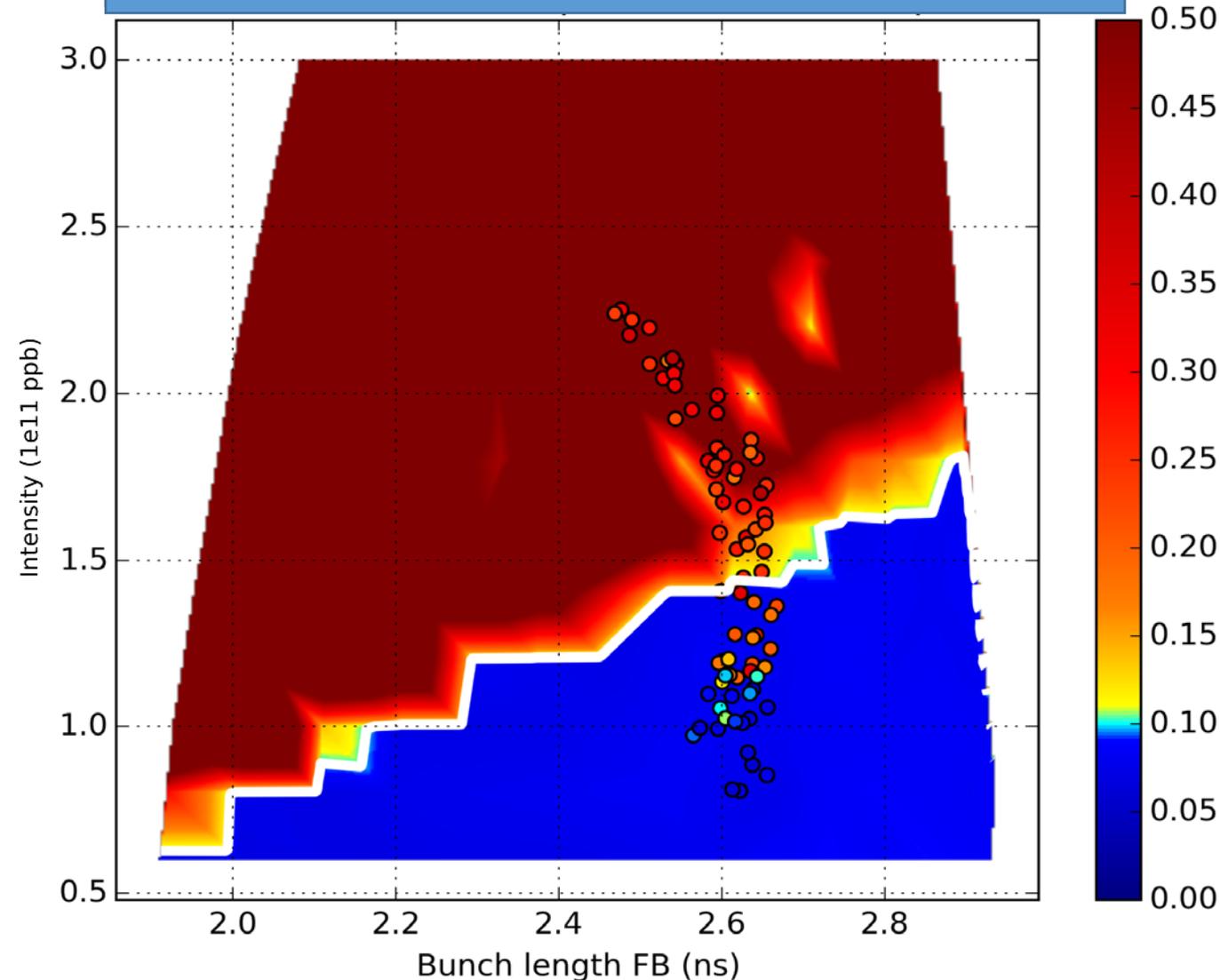
Mesures et simulations d'instabilités (N vs. ε)

Mono paquet – RF 200MHz



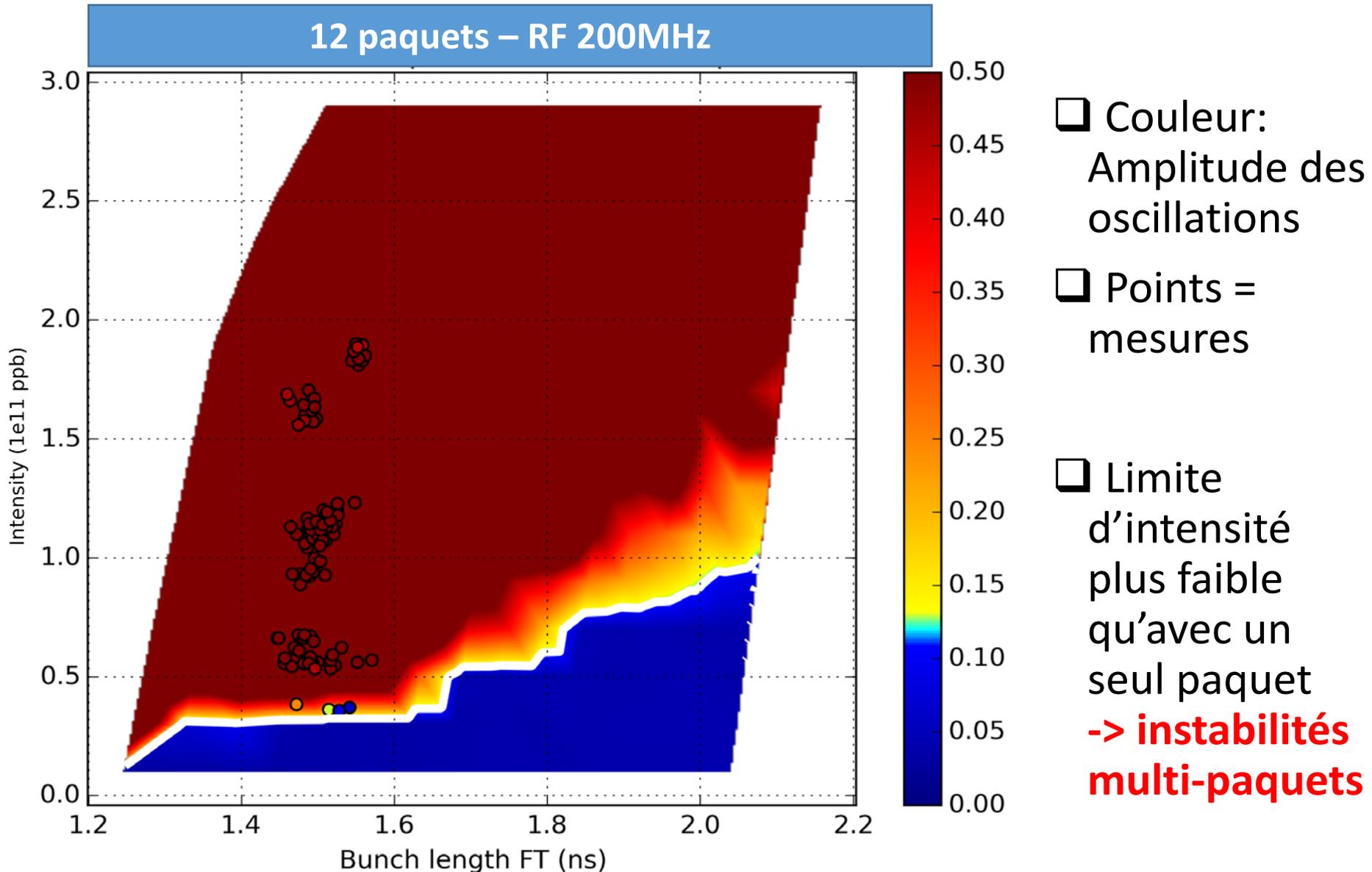
Mesures et simulations d'instabilités (N vs. ε)

Mono paquet – RF 200MHz + 800 MHz



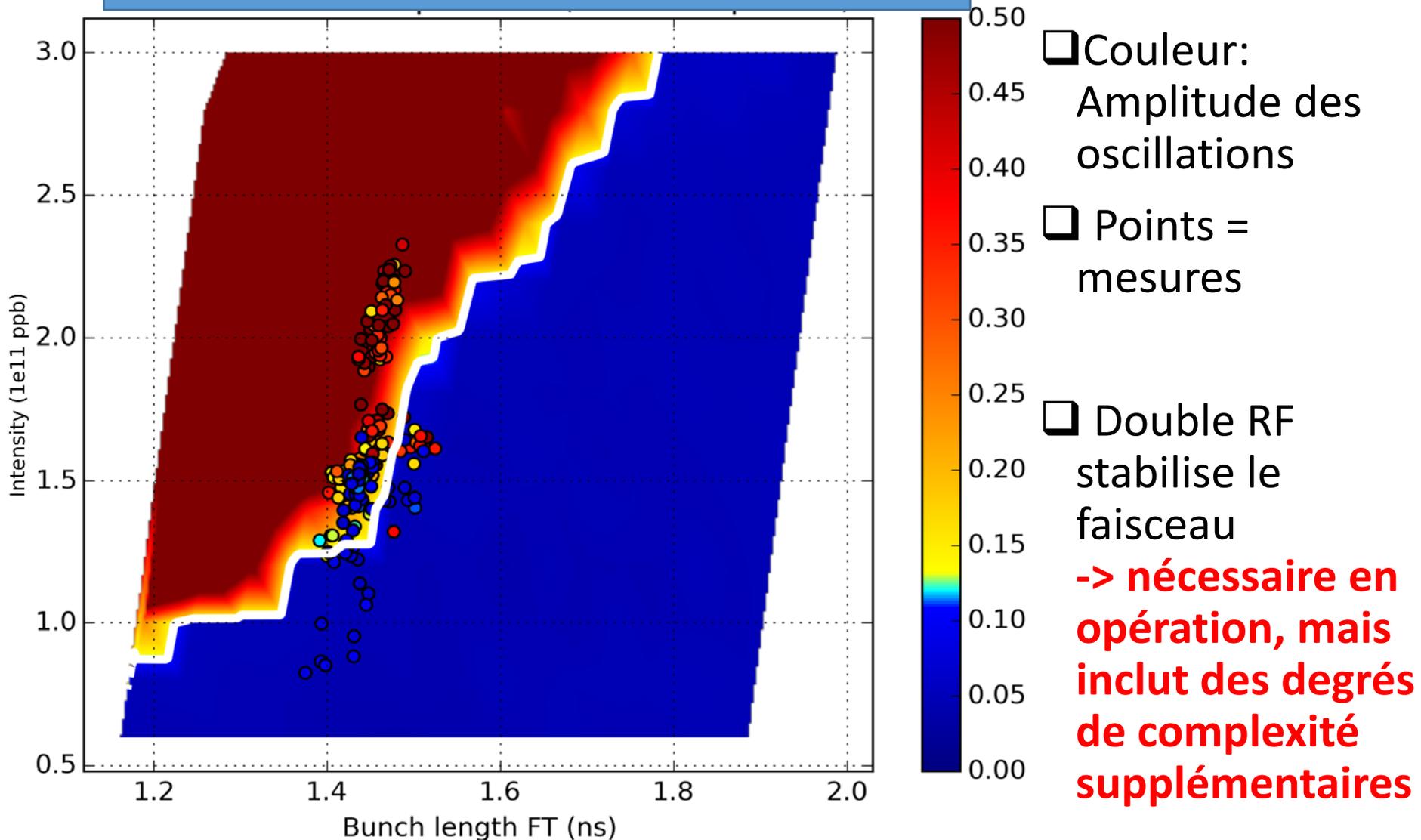
- Couleur: Amplitude des oscillations
 - Points = mesures
 - Difficile de contrôler la tension et phase du second système RF
- > incertitudes opérationnelles**

Mesures et simulations d'instabilités (N vs. ε)



Mesures et simulations d'instabilités (N vs. ε)

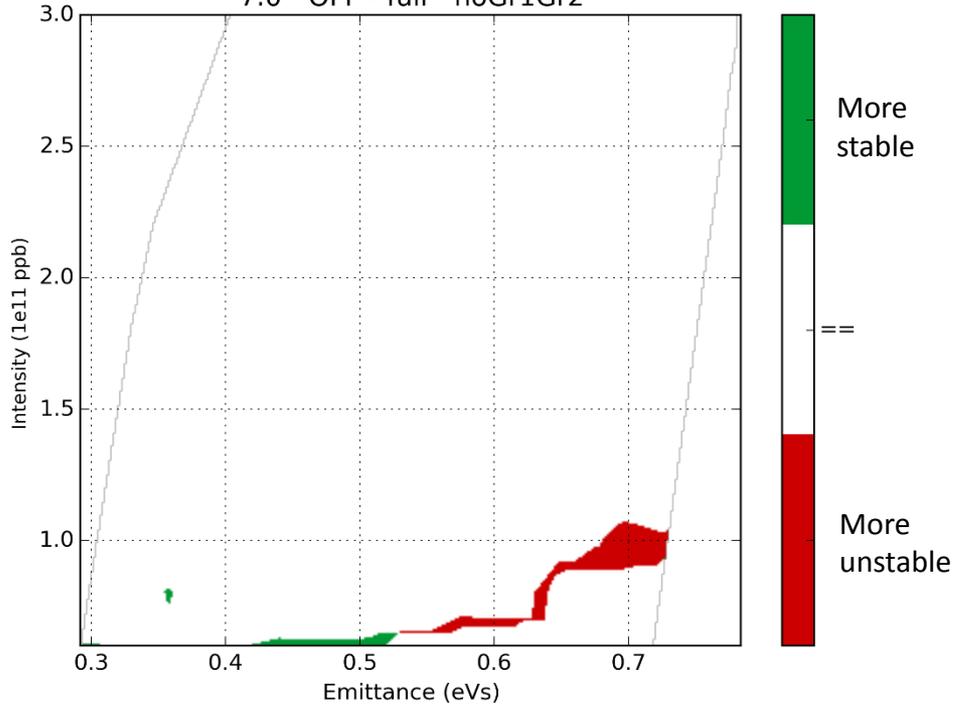
12 paquets – RF 200MHz + 800 MHz



Réduction d'impédance: brides de vide

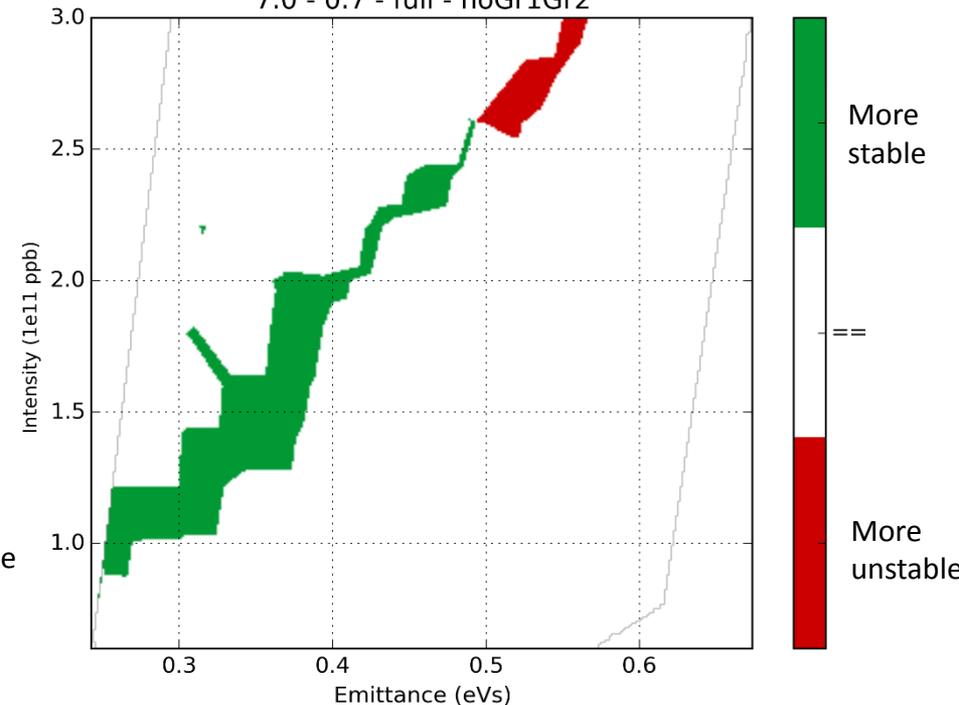
1RF

7.0 - OFF - full - noGr1Gr2



2RF

7.0 - 0.7 - full - noGr1Gr2

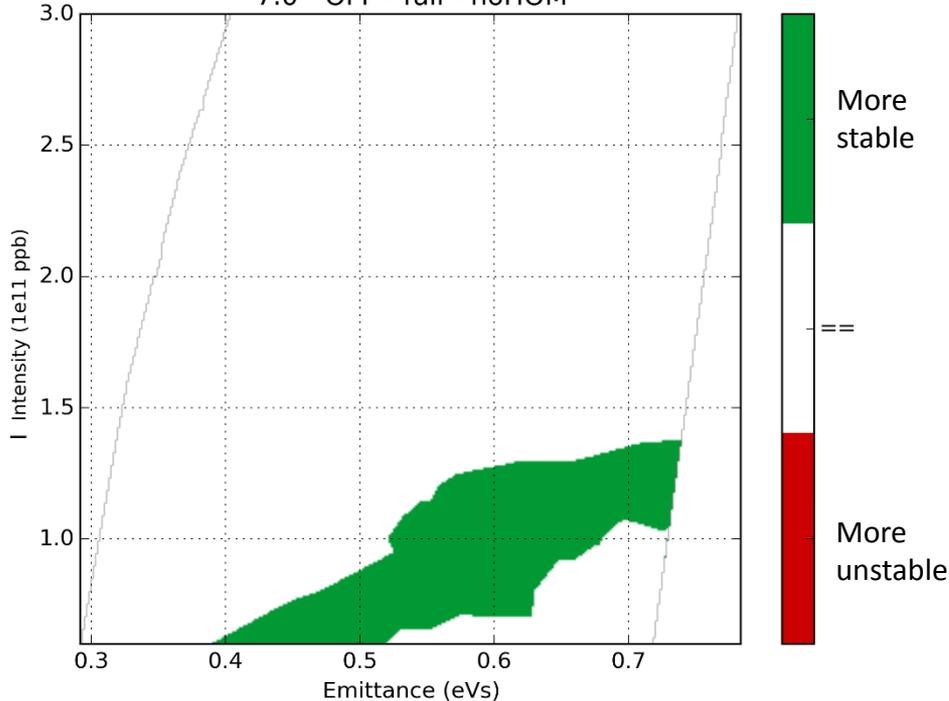


- Cas présenté: 12 paquets espacés de 25 ns
- Les gains liés à la réduction d'impédance des brides de vide seules est faible ($< 0.3 \cdot 10^{11}$)

Réduction d'impédance: HOMs

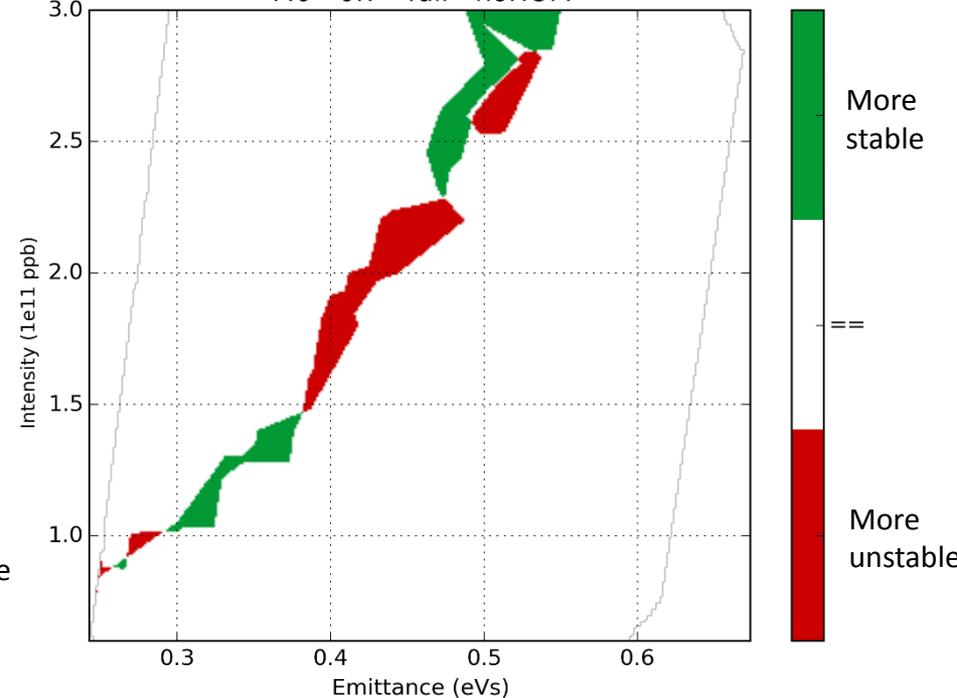
1RF

7.0 - OFF - full - noHOM



2RF

7.0 - 0.7 - full - noHOM



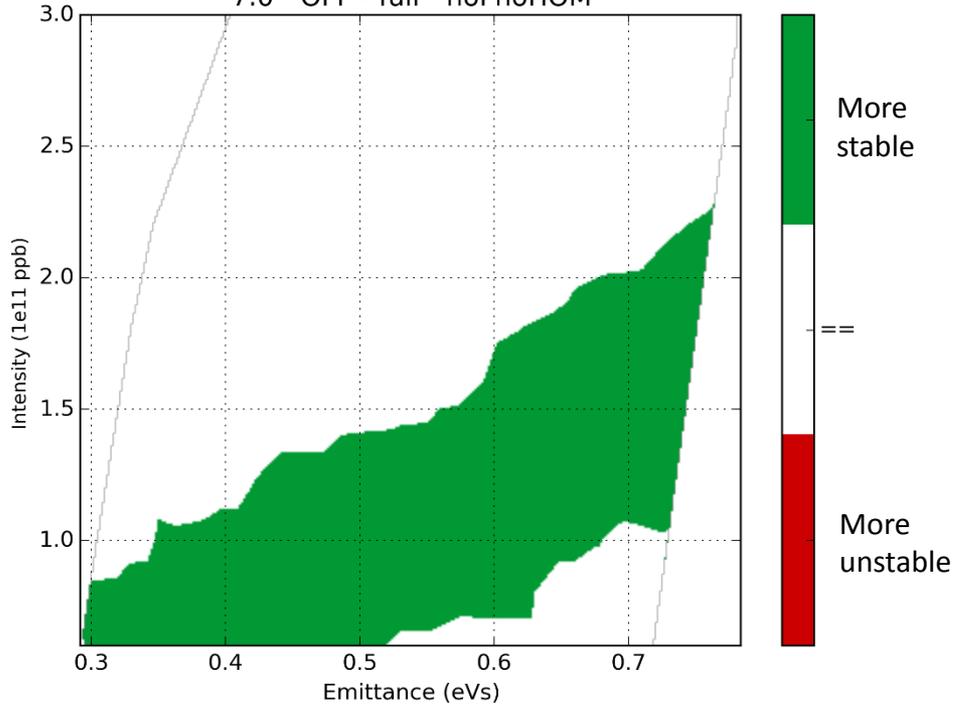
➤ Gain en intensité lié à la réduction d'impédance des résonances d'ordres supérieures seules en simple RF ($\sim 0.5 \cdot 10^{11}$)

➤ Pas de gain en double RF

Réduction d'impédance: brides et HOMs

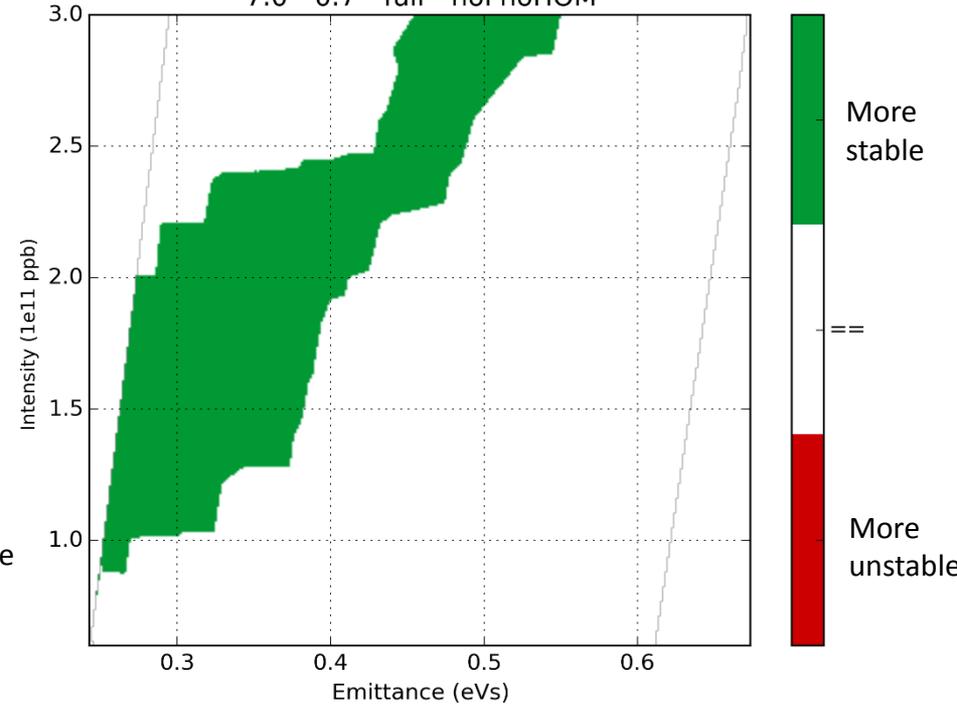
1RF

7.0 - OFF - full - noFnoHOM



2RF

7.0 - 0.7 - full - noFnoHOM



➤ La réduction d'impédance des brides et des HOMs donnent un gain plus important ($\sim 1.0 \cdot 10^{11}$)

➤ **Les limites d'intensité ne sont pas dominées par une seule impédance.**

Conclusions et perspectives

- ❑ Un modèle d'impédance a été développé et les simulations utilisant ce modèle reproduisent raisonnablement les mesures.
- ❑ Un large nombre de configurations ont été étudiés, et de nouvelles mesures sont prévues pour consolider les résultats existants.
- ❑ Les simulations montrent que deux des impédances majeures sont les brides de vide et les résonances d'ordres supérieures des cavités (+ les aimants d'injection/extraction).
Un gain d'environ $\sim 0.8 - 1.0 \cdot 10^{11}$ est estimé.
- ❑ Une stratégie pour une campagne de réduction d'impédance est en cours d'études.
- ❑ Les études seront étendues pour le plus large nombre de paquets pour être le plus comparable possible avec la configuration opérationnelle (24 - 72 paquets)