

A photograph of a modern building with a curved facade, featuring a grid-like metal structure on the roof and large glass windows. The building is set against a clear blue sky. A yellow vertical bar is on the left side of the image.

Remise du prix Jean-Louis Laclare 2024

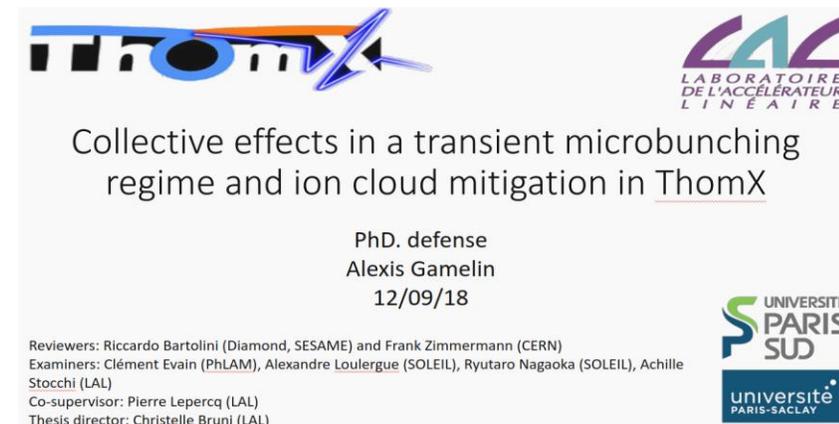
Alexis Gamelin

15/10/2024

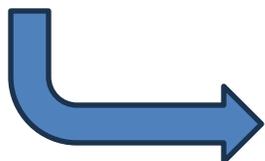


- (2015 - 2018) - LAL & U. Paris-Saclay - Doctorat en physique des accélérateurs
 - Sujet : "Effets collectifs dans un régime de micro-paquet transitoire et atténuation du nuage d'ion dans ThomX"
 - Christelle Bruni (Directrice de thèse)
 - Pierre Lepercq (Co-encadrant)
 - Prix de la meilleure thèse de l'école doctorale PHENIICS

- (2018 – aujourd'hui) - Synchrotron SOLEIL – Physicien des Accélérateurs
 - Etudes des effets collectifs pour les accélérateurs de SOLEIL et le projet SOLEIL II
 - Watanyu Foosang (doctorant puis post-doc)
 - Vadim Gubaidulin (post-doc puis permanent)
 - Ryutaro Nagaoka (chef du groupe physique accélérateur)
 - Participation et amélioration de l'opération de SOLEIL
 - Master 2 "Grands Instruments" de l'U. Paris-Saclay



- (2015 - 2018) - LAL & U. Paris-Saclay - Doctorat en physique des accélérateurs
 - Sujet : "Effets collectifs dans un régime de micro-paquet transitoire et atténuation du nuage d'ion dans ThomX"
 - Christelle Bruni (Directrice de thèse)
 - Pierre Lepercq (Co-encadrant)
 - Prix de la meilleure thèse de l'école doctorale PHENIICS



Déjà présenté dans ce même amphi il y a 6 ans ...

- (2018 – aujourd'hui) - Synchrotron SOLEIL – Physicien des Accélérateurs
 - Etudes des effets collectifs pour les accélérateurs de SOLEIL et le projet SOLEIL II
 - Watanyu Foosang (doctorant puis post-doc)
 - Vadim Gubaidulin (post-doc puis permanent)
 - Ryutaro Nagaoka (chef du groupe physique accélérateur)
 - Participation et amélioration de l'opération de SOLEIL
 - Master 2 "Grands Instruments" de l'U. Paris-Saclay




Collective effects in a transient microbunching regime and ion cloud mitigation in ThomX

PhD. defense
Alexis Gamelin
12/09/18

Reviewers: Riccardo Bartolini (Diamond, SESAME) and Frank Zimmermann (CERN)
Examiners: Clément Evain (PhLAM), Alexandre Loulergue (SOLEIL), Ryutaro Nagaoka (SOLEIL), Achille Stocchi (LAL)
Co-supervisor: Pierre Lepercq (LAL)
Thesis director: Christelle Bruni (LAL)





SOLEIL II
La science éclaire l'avenir
Science lights up the future

- Laclare a marqué durablement le domaine des effets collectifs avec des théories très élégantes sur les instabilités longitudinales et transverses dans les synchrotrons.

BUNCHED BEAM COHERENT INSTABILITIES

J.L. Laclare

Laboratoire National Saturne, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France

ABSTRACT

In this chapter, we will deal with coherent longitudinal and transverse instabilities. It is a collective phenomenon which prevents one from increasing the current circulating in an accelerating device without losing the beam or spoiling its characteristics.



- Direction de l'avant-projet détaillé du synchrotron SOLEIL (1996-1998)

APD SOLEIL



CNRS/CEA/MESR



SOLEIL est la **source de rayonnement synchrotron nationale française** mise en service en 2006.

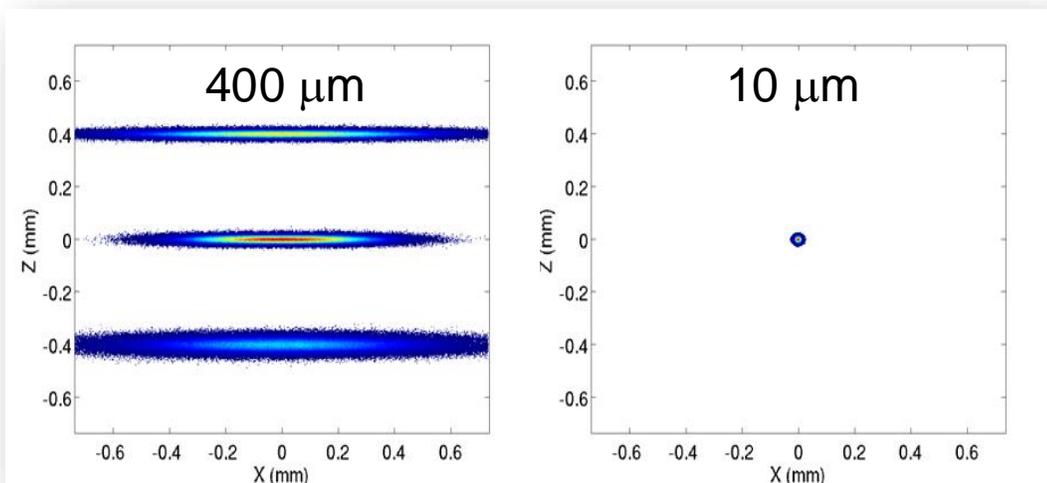
Il s'agit d'un accélérateur de particules à grande échelle qui fournit du **rayonnement synchrotron** pour de vastes domaines de la recherche scientifique.

- matériaux avancés
- énergies renouvelables
- sciences de la santé
- sciences de l'environnement

Avec **29 lignes de lumière**, SOLEIL peut fournir un rayonnement synchrotron allant du **THz aux rayons X durs**, avec une spécialisation dans la gamme des **rayons X mous**.

3ème génération

4ème génération



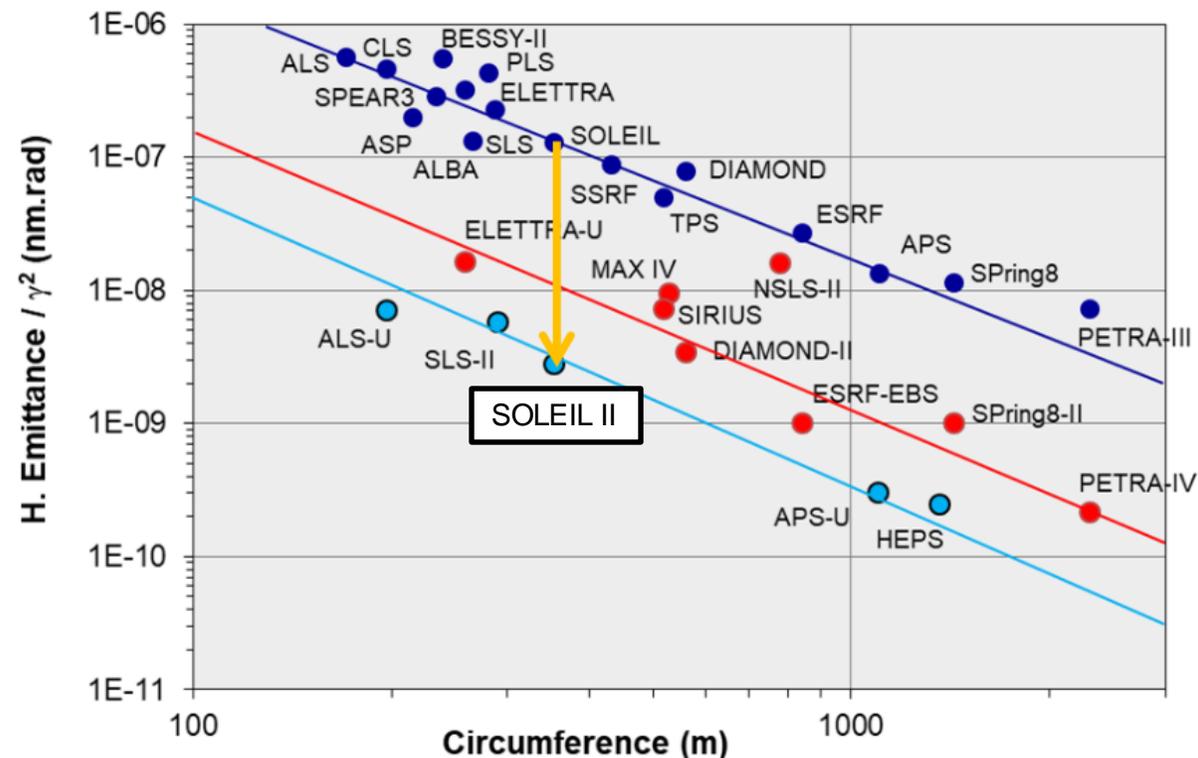
SOLEIL **SOLEIL II**

$\epsilon = 3.9 \text{ nm.rad}$

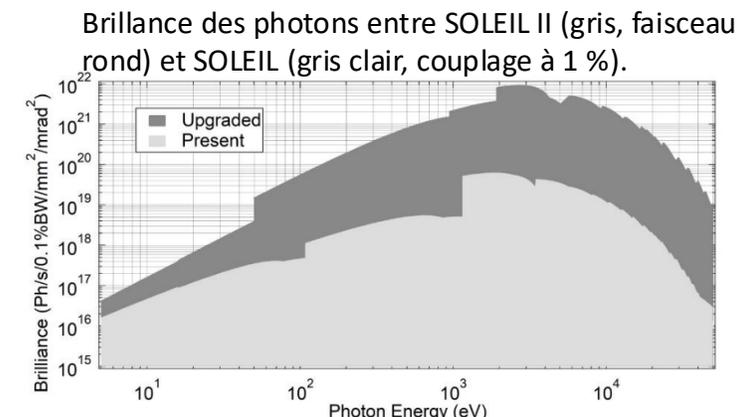
$\epsilon = 84 \text{ pm.rad}$

- CDR (2018-2020)
- TDR (2021-2024)
- Construction (2025-2030)
 - Fin-2028 : Arrêt de SOLEIL
 - 2030 : Mise en route de SOLEIL II

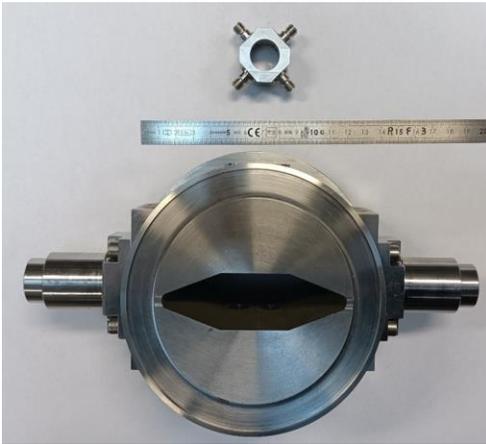
Financement reçu pour les deux premières années de la phase de construction



Quadrupole SOLEIL/SOLEIL II



La réalisation de **SOLEIL II** nécessite des **aimants de très forte focalisation**, qui ne peuvent être réalisés qu'en diminuant drastiquement les **dimensions des chambres à vide**.



Chambre à vide BPM SOLEIL/SOLEIL II

SOLEIL II

$r = 6 \text{ mm}$



SOLEIL

$r_y = 12.5 \text{ mm}$

$r_x = 40 \text{ mm}$

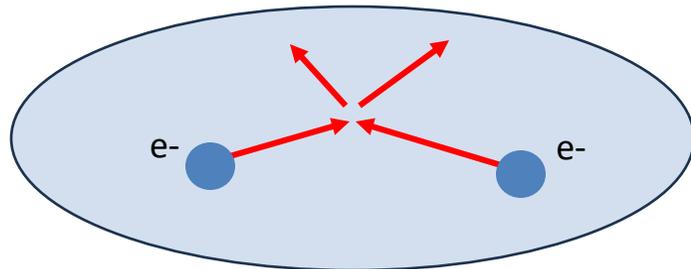
L'amplitude des **champs de sillages** (et de l'instabilité associée) transverse est proportionnelle à l'inverse du **cube du rayon des chambres** :

$$Z_{\perp, RW} \propto \frac{1}{r^3 \sqrt{\sigma}}$$

Rayon de la chambre

Conductivité de la chambre

Les faisceaux de **très petites dimensions** de SOLEIL II entraînent un renforcement important des effets collectifs dit "statistiques" dues aux **collisions intra-paquets** : diminution de la durée de vie Touschek des paquets et augmentation de l'émittance via l'IBS (intra-beam scattering).



SOLEIL

~ 20 h de durée de vie
IBS négligeable



SOLEIL II

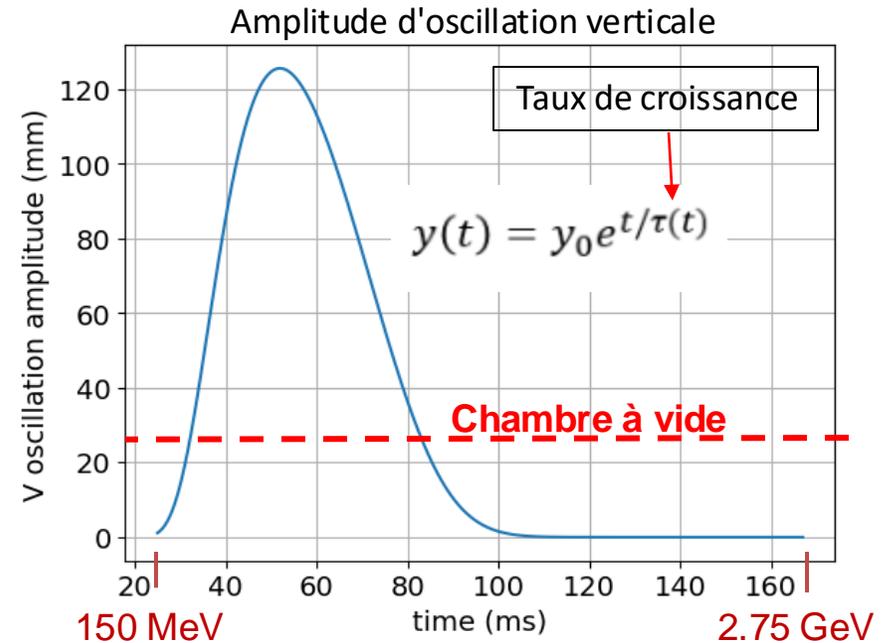
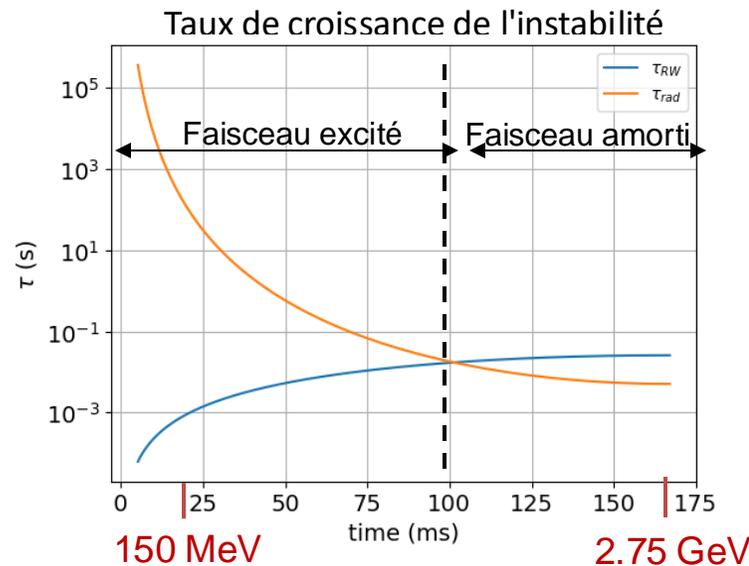
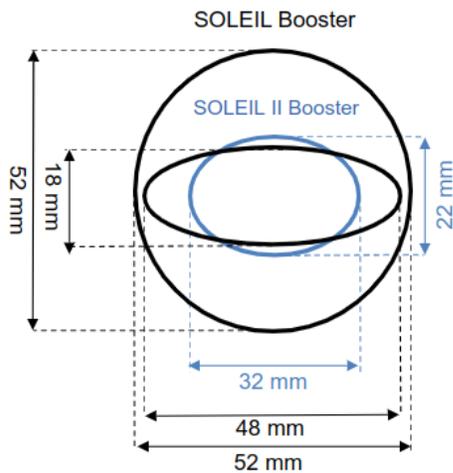
~ 3 h de durée de vie (sans cavité harmonique)
IBS augmente de ~20% l'émittance

Le booster qui sert d'**injecteur à l'anneau de stockage** doit également être **amélioré pour produire un faisceau de faible émittance** qui sera injecté dans une ouverture dynamique beaucoup plus petite.

Le **booster de SOLEIL II est une machine très complexe** du point de vue des effets collectifs:

	SOLEIL Booster	➔	SOLEIL II Booster
Type de maille	FODO		16BA
Emittance à l'extraction	140 nm rad	➔	5.2 nm rad

Valeur proche de l'émittance naturelle du synchrotron actuel (3.9 nm rad)



On a montré que, pour bien simuler la dynamique, **plusieurs effets doivent être pris en compte simultanément**:

- Dynamique complète le long de la **rampe en énergie** (de 150 MeV à 2.75 GeV) car l'**amortissement synchrotron à haute énergie uniquement**
- **Non-linéarités des aimants (ADTS)** induit de l'amortissement Landau au début de la rampe en énergie quand le faisceau est "gros"



Watanyu Foosang

Le booster qui sert d'**injecteur à l'anneau de stockage** doit également être **amélioré pour produire un faisceau de faible émittance** qui sera injecté dans une ouverture dynamique beaucoup plus petite.

Le **booster de SOLEIL II est une machine très complexe** du point de vue des effets collectifs:

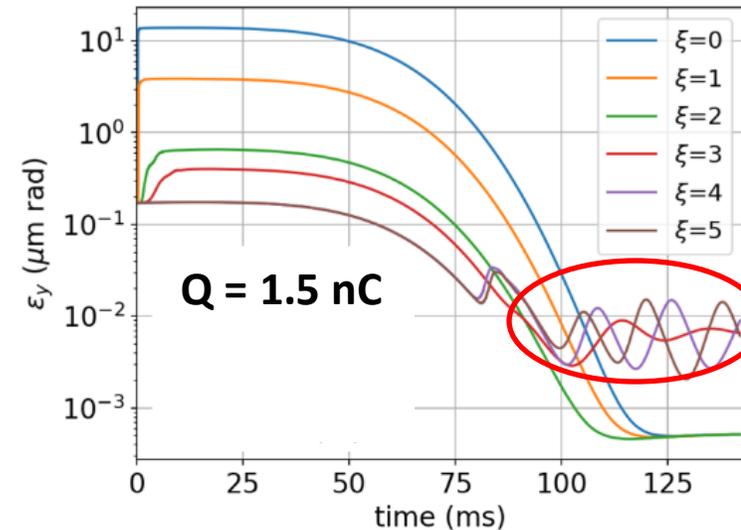
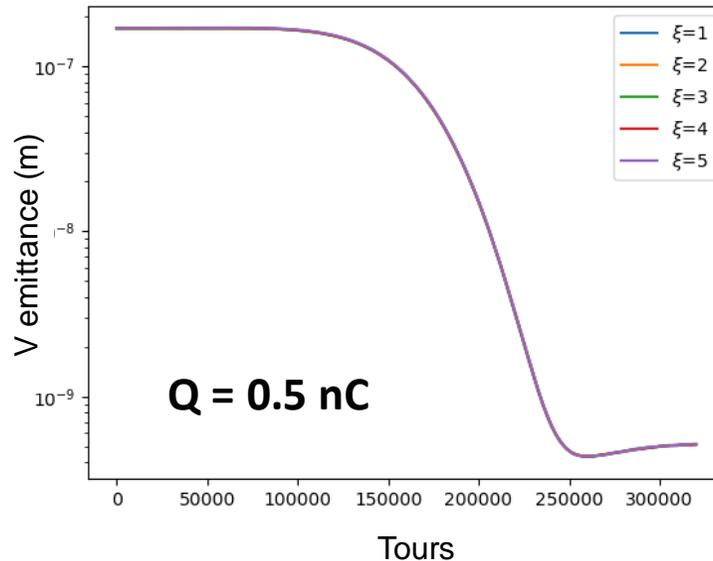
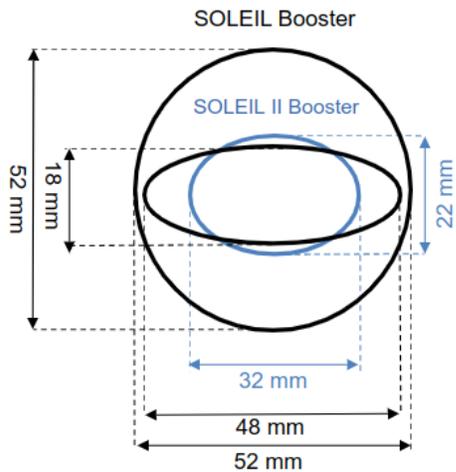
	SOLEIL Booster	SOLEIL II Booster
Type de maille	FODO	16BA
Emittance à l'extraction	140 nm rad	5.2 nm rad

On a montré que, pour bien simuler la dynamique, **plusieurs effets doivent être pris en compte simultanément**:

- Dynamique complète le long de la **rampe en énergie** (de 150 MeV à 2.75 GeV) car l'**amortissement synchrotron à haute énergie uniquement**
- **Non-linéarités des aimants (ADTS)** induit de l'amortissement Landau au début de la rampe en énergie quand le faisceau est "gros"

Valeur proche de l'émittance naturelle du synchrotron actuel (3.9 nm rad)

Emittance V en fonction de la chromaticité le long de la rampe



Watanyu Foosang

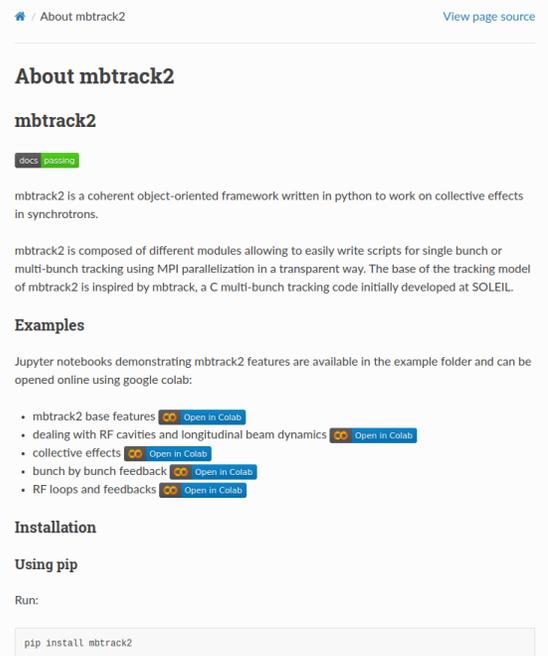
Instabilité "dent de scie" car perte de l'amortissement Landau

mbtrack2 est une bibliothèque python "**open-source**" conçue pour travailler sur les effets collectifs dans les synchrotrons. Elle contient:

- Des implémentations de **méthodes analytiques** pour les effets collectifs
- Des outils permettant de gérer et d'utiliser un **modèle d'impédance** complexe
- Des classes permettant des **simulations (tracking) mono ou multi-paquets** en utilisant la parallélisation MPI de manière transparente
- L'accent est mis sur un code lisible, documenté, **facile à utiliser**.

Depuis le lancement en 2021, mbtrack2 a été utilisé dans différents projets pour des accélérateurs futurs ou existants :

- SOLEIL & SOLEIL II (France)
- PF & PF-HLS (KEK, Japon)
- MAX IV (Suède)
- Electron-Ion Collider (BLN, US)
- Elettra 2.0 (Italie)
- ESRF-EBS (France)
- Bessy II (HZB, Allemagne)
- Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SSRF, Chine)
- ILSF (Iran)
- Ochang 4GSR (Corée)
- Taiwan Photon Source (TPS, Taiwan)



The screenshot shows the GitHub repository page for mbtrack2. The 'About' section describes it as a coherent object-oriented framework for collective effects in synchrotrons. It lists examples of use cases and provides installation instructions using pip.

About mbtrack2

mbtrack2

mbtrack2 is a coherent object-oriented framework written in python to work on collective effects in synchrotrons.

mbtrack2 is composed of different modules allowing to easily write scripts for single bunch or multi-bunch tracking using MPI parallelization in a transparent way. The base of the tracking model of mbtrack2 is inspired by mbtrack, a C multi-bunch tracking code initially developed at SOLEIL.

Examples

Jupyter notebooks demonstrating mbtrack2 features are available in the example folder and can be opened online using google colab:

- mbtrack2 base features [Open in Colab](#)
- dealing with RF cavities and longitudinal beam dynamics [Open in Colab](#)
- collective effects [Open in Colab](#)
- bunch by bunch feedback [Open in Colab](#)
- RF loops and feedbacks [Open in Colab](#)

Installation

Using pip

Run:

```
pip install mbtrack2
```

mbtrack2

[PyPI page](#)

[Home page](#)

Author: Alexis Gamelin

License: BSD-3-Clause

Summary: A coherent object-orient

Latest version: 0.7.0

Required dependencies: [acceleratk](#)

Downloads last day: 20

Downloads last week: 82

Downloads last month: 167

Contributeurs:

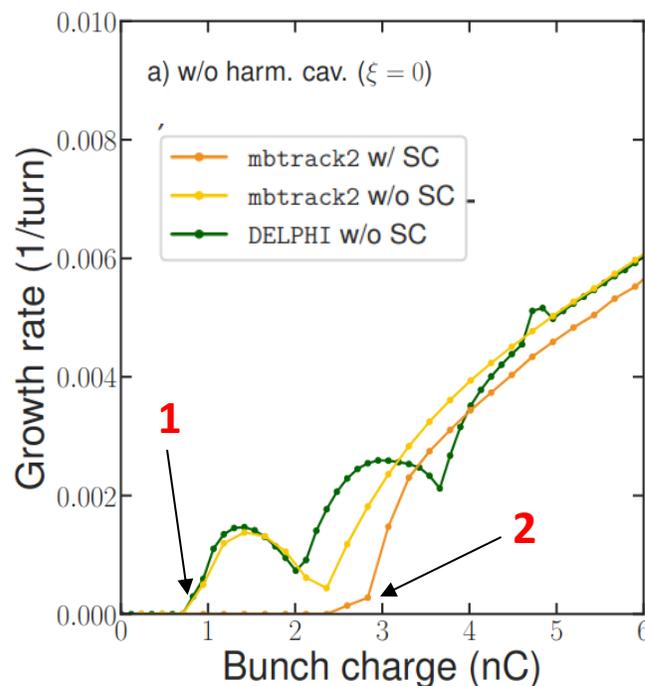
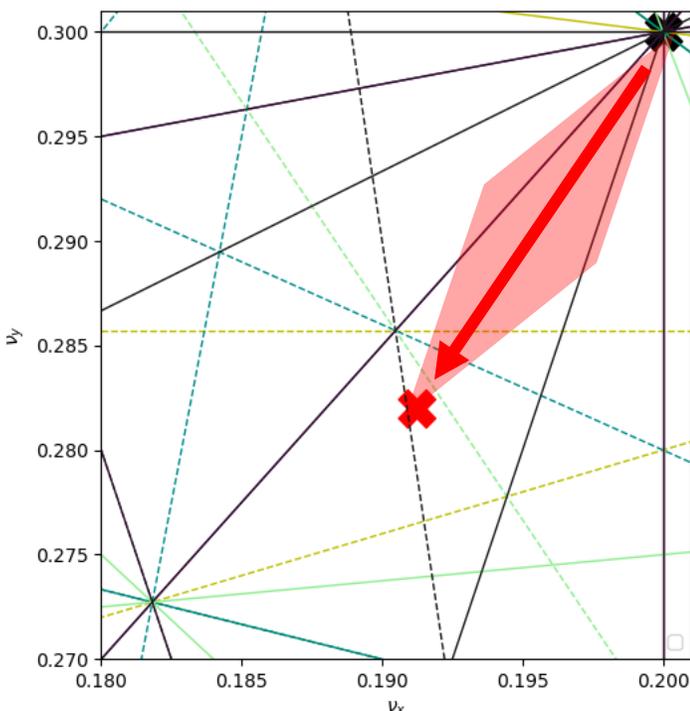
- Alexis Gamelin (SOLEIL)
- Ryutaro Nagaoka (SOLEIL)
- Watanyu Foosang (SOLEIL)
- Naoto Yamamoto (KEK)
- David Amorim (SOLEIL now CERN)
- Antonin Sauret (SOLEIL now ESRF)
- Vadim Gubaidulin (SOLEIL)
- Keon Hee Kim (Korea U.)
- Salah Feddaoui Dellalou (SOLEIL)

Il est traditionnellement admis que la charge d'espace (SC) ne joue aucun rôle dans les synchrotrons d'électrons de haute énergie du fait la dépendance en $1/\gamma^3$ de cet effet.

$$\Delta\nu_{x,y}^{SC} = -\frac{Nr_eC}{(2\pi)^{3/2}\gamma^3\sigma_z} \left\langle \frac{\beta_{x,y}}{\sigma_{x,y}(\sigma_x + \sigma_y)} \right\rangle$$

	SOLEIL (uniforme – 1.4 nC/b)	SOLEIL (1 paquet @ 25 nC)	SOLEIL II (uniforme – 1.4 nC/b)	SOLEIL II (1 paquet @ 7.4 nC)
Variation du nombre d'onde vertical [$\times 10^{-3}$]	- 1.4	-5	-18	-54

Vadim Gubaidulin



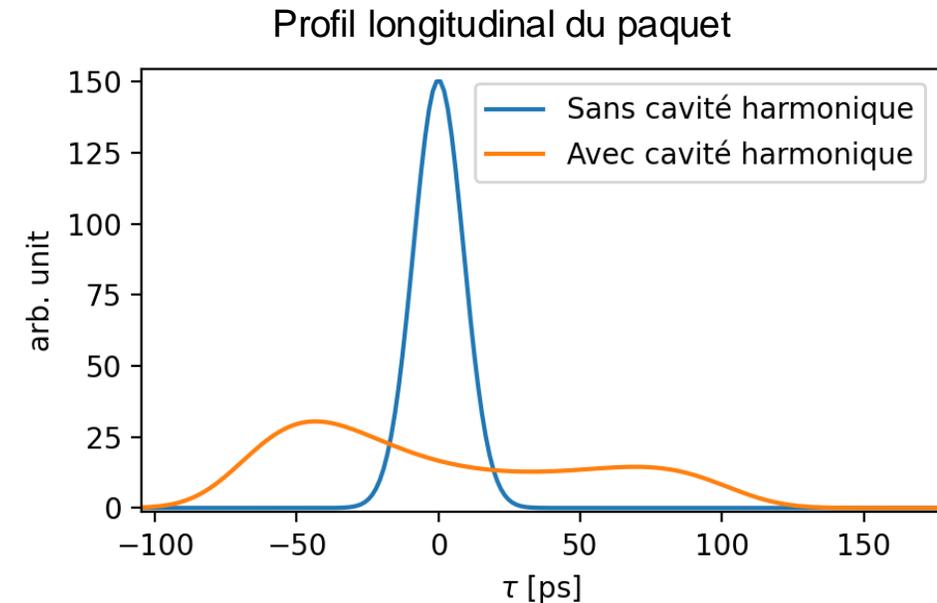
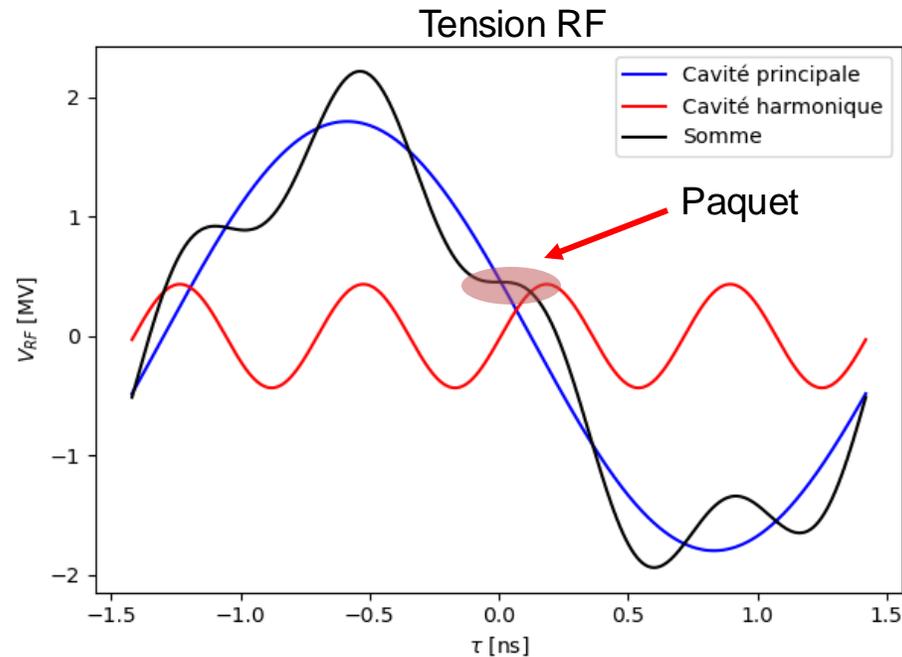
Pour SOLEIL II

- Effets incohérents importants, peut exciter des résonances
- La charge d'espace est plutôt bénéfique pour les seuils d'instabilités.

- 1** - TMCI: Couplage en mode 0 et -1
- 2** - La charge d'espace empêche le couplage entre mode 0 et mode -1, l'instabilité se déclenche seulement lors du passage au couplage entre les modes -2 et -3

Dans les sources de lumière de 4^{ème} génération, les faisceaux sont si **comprimés transversalement** qu'il faut les **allonger** en utilisant **une cavité harmonique** pour:

- Augmenter la **durée de vie Touschek**
- Eviter l'augmentation de l'émittance transverse et de la dispersion en énergie par l'effet **intra-beam scattering (IBS)**



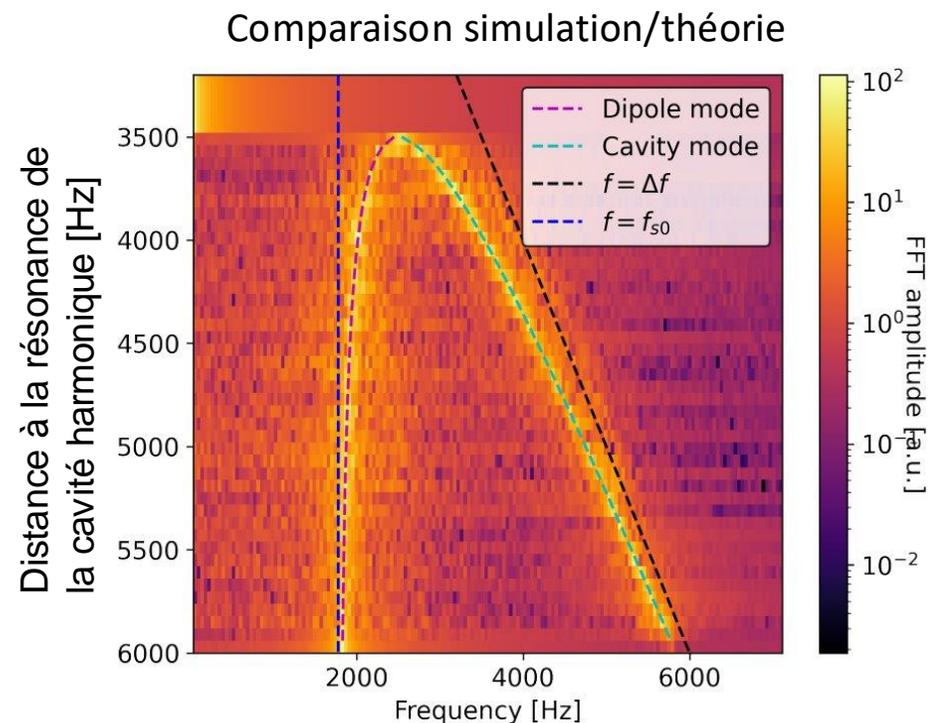
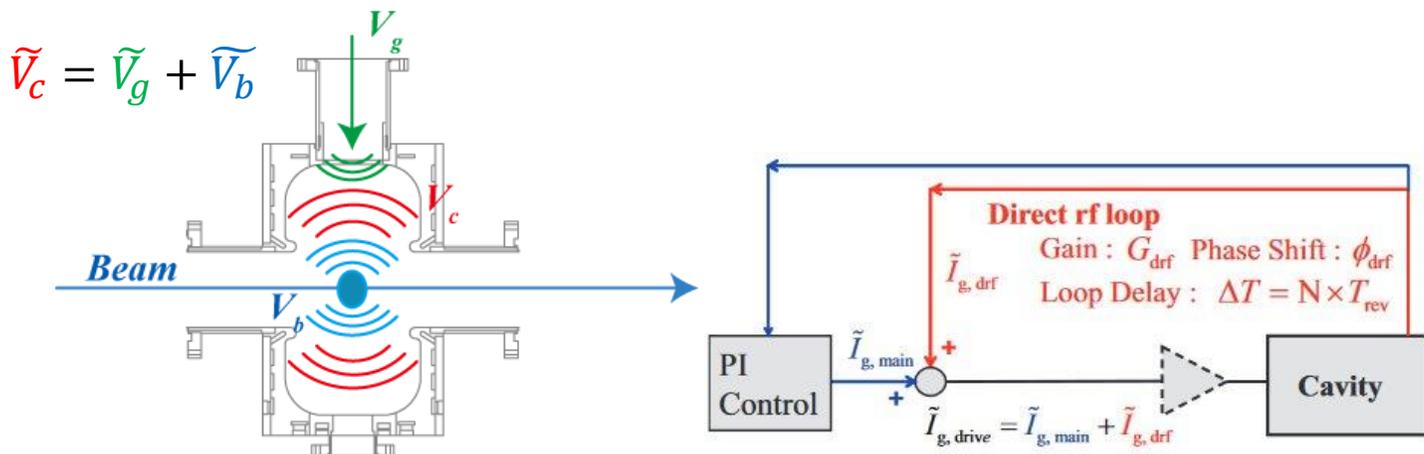
L'aplatissement du potentiel RF induit une **diminution de la focalisation** longitudinale et l'allongement des paquets, mais vient cependant avec une **zoologie complète d'instabilités possibles** ...

La cavité harmonique (HC) est **une cavité dite "passive"**, la tension est induite par le faisceau et on contrôle uniquement la **"distance à la résonance du faisceau"** de la cavité en déformant mécaniquement celle-ci.

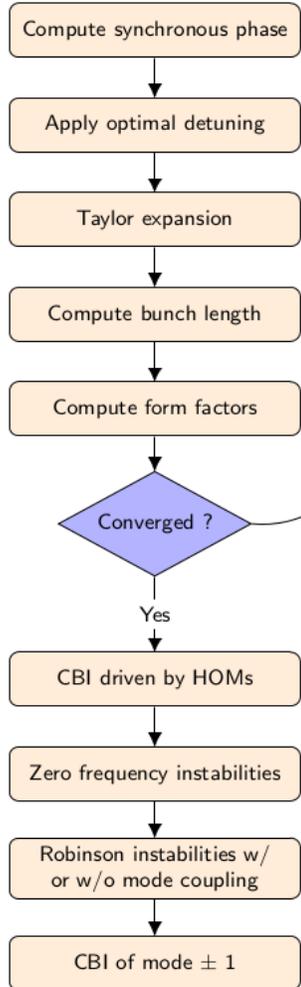
On cherche à s'assurer de la **stabilité du système** et d'optimiser les paramètres de la cavité harmonique: impédance R_s et facteur de qualité Q_0 .

Simulations très complexes nécessaires pour apporter des réponses:

- Multi-paquets ($\sim 10^5$ macro-particules par paquets x 416 paquets)
- Physique des cavités (beam loading)
- Système de feedback type "Low level RF"
- Impédance de la machine
- Dynamique "longue" ~ 350 ms à simuler = 300 000 tours



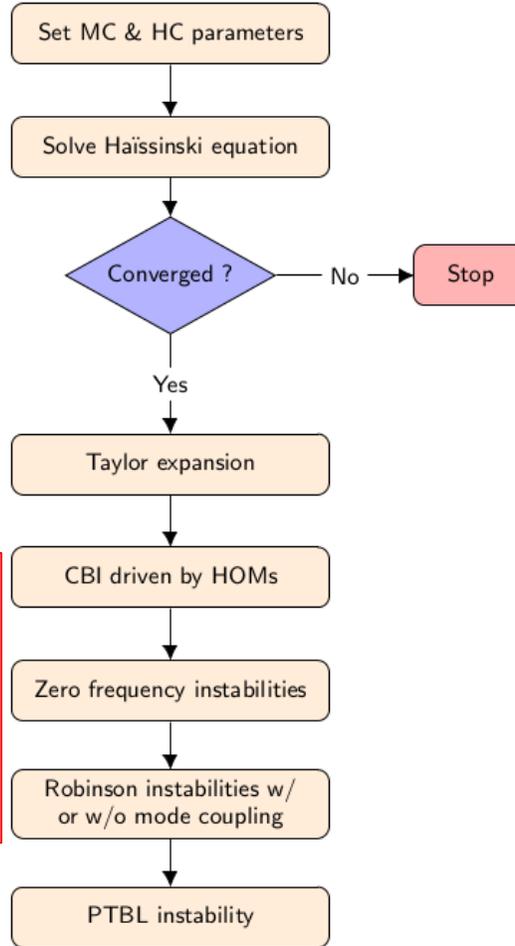
Algorithme de Bosch (1993-2005)



Equation d'Haissinski couplée entre tous les paquets

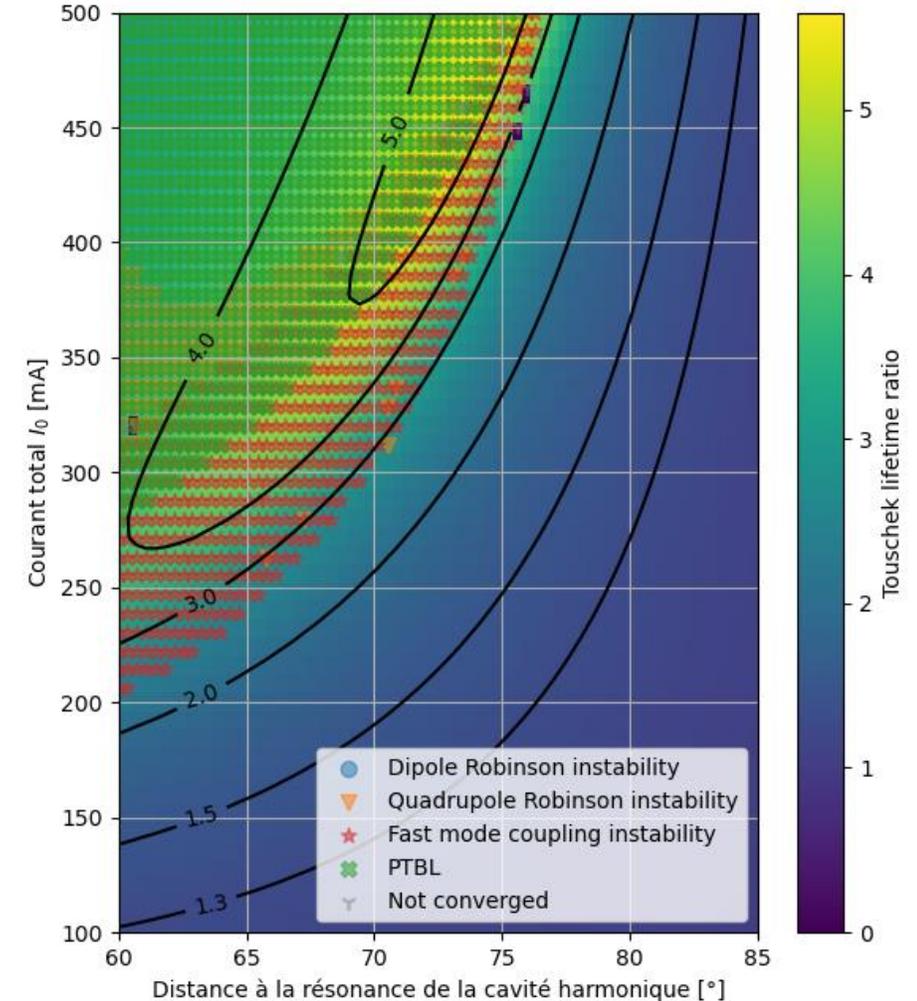
"Periodic Transient Beam Loading" (PTBL)
Nouvelle instabilité: "découverte" entre 2018 et 2022 (Venturini, He) et observée à MAX IV en 2024

Nouvel algorithme

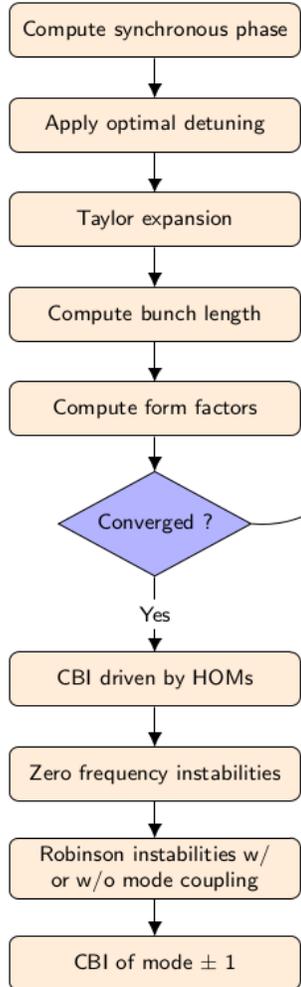


1 point sur le graphe :

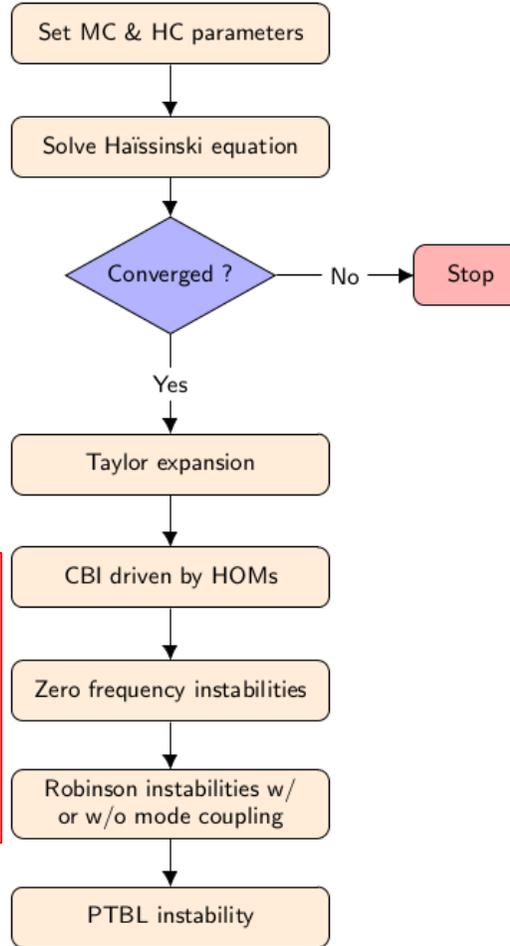
- ~30h avec 416 cœurs (HPC) en tracking
- Ou 200 ms (et beaucoup d'équations)



Algorithme de Bosch (1993-2005)



Nouvel algorithme

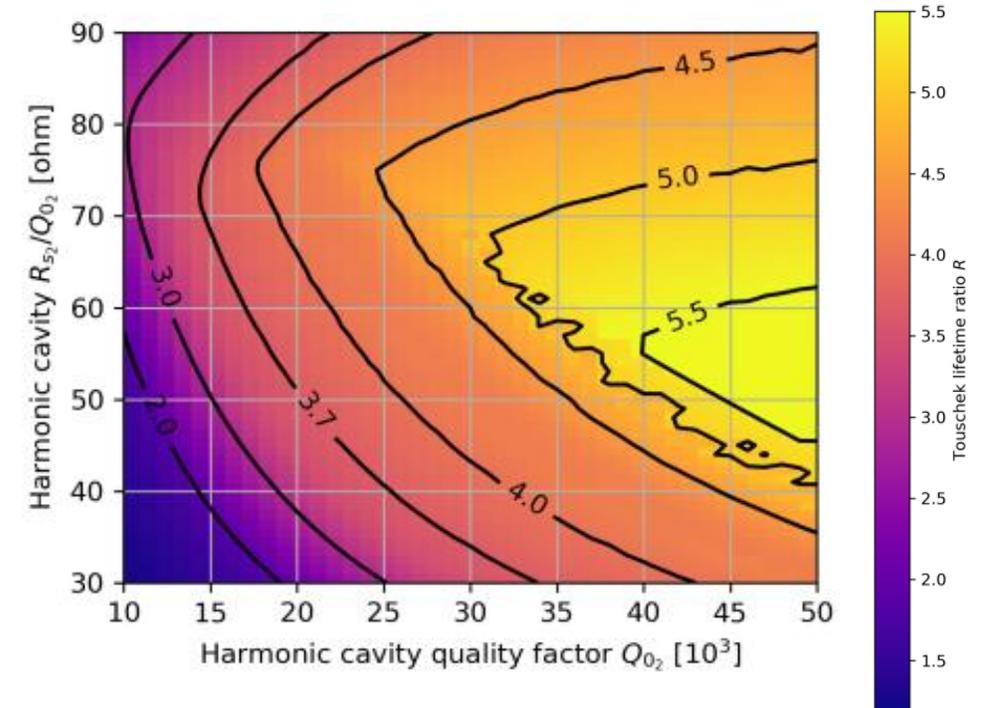


Equation d'Haissinski couplée entre tous les paquets

"Periodic Transient Beam Loading" (PTBL)
Nouvelle instabilité: "découverte" entre 2018 et 2022 (Venturini, He) et observée à MAX IV en 2024

Un algorithme d'optimisation, branché sur cette méthode semi-analytique, répond à la question de l'optimum des paramètres de la cavité harmonique pour maximiser la durée de vie Touschek.

Impossible à faire en tracking ...



Présentation complète sur ce thème ce jeudi 17/10 au GdR SCIPAC (Atelier Calcul)

Un grand merci à tous mes collègues (ex-LAL et SOLEIL) et collaborateurs !



En particulier à Christelle Bruni et Ryutaro Nagaoka pour m'avoir montré la voie ...



L'effet d'une **couche mince d'épaisseur Δ de dépôt NEG** sur l'impédance est connue depuis les années ~ 2000:

- Une augmentation de la partie imaginaire de l'impédance proportionnelle à Δ , qui peut allonger le faisceau et réduire les seuils d'instabilités transverses.

Un **effet contre-intuitif** entre en jeu quand on considère la **résistivité ρ du dépôt NEG sur du cuivre**:

- On pourrait attendre qu'une résistivité ρ plus faible du NEG génère une impédance plus faible
- En fait, lorsque **la résistivité ρ du NEG est importante**, l'épaisseur de peau du NEG est grande et **le faisceau « voit » uniquement la très faible résistivité du cuivre.**
- Lorsque la résistivité ρ du NEG est faible (mais plus importante que celle du cuivre), l'épaisseur de peau du NEG est plus faible et le faisceau « voit » la résistivité du NEG à la place de celle du cuivre.

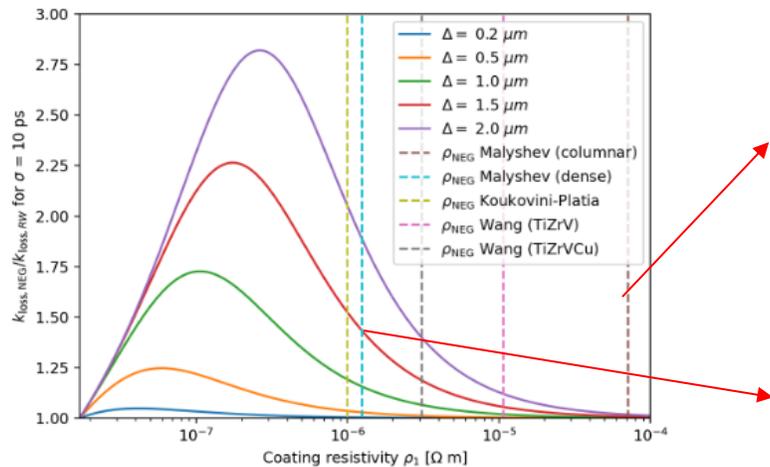
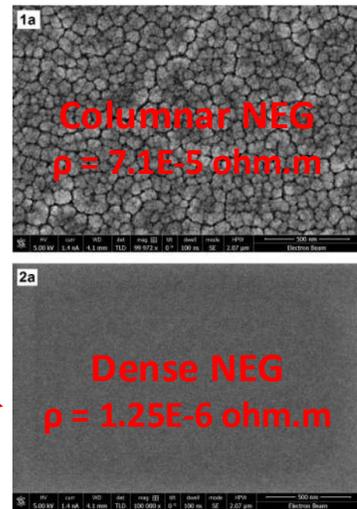


FIG. 3. Ratio of the NEG-coated copper beam pipe loss factor $k_{\text{loss,NEG}}$ over the copper beam pipe loss factor $k_{\text{loss,RW}}$ for a $\sigma = 10$ ps Gaussian bunch versus the NEG coating resistivity ρ_1 for different coating thickness Δ .



Un NEG "columnar" n'augmente pas l'énergie dissipée dans la chambre.

Un NEG "dense" pourrait l'augmenter d'un facteur 2.

Les deux sont potentiellement (?) susceptibles de générer des instabilités longitudinales à haute fréquence. Mais quel NEG devrait être adopté ? Débats encore en cours ...

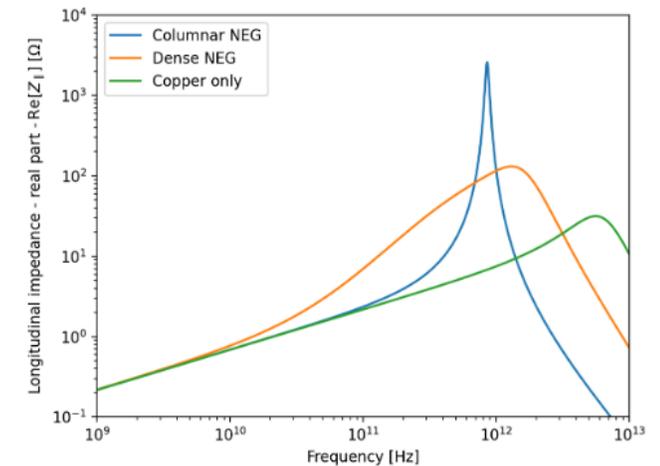


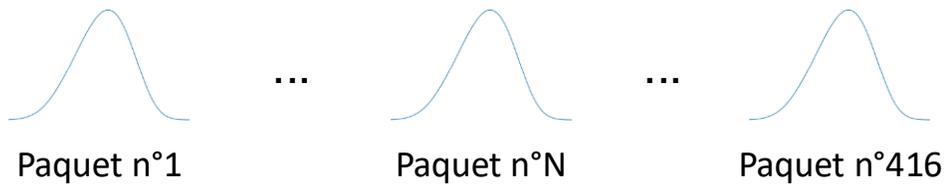
FIG. 5. Real part of the longitudinal impedance $\text{Re}[Z_{\parallel}]$ for the columnar NEG, dense NEG, and copper computed using iw2D [18]. The coating thickness used is $\Delta = 1 \mu\text{m}$.

Nouvelle instabilité "Periodic Transient Beam Loading" PTBL:

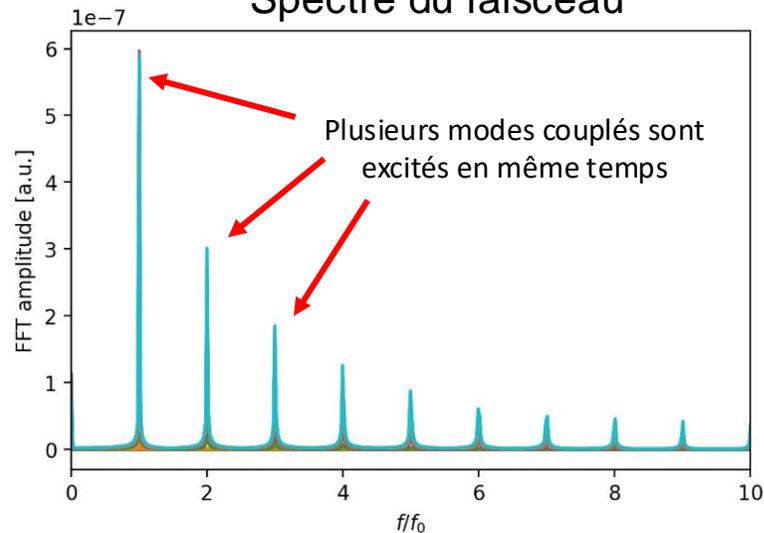
- "Découverte" entre 2018 (Venturini, théorie) et observé à MAX IV en 2024.
- Il s'agit d'une instabilité particulière car elle mélange plusieurs modes (modes azimutaux et mode couplés).
- Elle est caractérisée par une variation lente dans "l'espace des paquets" du profil longitudinal du faisceau.

Cas stable (pour un remplissage uniforme)

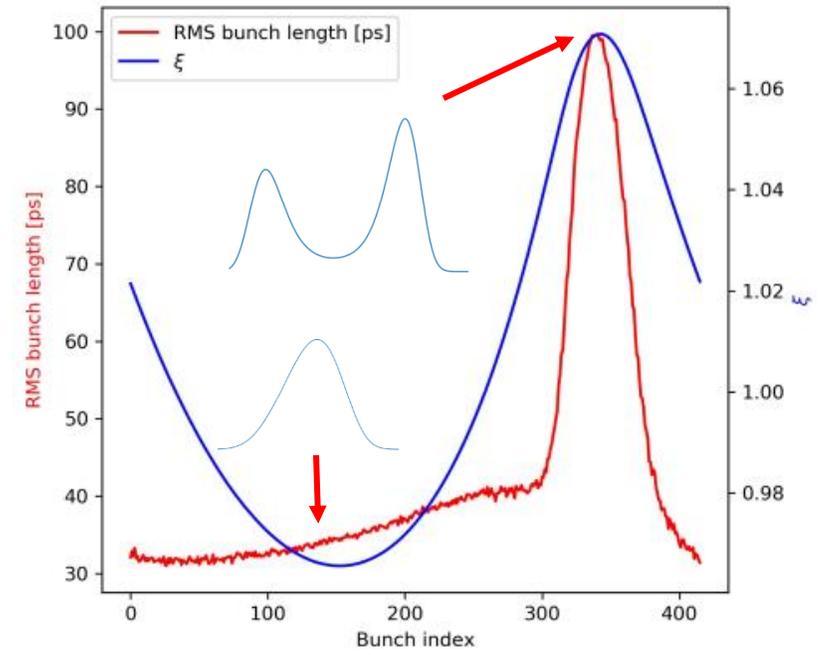
Profil longitudinal d'un paquet



Spectre du faisceau

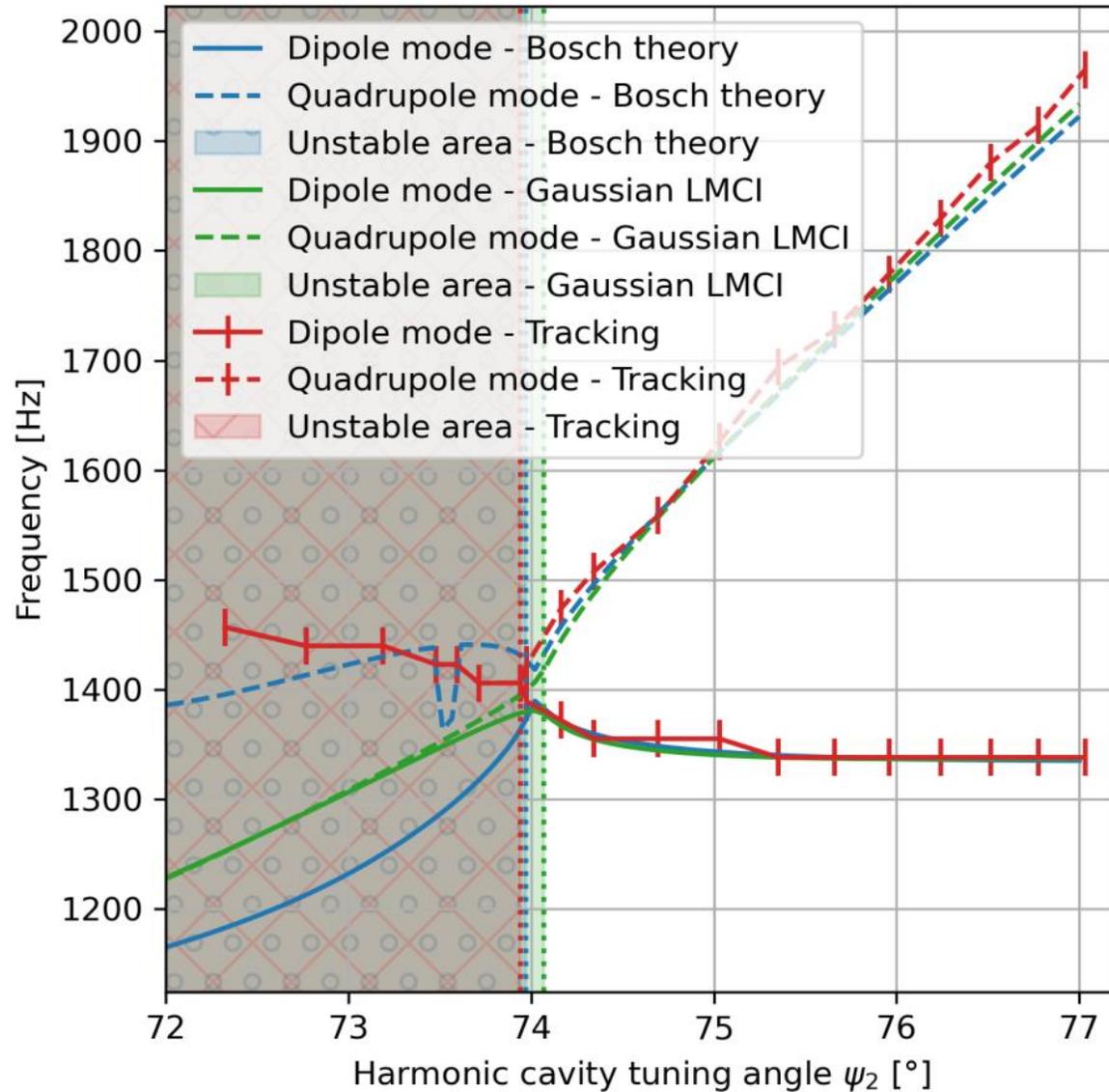


A un instant donné pendant l'instabilité

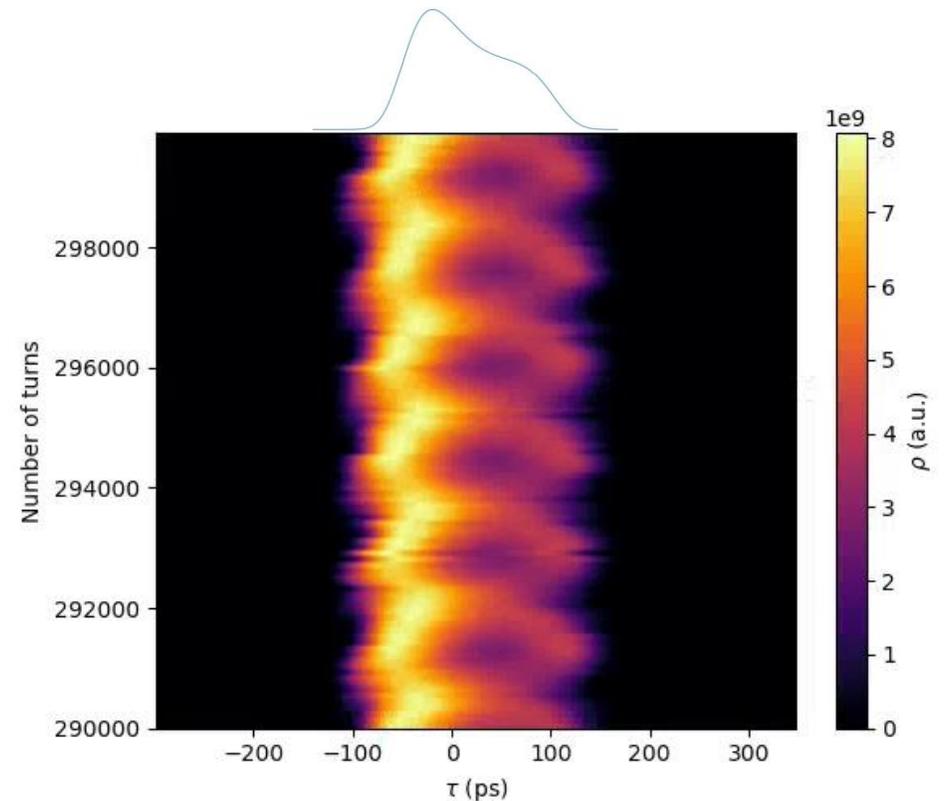


Variation lente (\sim Hz) dans l'espace des paquets





L'instabilité "fast mode coupling" résulte du couplage entre les modes **dipolaires** et **quadripolaires** des paquets. Elle induit des oscillations importantes du **centre de masse** et de la **longueur** des paquets:



Simulation numérique du profil d'un paquet au cours du temps.