

The background image shows a modern building with a curved glass facade and a grid-like roof structure. The building is illuminated by warm lights, suggesting dusk or dawn. The sky is a deep blue, and the overall atmosphere is serene and architectural.

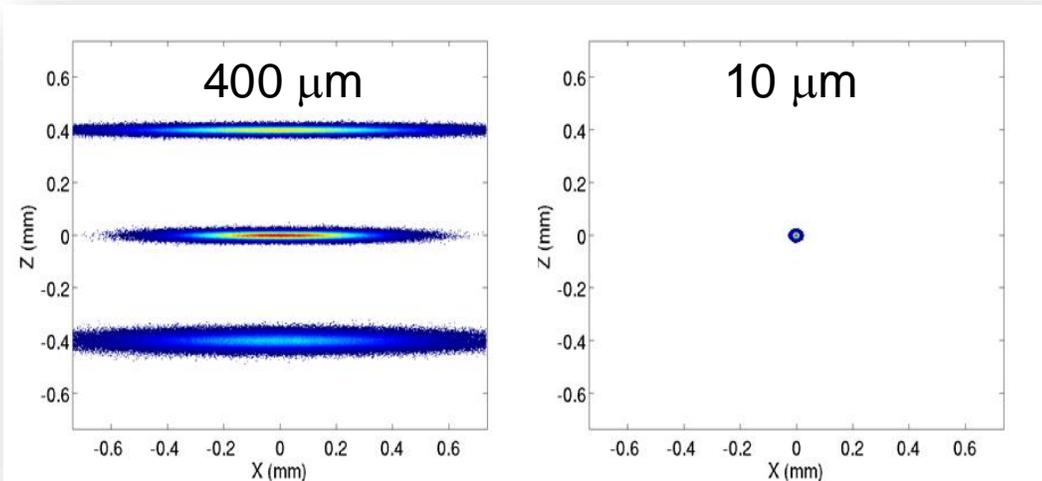
Dynamique longitudinale avec un double système RF : simulations et méthodes semi-analytiques

Alexis Gamelin

17/10/2024 - GdR SCIPAC

3ème génération

4ème génération



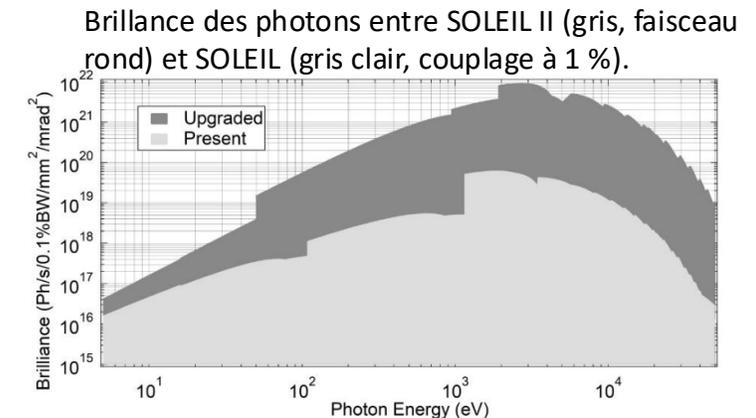
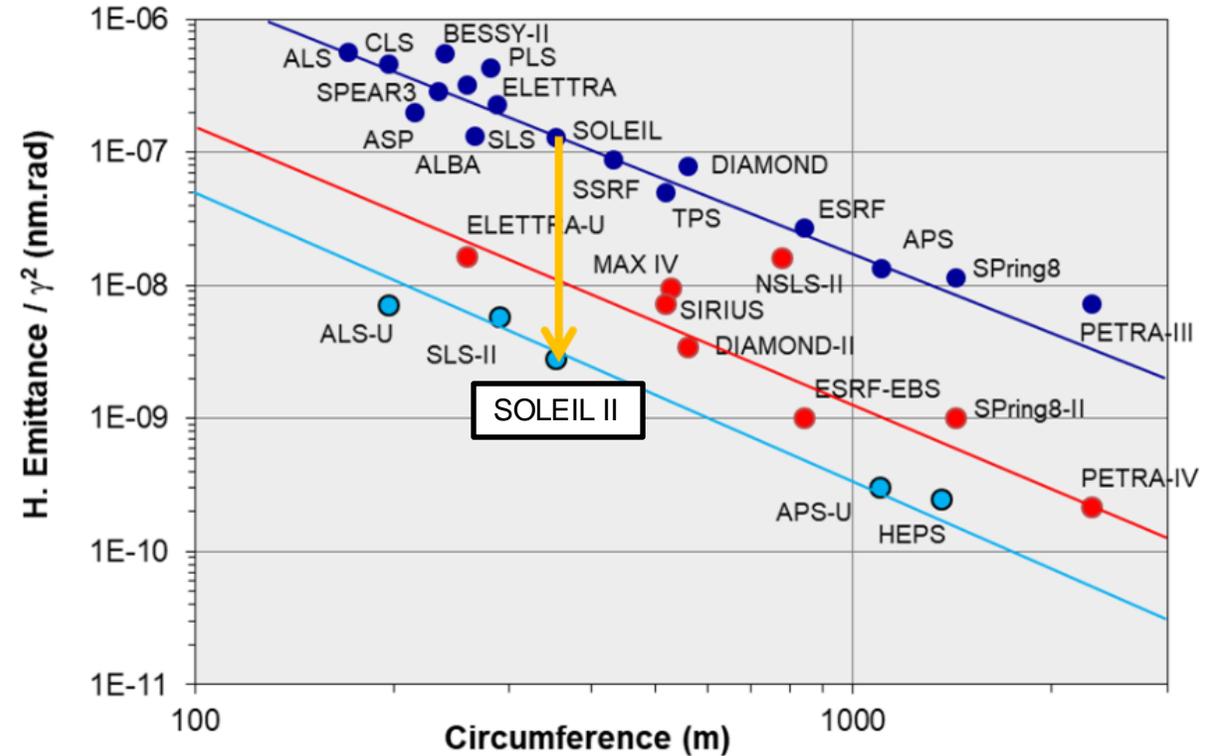
SOLEIL **SOLEIL II**

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

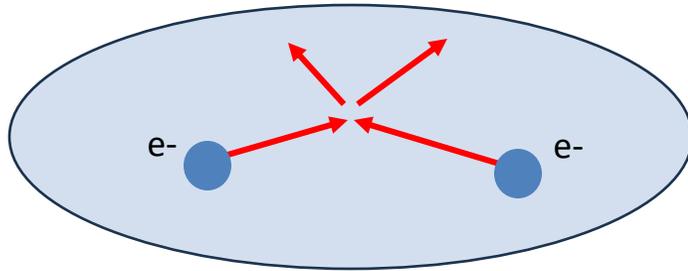
$\epsilon = 84 \text{ pm.rad}$

- 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



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



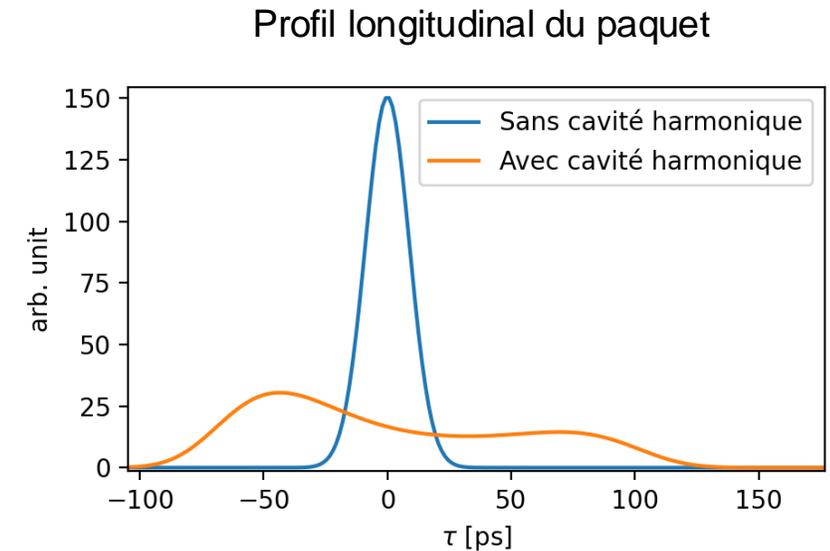
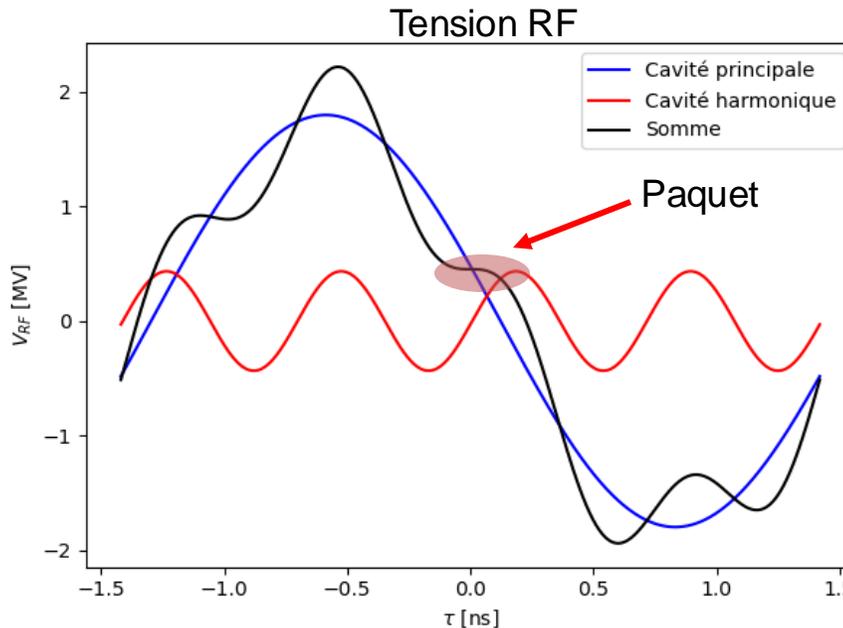
SOLEIL II

~ 20 h de durée de vie
IBS négligeable

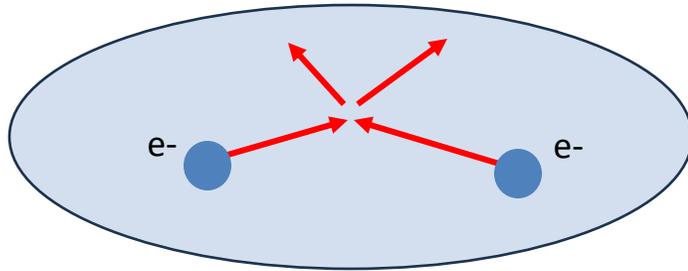
~ 3 h de durée de vie (sans cavité harmonique)
IBS augmente de ~20% l'émittance

Une solution pour réduire ces effets est d'**allonger les paquets** en utilisant une **cavité harmonique**.

Mais l'aplatissement du potentiel RF induit une **diminution de la focalisation longitudinale** qui vient cependant avec une **zoologie complète d'instabilités possibles ...**



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



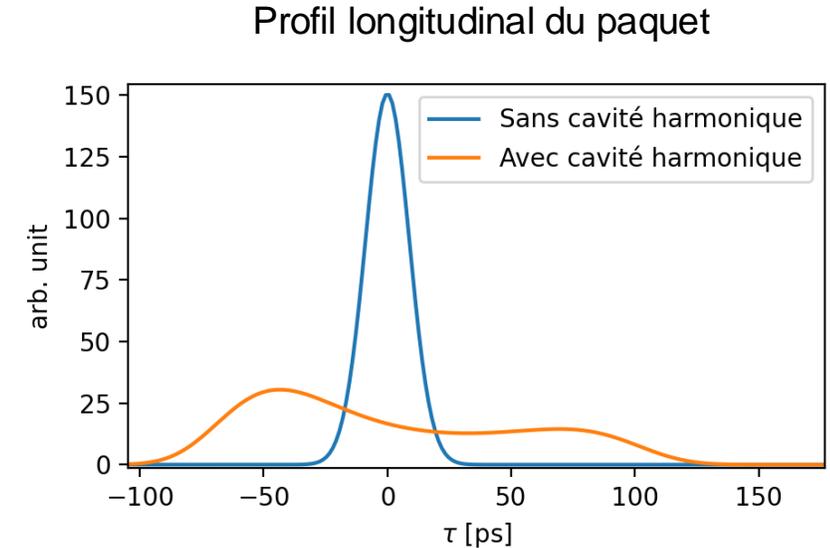
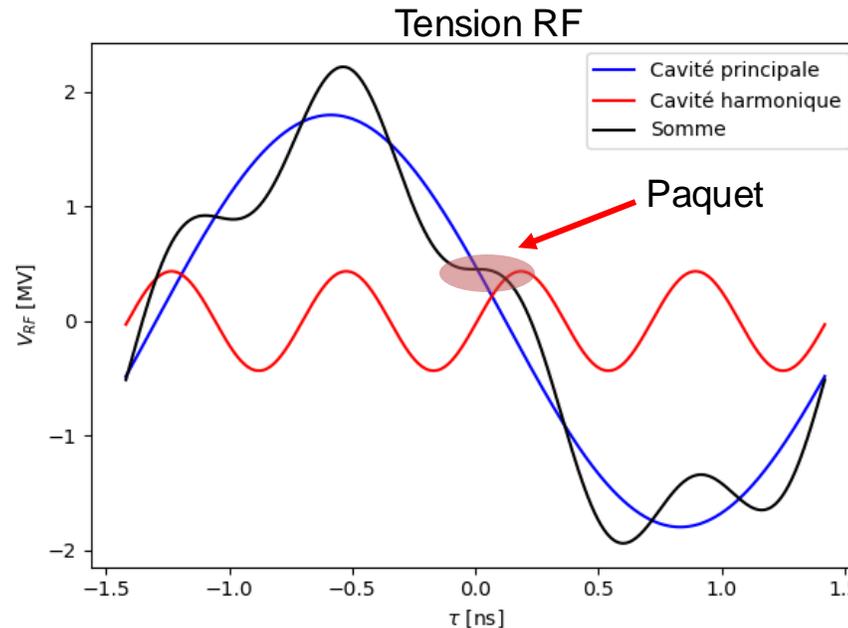
SOLEIL II

~ 20 h de durée de vie
IBS négligeable

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

Une solution pour réduire ces effets est d'**allonger les paquets** en utilisant une **cavité harmonique**.

Mais l'aplatissement du potentiel RF induit une **diminution de la focalisation longitudinale** qui vient cependant avec une **zoologie complète d'instabilités possibles ...**



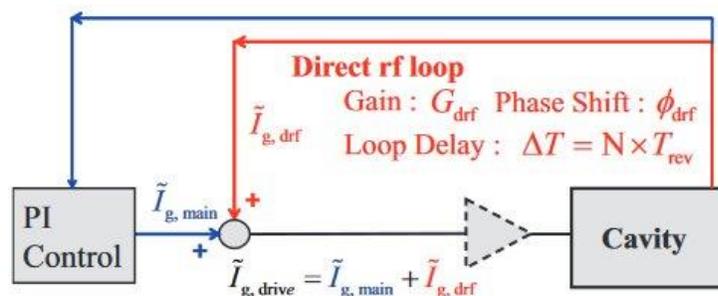
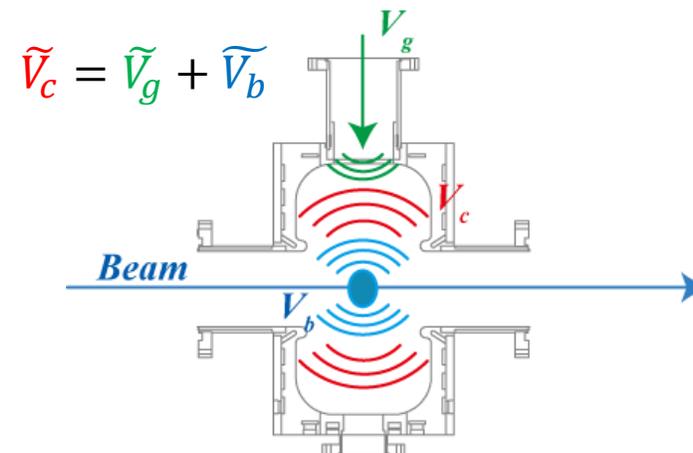
Stabilité de la dynamique ?

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



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**:
 - Solveur de l'équation d'Haissinski
 - Modèles analytiques d'impédance (resistive wall, tapers, cavités, ...)
 - Modèles analytiques d'instabilités (MWI, ions, ...)
- Des outils permettant de gérer et d'utiliser un **modèle d'impédance complexe**:
 - Import depuis des code de calculs (CST, IW2D, ECHO2D, ...)
 - Prise en charge des mailles au format AT/pyAT
 - Calcul d'échauffements et export vers simulation thermique
- Des classes permettant des **simulations** (tracking) **mono ou multi-paquets** en utilisant la **parallélisation MPI de manière transparente**:
 - Champs de sillage mono ou multi-paquets
 - Beam loading dans les cavités RF
 - Système de feedback type "low level RF" ou paquets par paquets
 - Intra-beam scattering (IBS)
 - Instabilités liées aux ions
 - Charge d'espace

L'accent est mis sur un code lisible, documenté, facile à utiliser:

- Tutoriels en ligne (via google colab)
- Documentation en ligne (readthedocs)
- Installation simple via "pip" ou sans installation via conteneur docker

🏠 / About mbtrack2

[View page source](#)

About mbtrack2

mbtrack2

docs [passing](#)

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 mbrack, 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
```

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)



BNL-225173-2024-TECH

EIC-ADD-TN-080

MBTRACK2 - APPLICATION ON EIC 5GEV ELECTRON RING
REVERSE PHASE CONFIGURATION

mbtrack2

[PyPI page](#)

[Home page](#)

Author: Alexis Gamelin

License: BSD-3-Clause

Summary: A coherent object-orient

Latest version: 0.7.0

Required dependencies: [accelerat](#)

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)

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, C)
- ILSF (Iran)
- Ochang 4GSR (Corée)
- Taiwan Photon Source (TPS, Taiwan)



BNL-225173-2024-TECH
EIC-ADD-TN-080

MBTRACK2 - APPLICATION ON EIC 5GEV ELECTRON RING
REVERSE PHASE CONFIGURATION

accelerator-toolbox

[PyPI page](#)

[Home page](#)

Author: None

Summary: Accelerator Toolbox

Latest version: 0.6.1

Required dependencies: [importlib-resc](#)

Optional dependencies: [flake8](#) | [matpk](#)

Downloads last day: 8,396

Downloads last week: 55,624

Downloads last month: 128,626

mbtrack2

[PyPI page](#)

[Home page](#)

Author: Alexis Gamelin

License: BSD-3-Clause

Summary: A coherent object-orient

Latest version: 0.7.0

Required dependencies: [accelerat](#)

Downloads last day: 20

Downloads last week: 82

Downloads last month: 167

Mais que font ces gens ?

Contributeurs:

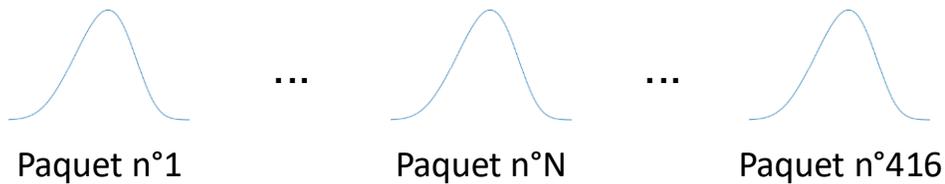
- Alexis Gamelin (SOLEIL)
- Ryutaro Nagaoka (SOLEIL)
- Watanyu Foosang (SOLEIL)
- Naoto Yamamoto (KEK)
- David Amorim (SOLEIL now CERN)
- Antonin Sauret (SOLEIL now ESRF)
- Vadim Gubaidulin (SOLEIL)
- Keon Hee Kim (Korea U.)
- Salah Feddaoui Dellalou (SOLEIL)

Nouvelle instabilité "Periodic Transient Beam Loading" PTBL:

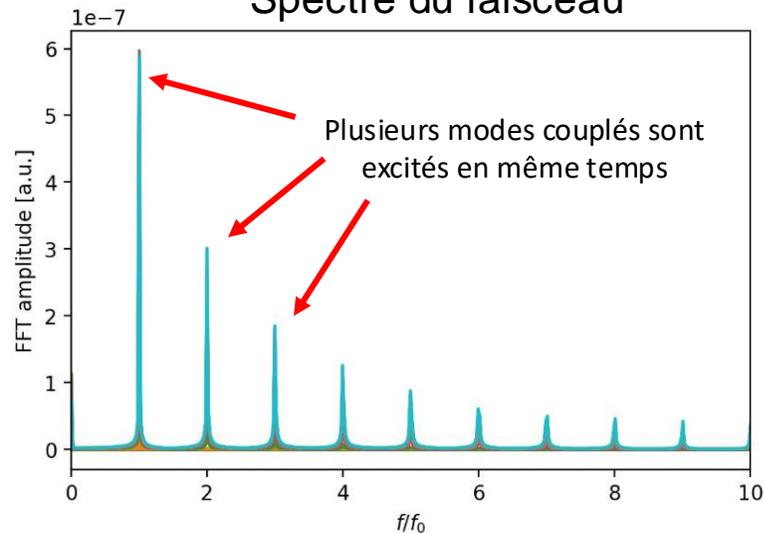
- "Découverte" entre 2018 (Venturini, théorie) et observé à MAX IV en 2024.
- Il s'agit d'une instabilité particulière car elle mélange plusieurs modes (modes azimutaux et mode couplés).
- Elle est caractérisée par une variation lente dans "l'espace des paquets" du profil longitudinal du faisceau.

Cas stable (pour un remplissage uniforme)

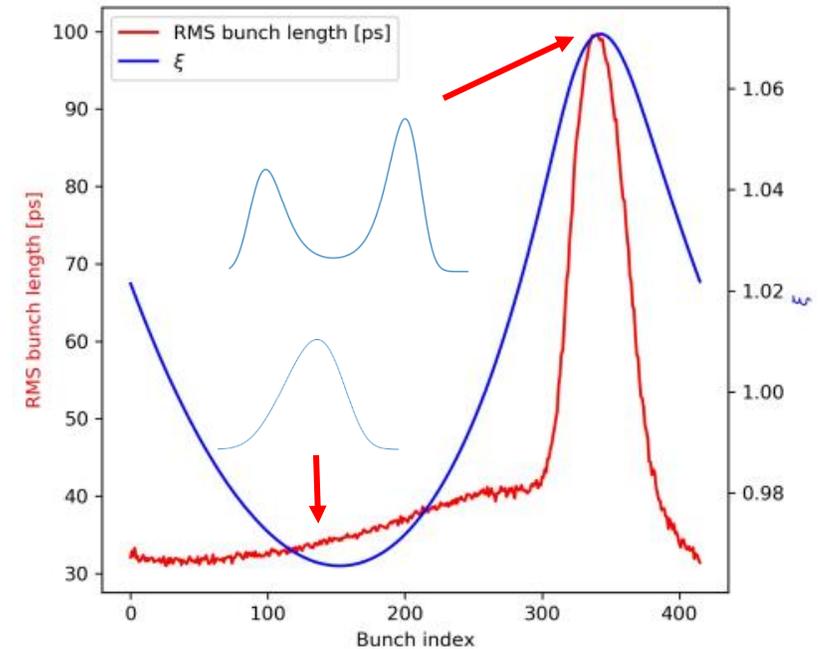
Profil longitudinal d'un paquet



Spectre du faisceau



A un instant donné pendant l'instabilité

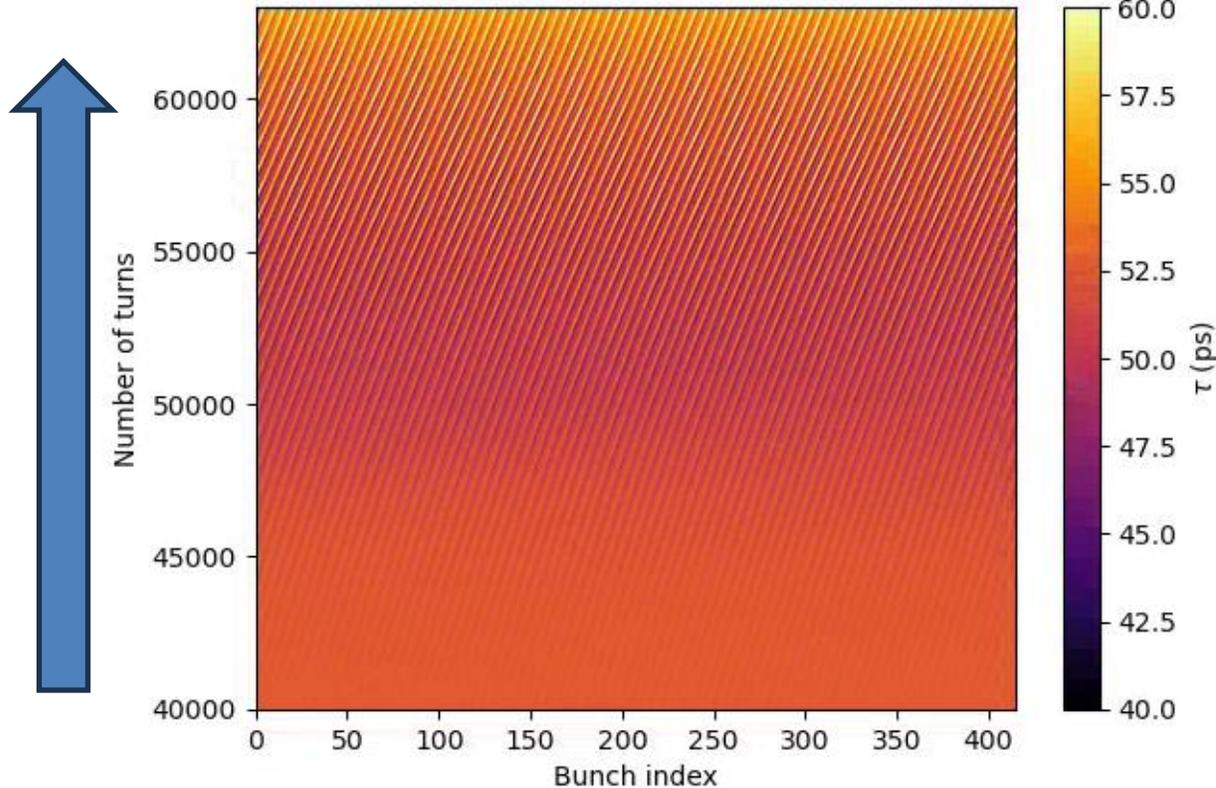


Variation lente (\sim Hz) dans l'espace des paquets



Longueur des paquets [ps]
(simulation numérique)

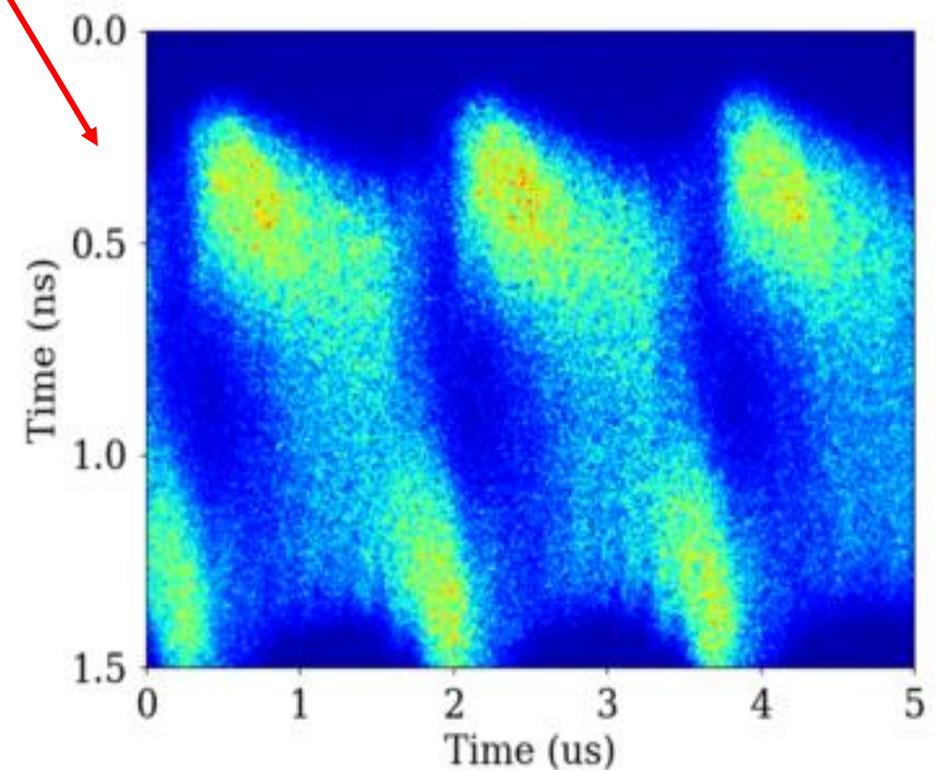
τ (ps) RMS



Variation lente (~Hz) dans l'espace des paquets

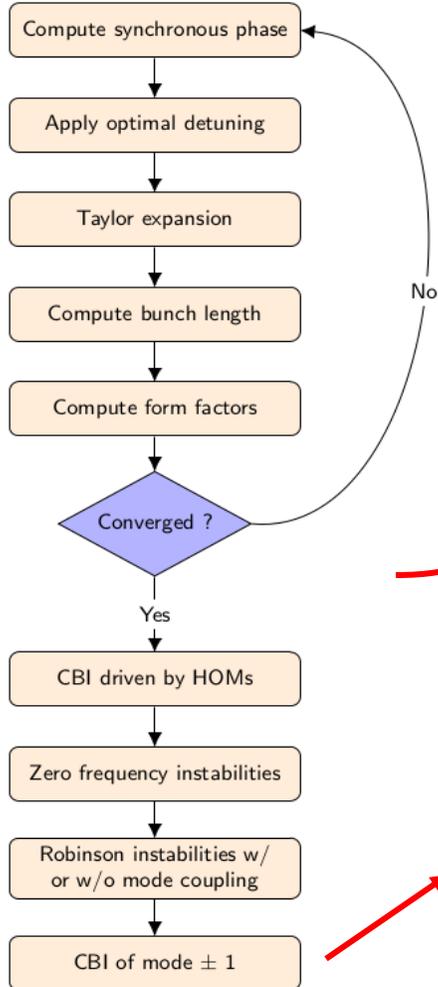
Profil des paquets

Mesure expérimentale en utilisant une caméra "streak"



Francis Cullinan, Åke Andersson, Jonas Breunlin, Miriam Brosi,
Pedro Fernandes Tavares
(MAX IV Laboratory, Lund, Sweden)

Algorithme de Bosch (1993-2005)

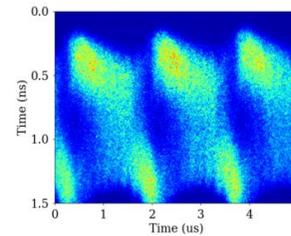
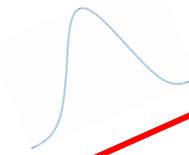


Description partielle de l'état d'équilibre de tous les paquets (longueurs, facteurs de forme, tension induite dans les cavités, ...)

Résultat dépendant de paramètres numériques.



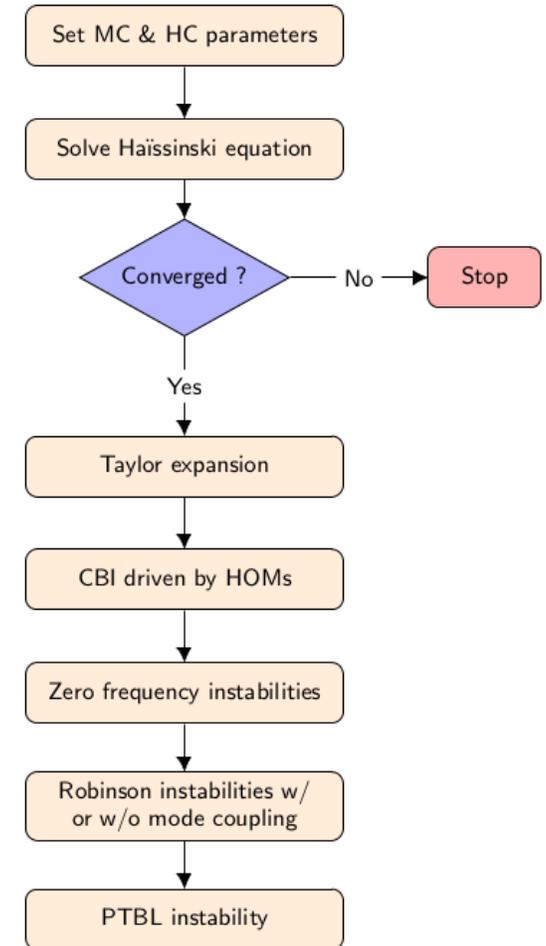
Equation d'Haissinski couplée entre tous les paquets

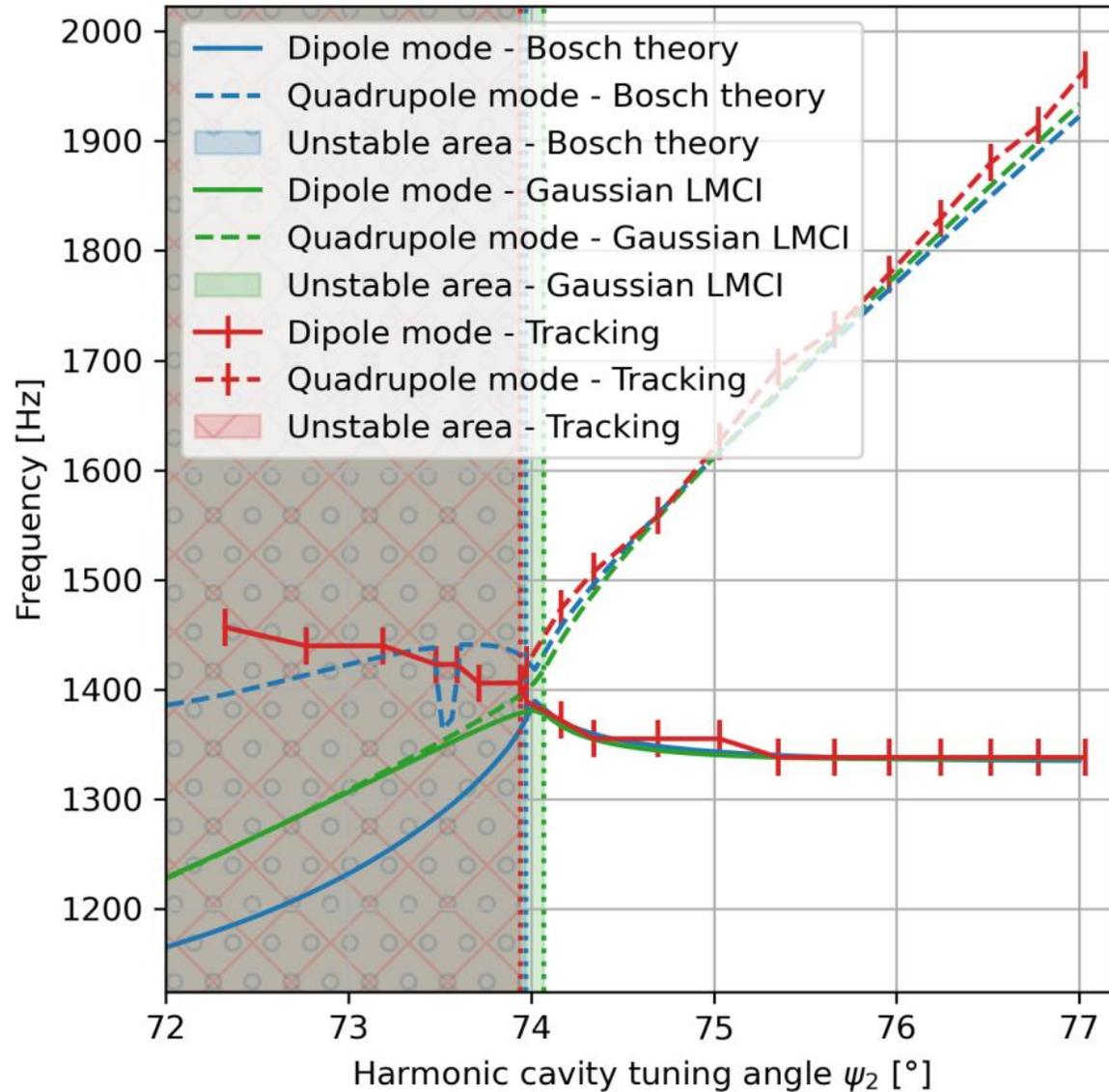


Description inexacte du mode couplée ± 1 (théorie classique)

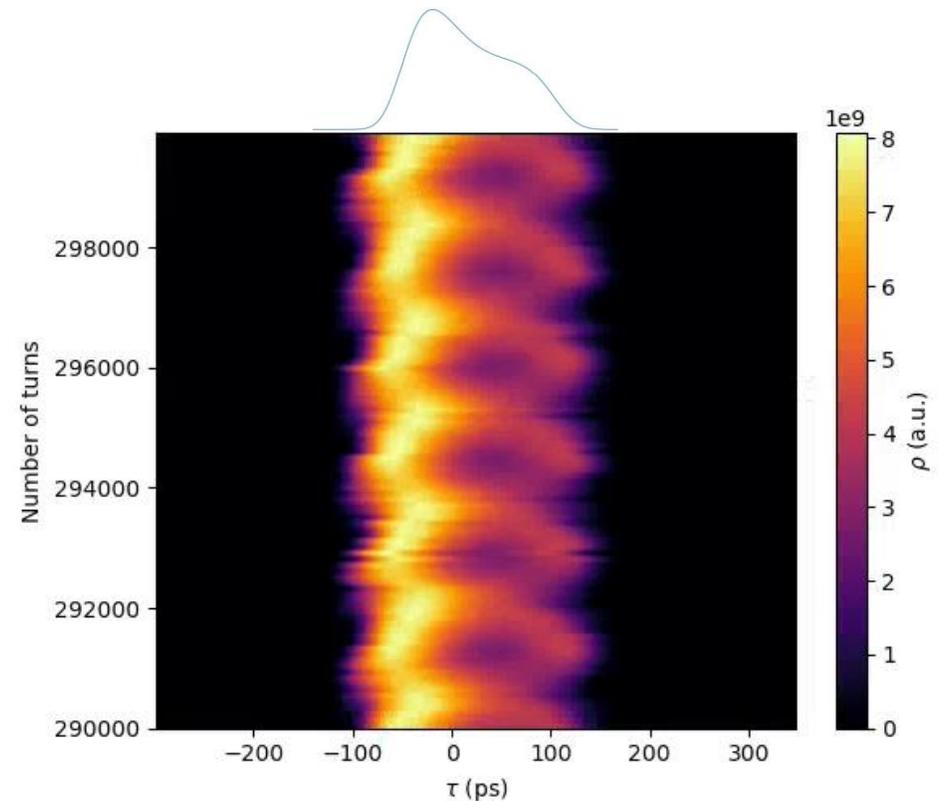
Nouveaux modèles pour la "Periodic Transient Beam Loading Instability" (PTBL)

Nouvel algorithme





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.

Le **feedback RF direct** (DFB) vise à **réduire l'impédance effective R_s** perçue par le faisceau afin de lutter contre les instabilités.

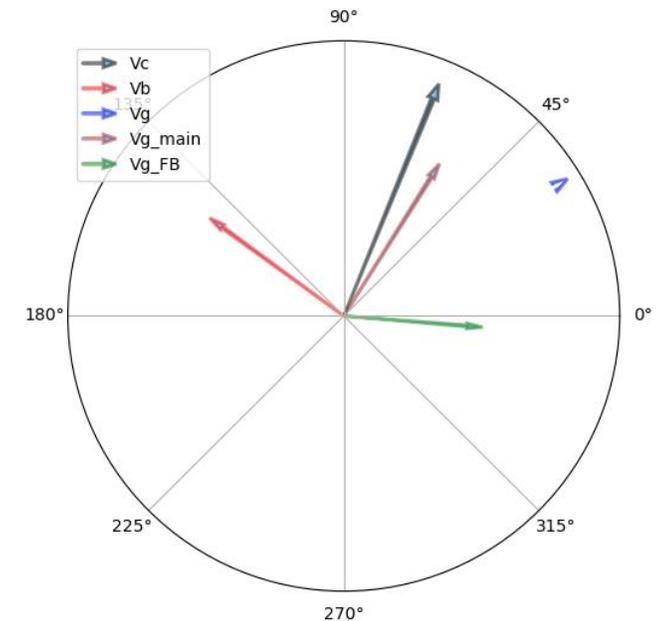
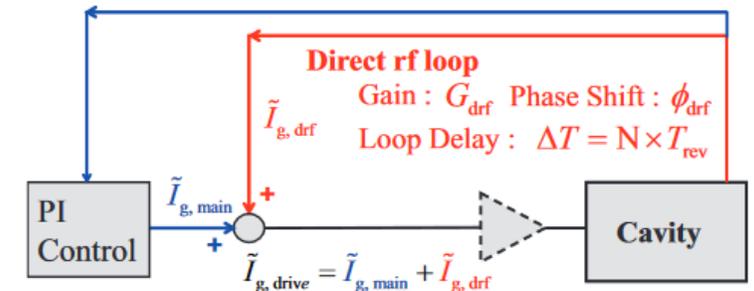
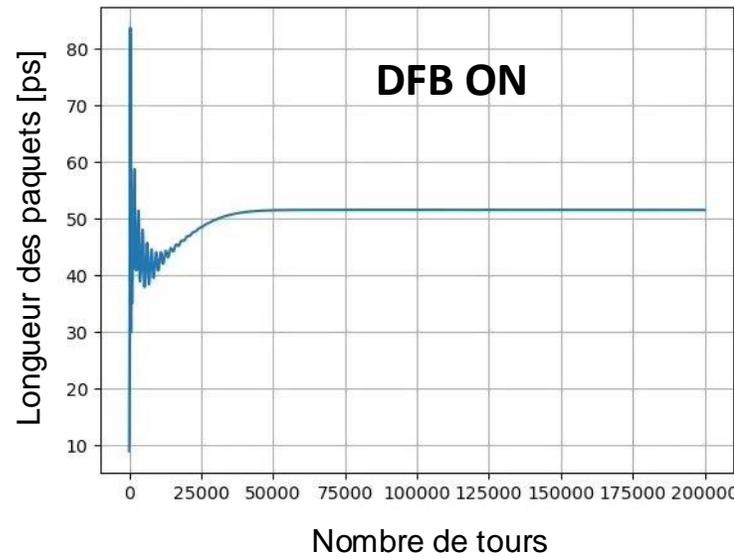
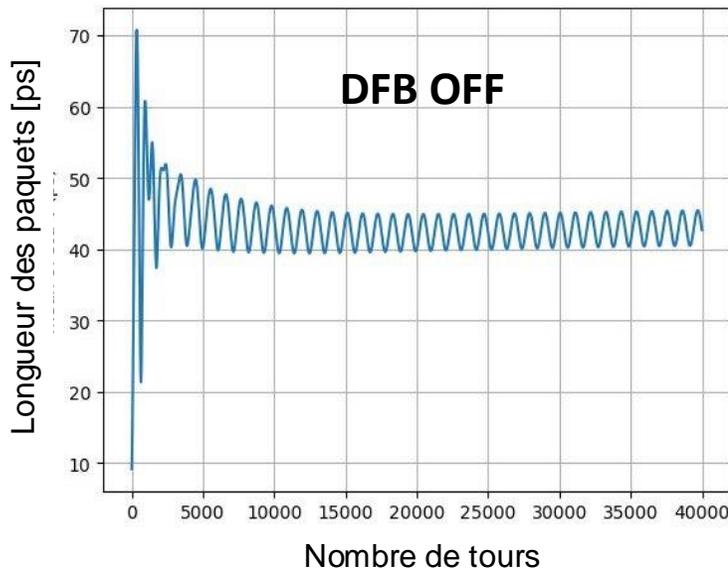
Il fonctionne en induisant une composante tension générateur additionnelle opposée à la contribution induite par le faisceau.

$R_s = 20 \text{ M}\Omega$

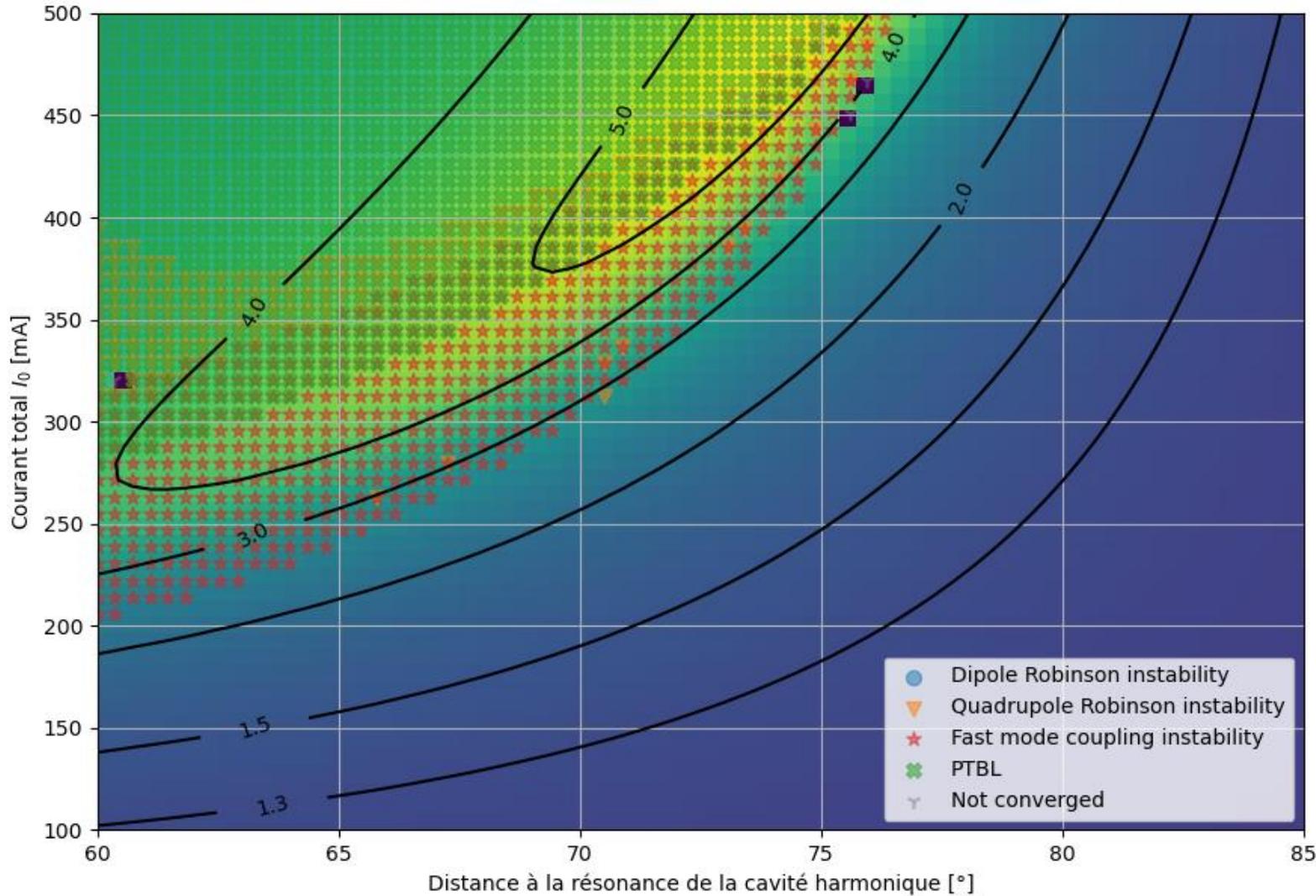


$R_s = 18 \text{ M}\Omega$ for gain = 0.1

$R_s = 9.6 \text{ M}\Omega$ for gain = 0.6



Ce feedback est efficace quand l'instabilité a une force modérée.



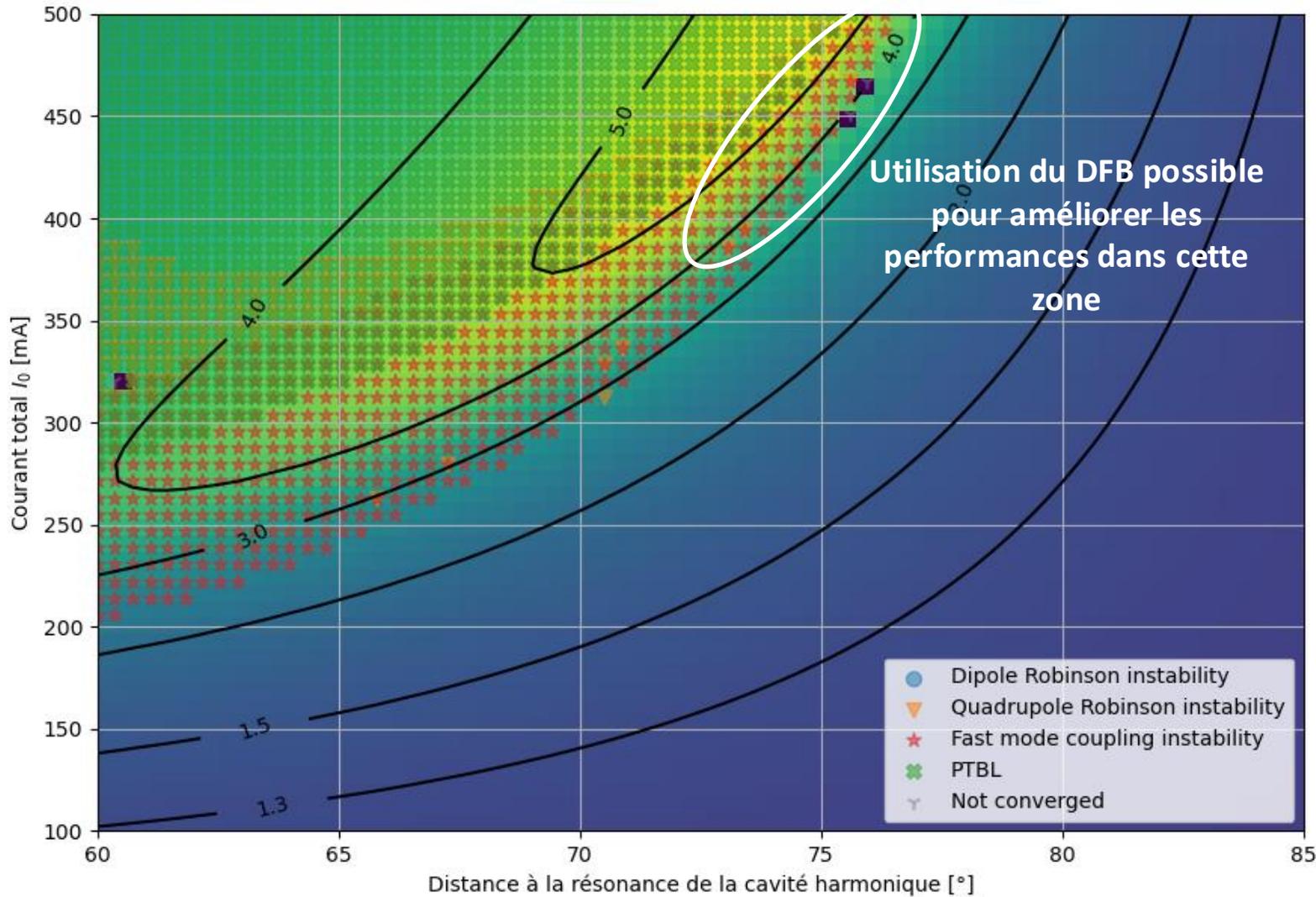
Chaque symbole sur la carte représente un lieu instable dans l'espace des paramètres.

$$\tau = \tau_{\text{Touschek}} \times R$$

Ratio d'augmentation de la durée de vie avec cavité harmonique

1 point sur le graphe :

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



Chaque symbole sur la carte représente un lieu instable dans l'espace des paramètres.

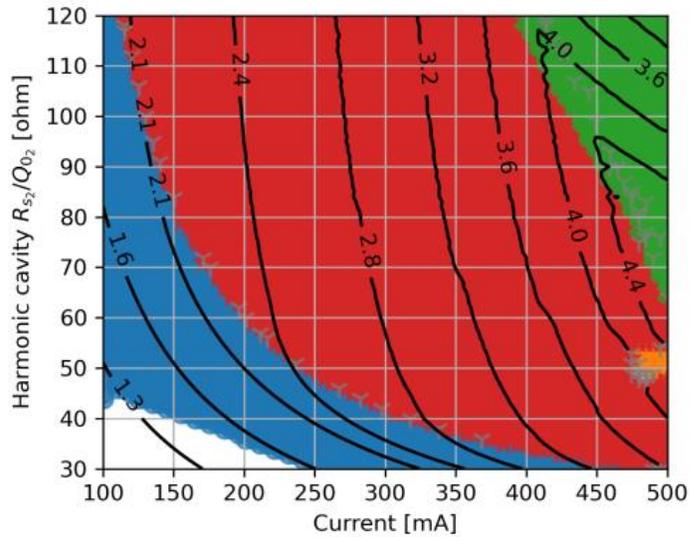
$$\tau = \tau_{\text{Touschek}} \times R$$

Ratio d'augmentation de la durée de vie avec cavité harmonique

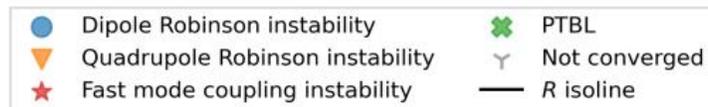
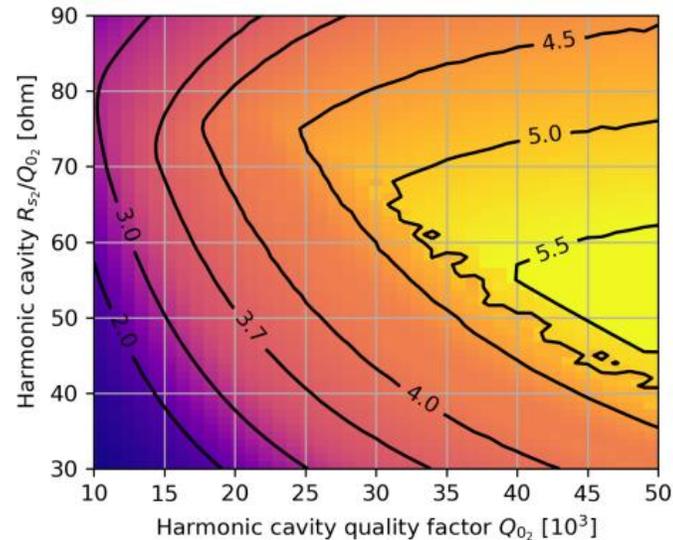
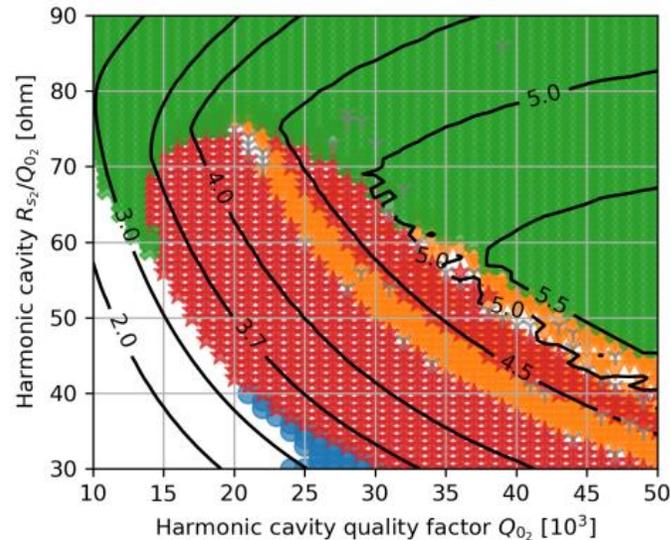
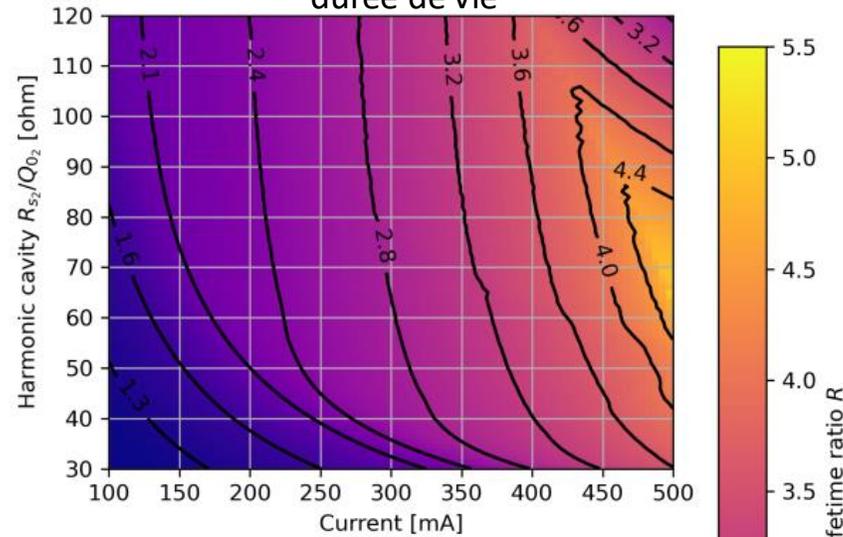
1 point sur le graphe :

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

Instabilités limitantes



Facteur d'augmentation de la durée de vie



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.

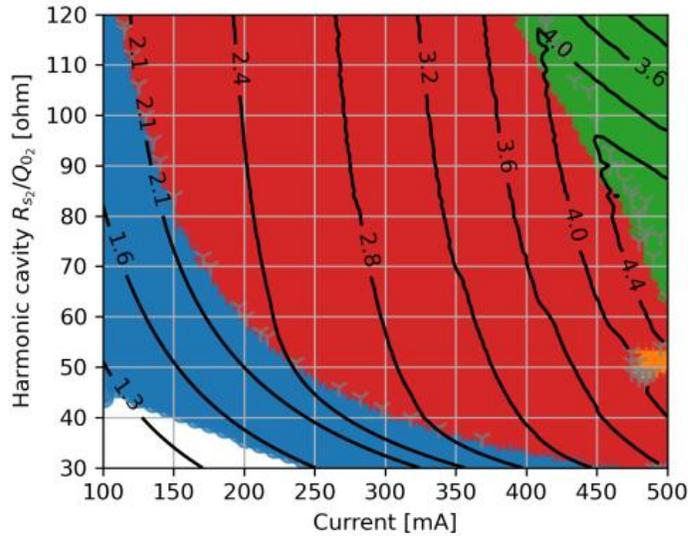
Minimisation de la fonction $f(\psi)$:

- $f(\psi) = -R$ si stable
- $f(\psi) = 10$ sinon

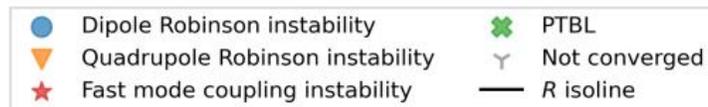
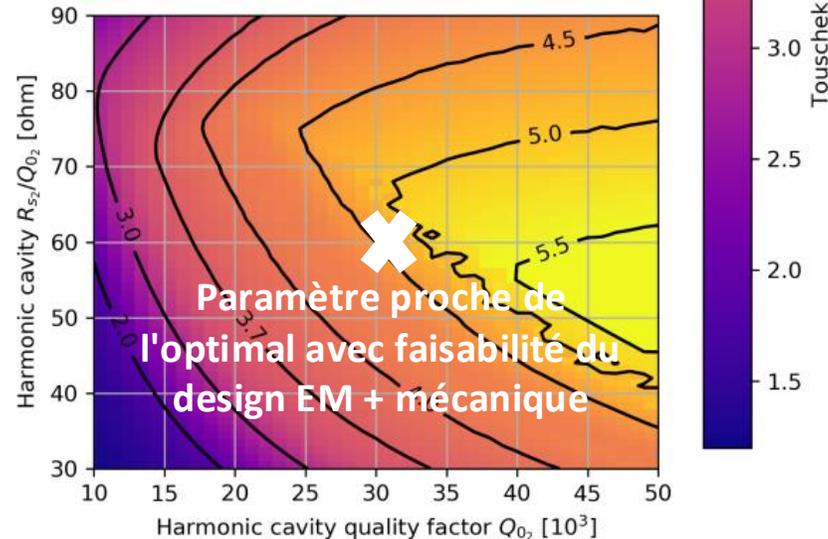
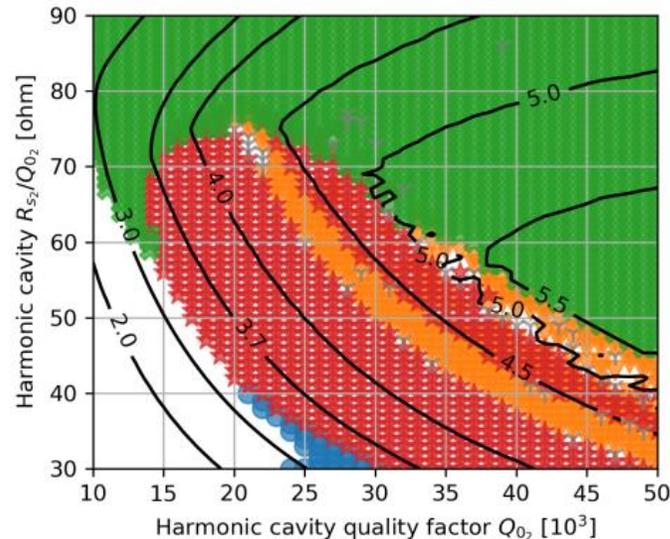
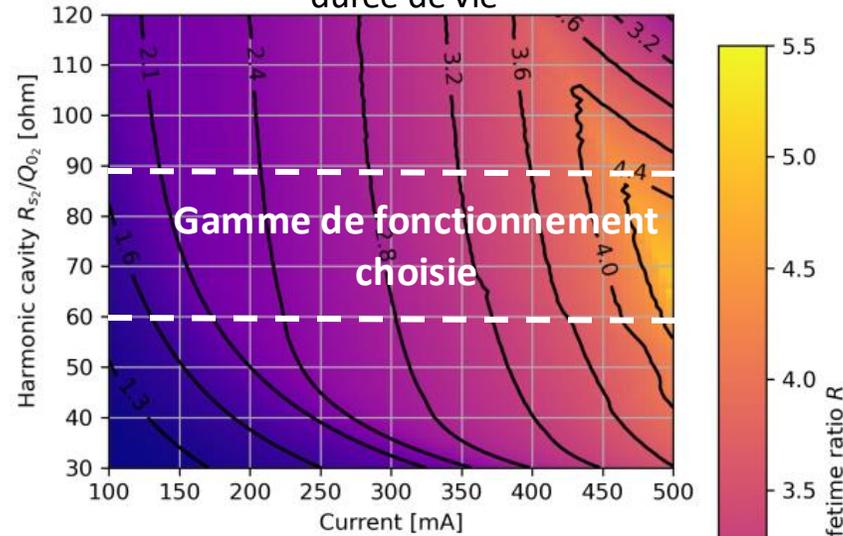
Ce type d'optimisation serait **impossible à réaliser avec du tracking**.

Les simulations servent ici uniquement à valider et affiner les résultats de l'optimum obtenu.

Instabilités limitantes



Facteur d'augmentation de la durée de vie



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.

Minimisation de la fonction $f(\psi)$:

- $f(\psi) = -R$ si stable
- $f(\psi) = 10$ sinon

Ce type d'optimisation serait **impossible à réaliser avec du tracking**.

Les simulations servent ici uniquement à valider et affiner les résultats de l'optimum obtenu.

- Simulations et méthodes analytiques sont très complémentaires quand utilisés ensembles.
 - Simulations (tracking) :
 - Précis
 - Prends en compte beaucoup d'effets ensembles
 - Assez lent, même parallélisé
 - Peut parfois être difficile à interpréter (effet "boite noire")
 - Méthode semi-analytique :
 - Moins précis (limite du modèle)
 - Généralement limité à un seul type d'effet
 - Très rapide
 - Généralement facile à interpréter (on connaît le modèle)
- Des algorithmes, tel que celui de Bosch, peuvent être conçu pour enchaîner plusieurs analyses et se rapprocher des capacités générales d'un code de tracking.
- La rapidité des méthodes semi-analytiques leur permet de très bien se combiner avec des méthodes d'optimisation ou d'apprentissage automatique.

Merci de votre attention



