

Étude des Effets du Couplage Bêtatron sur l'Instabilité Transverse du Faisceau

Watanyu FOOSANG

Étudiant en Doctorat
Groupe Physique des Accélérateurs
Synchrotron SOLEIL



Dans les sources de lumière synchrotron de la 4^e génération, la très petite taille du faisceau d'électrons fait que la durée de vie du faisceau est un paramètre critique.

Pour augmenter la durée de vie, une possibilité est d'obtenir un faisceau rond ($\varepsilon_x = \varepsilon_y$).

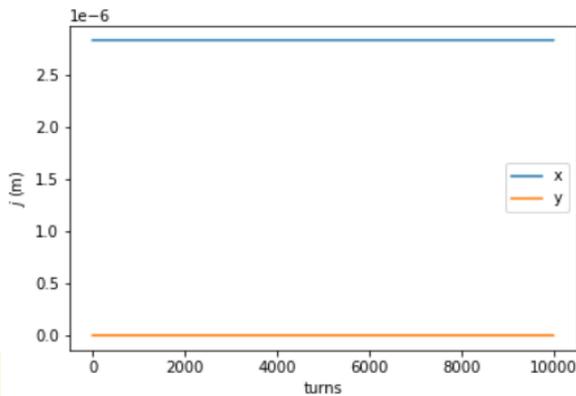
Ce faisceau rond peut être obtenu lorsqu'on a 100% de couplage bêta entre les deux plans transverses.

On s'intéresse ici aux effets du couplage sur les effets collectifs et sur les instabilités transverses.

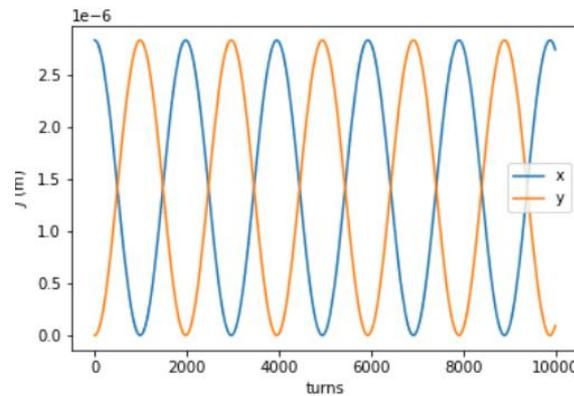
- Le couplage bêtatron (couplage en bref) fait référence à la situation lorsque les dynamiques des plans transverses d'une particule sont dépendantes les unes des autres.
- Il peut être introduit dans un synchrotron en utilisant des aimants type quadrupôle tourné.
- Une conséquence du couplage peut être observée via un changement d'action (constant du mouvement) d'un plan vers l'autre.
- Une manière d'atteindre 100% de couplage est de fonctionner sur la résonance de couplage ($\nu_x = \nu_y$).
- Quand on a 100% couplage et on considère un ensemble de particules, on obtient une même émittance dans les deux plans.

Invariant de Courant-Snyder (action) d'une particule

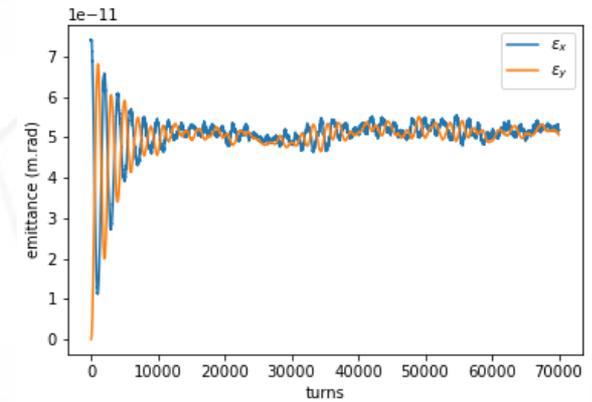
Émittance du faisceau avec 100% couplage



Sans couplage

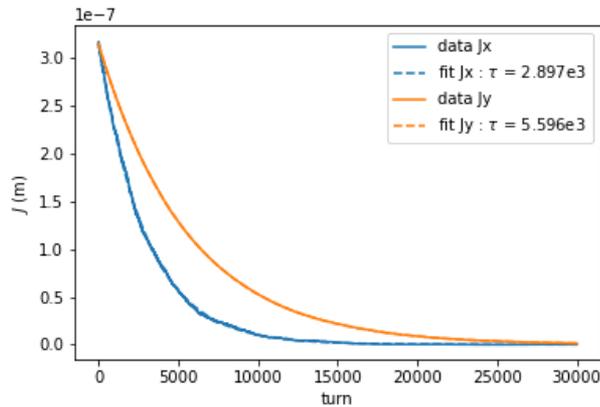


100% couplage

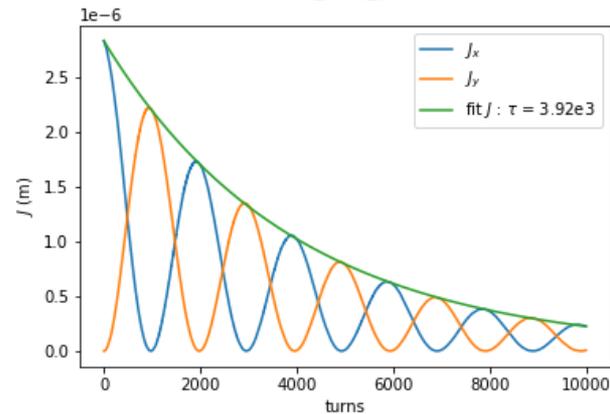


- Une autre conséquence du couplage est un partage du temps d'amortissement du rayonnement synchrotron.

Invariant de Courant-Snyder (action) d'une particule



Sans couplage

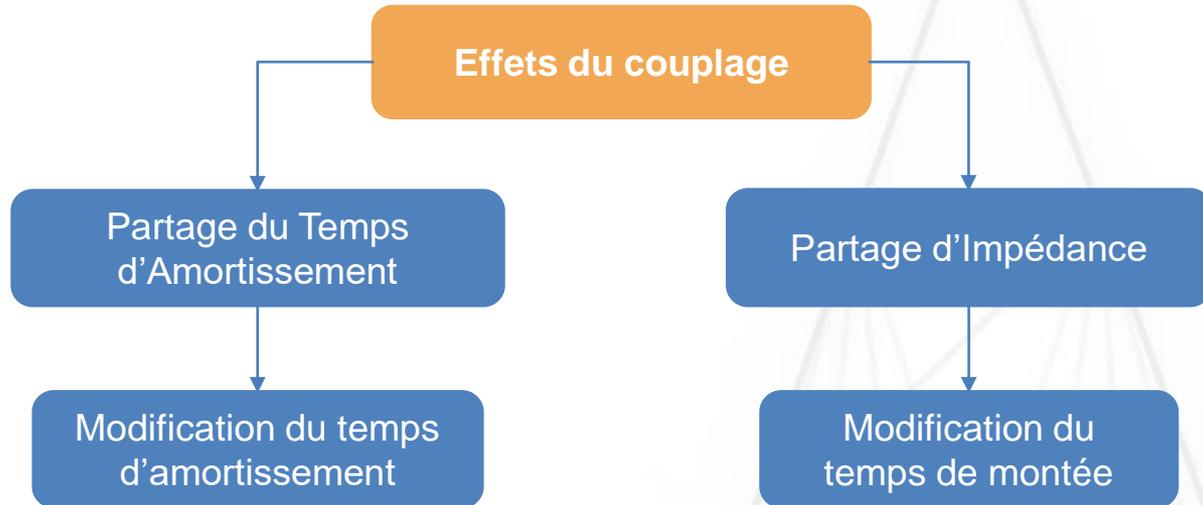


100% couplage

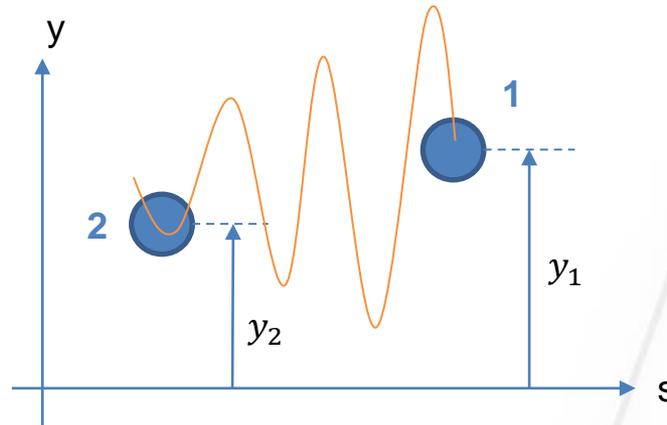
On pourrait donc dire que le couplage mélange certaines quantités entre les deux plans transverses.

Un seuil d'instabilité, c'est quand :

$$\text{Temps de montée (d'une instabilité)} = \text{Temps d'amortissement (d'une stabilité)}$$



Le modèle de deux particules

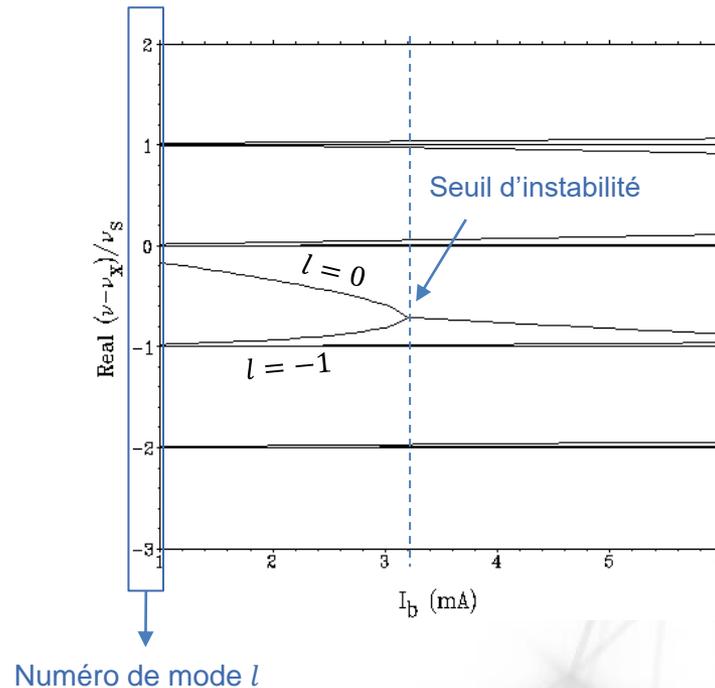


- La particule à la tête du paquet (particule 1) génère un champ de sillage, qui vient d'une force électromagnétique, en exécutant une oscillation bêta libre.
- La particule à la queue (particule 2) reçoit ce champ de sillage et son mouvement est entraîné par la force exercée par le champ en plus de son oscillation bêta libre.
- L'amplitude d'oscillation de la queue dépend du courant du paquet. Quand le courant est assez haut, l'oscillation est trop grande et le faisceau devient instable.

L'Instabilité Transversale

Transverse mode-coupling Instability (TMCI) (Chromaticité = 0)

Décalage du nombre d'onde bêatron en fonction du courant

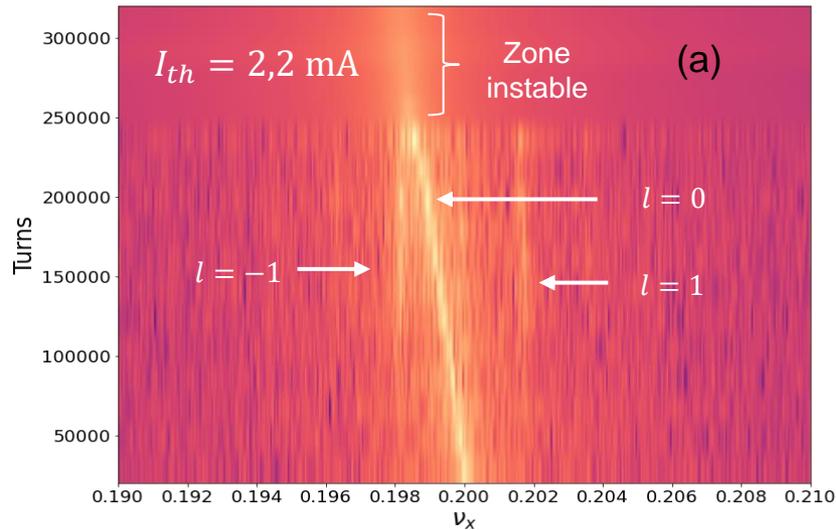


L'instabilité émerge lorsque deux modes se croisent.

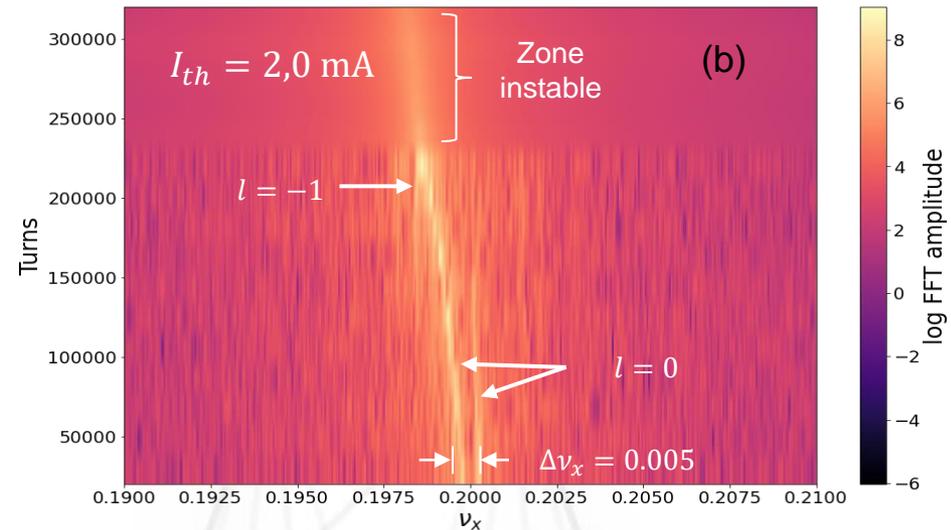
TMCI

Évolution du nombre d'onde horizontal en fonction du courant *

Sans couplage



Avec 100% couplage



- Les modes $l = 0, \pm 1$ sont clairement visibles.
- On voit bien ici que le croisement des modes 0 et -1 provoque l'instabilité.

- Le nombre d'onde (mode 0) est décalé vers les nombres d'ondes inférieures car les deux nombres d'ondes H et V ne peuvent pas se superposer (distance minimale d'approche)
- Le seuil se réduit à cause d'une plus courte distance entre le mode -1 et le mode 0 qui est décalé à gauche.

* Le courant a été augmenté par 0,2 mA tous les 20 000 tours

Conclusion

- Le couplage peut mélanger certaines quantités entre les deux plans transverses. Quand on est sur le point 100% couplage, les résultats sont la moyenne des deux quantités correspondantes.
- Pour TMCI, le seuil diminue quand on a 100% couplage à cause du décalage du nombre d'onde du mode 0. En outre, on observe que les modes -1 et 0 sont responsables de l'instabilité.
- Pour l'instabilité head-tail, le couplage donne en général un effet bénéfique, c'est-à-dire que le seuil est augmenté par les effets du rayonnement, du partage d'impédance, et du partage du temps d'amortissement.

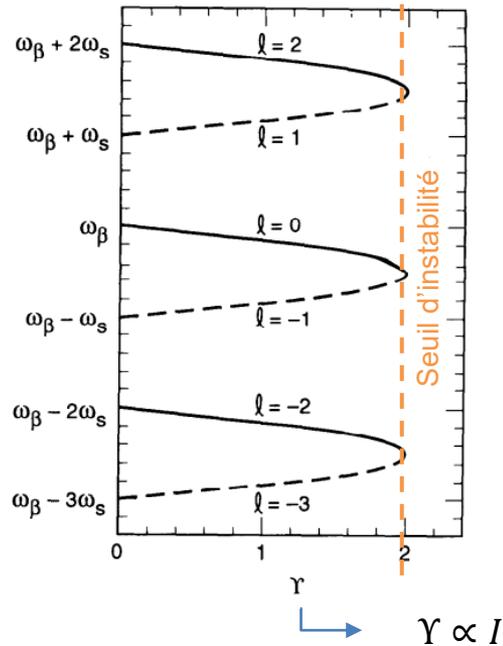
Back up slides



Transverse mode-coupling Instability (TMCI)

Chromaticité = 0

Décalage de la **fréquence bêta**tron en fonction du **paramètre de courant**



Ce sont les fréquences qui peuvent être mesurées par un BPM :

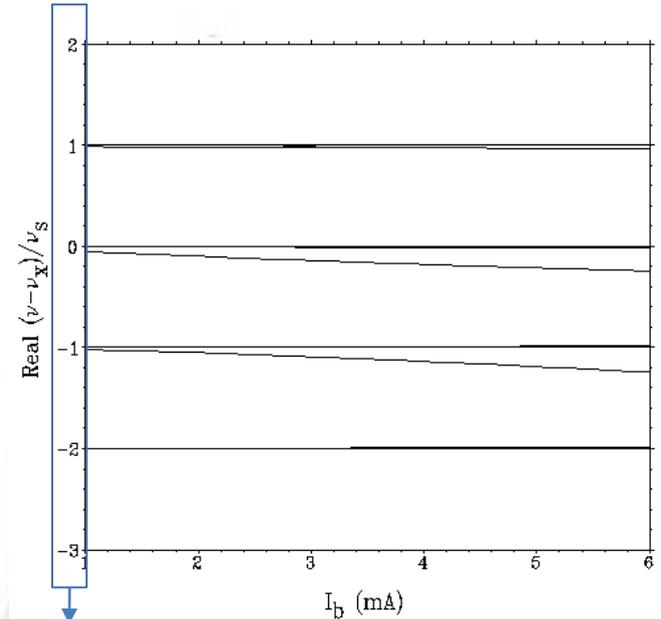
- + mode** : $\omega_\beta + l\omega_s - \frac{\phi}{2\pi}\omega_s$, l pair
- mode** : $\omega_\beta + l\omega_s + \frac{\phi}{2\pi}\omega_s$, l impair

L'instabilité émerge lorsque deux modes se croisent.

Head-Tail Instability (HTI)

Chromaticité > 0

Décalage du **nombre d'onde bêta**tron en fonction du **courant**



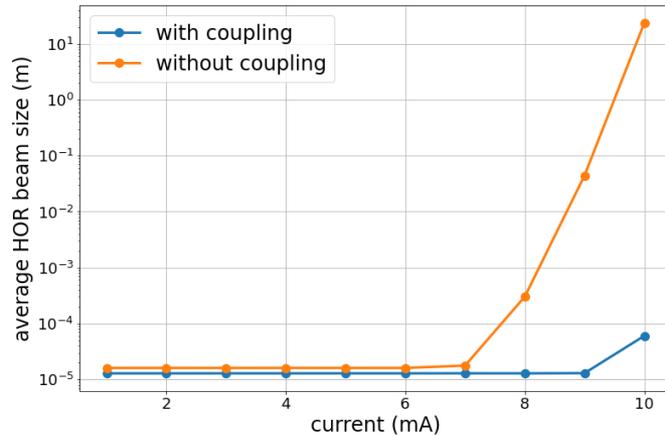
Numéro de mode l

Cette instabilité est faible. Le décalage est donc lent par rapport à la TMCI, mais il augmente progressivement depuis le début sans avoir à franchir un seuil.

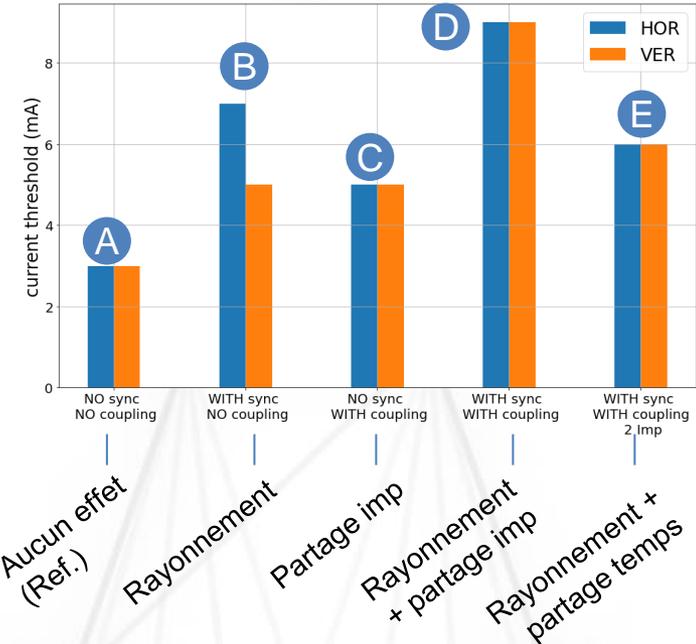
Ce type d'instabilité émerge quand son temps de montée est inférieur au temps d'amortissement du rayonnement synchrotron.

HTI

Taille moyenne du faisceau en fonction du courant



Seuil de l'instabilité en fonction de plusieurs paramètres



- Globalement, le seuil de HTI est augmenté lorsque le couplage est présent.

- Le rayonnement synchrotron, le partage d'impédance, et le partage de temps d'amortissement participent tous à augmenter le seuil.