

PALLAS une ligne de test pour l'accélération laser-plasma

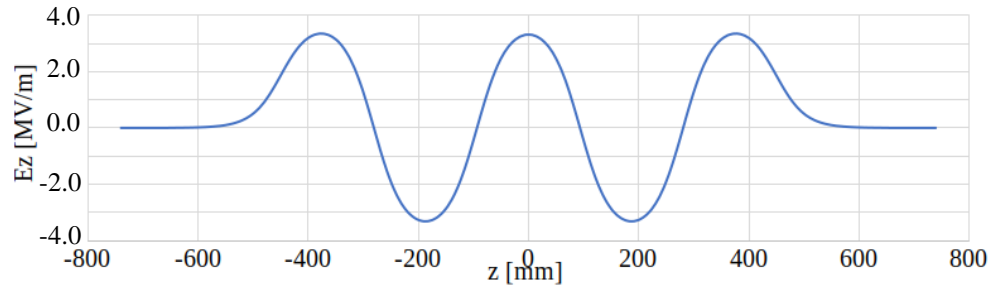
Coline Guyot (Doctorante – début de 3^{ème} année)

cguyot@ijclab.in2p3.fr

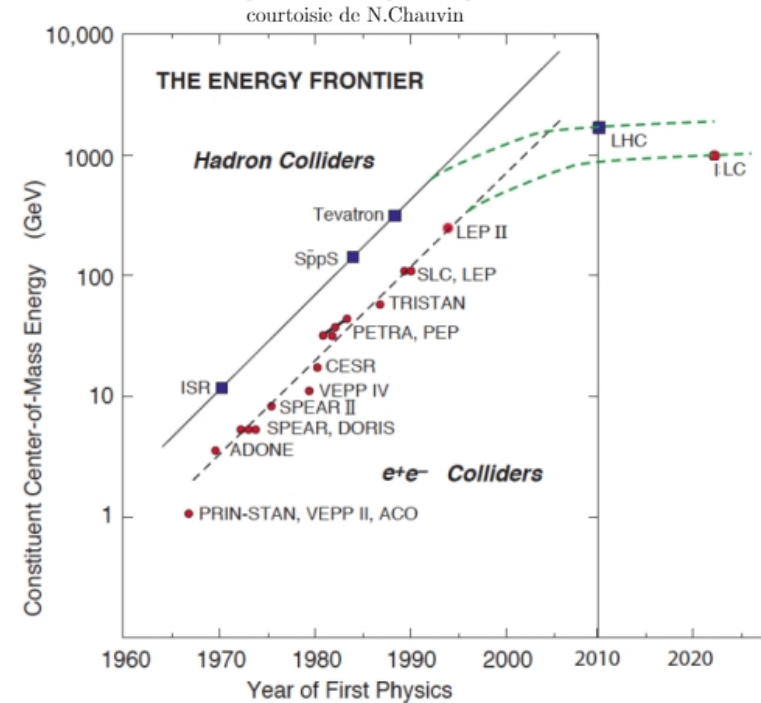
Supervision: Christelle Bruni

Cavités Radio-Fréquence

Profil du champ électrique d'une cavité RF

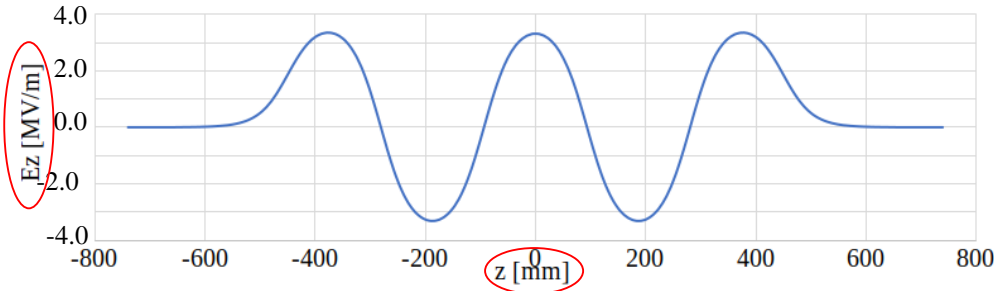


- avec encore de nouveaux développements
- fiable et bien maîtrisée



Cavités Radio-Fréquence

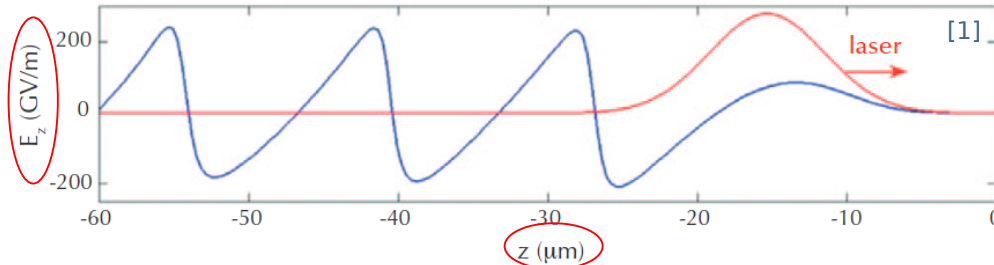
Profil du champ électrique d'une cavité RF



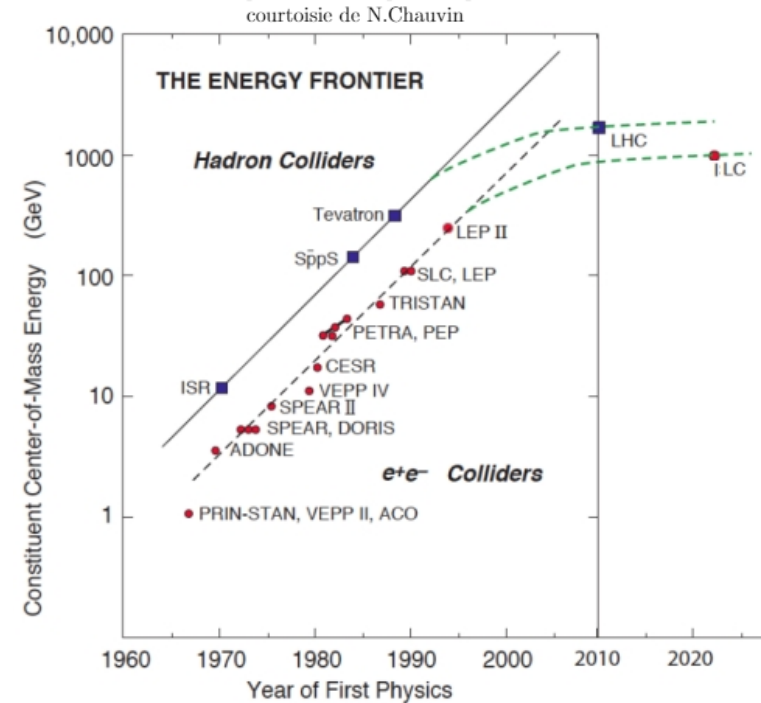
- avec encore de nouveaux développements
 - fiable et bien maîtrisée
- Limitation ~ 100 MV/m \rightarrow un problème de taille?

Accélération Laser-Plasma

Profil du champ électrique d'une onde plasma dans le sillage de l'impulsion laser



\rightarrow jusqu'à 100 GV/m



de nombreux défis

\rightarrow accélération \neq accélérateurs

PALLAS = Ligne Compacte de test pour Injecteur Laser-Plasma
pour des faisceaux d'électrons



Axes de Recherche Principaux

- Contrôle Laser Avancé
- Cible Plasma
- Ligne de Capture et
Caractérisation d'électrons

	Unité	Paramètre Ciblé	Gamme
Charge	pC	≥ 30	5 - 150 pC
Energie	MeV	200	150 - 250
Dispersion Energie	%	≤ 5	≤ 10
Divergence	mrad	≤ 1	≤ 6

PALLAS = Ligne Compacte de test pour Injecteur Laser-Plasma pour des faisceaux d'électrons



Axes de Recherche Principaux

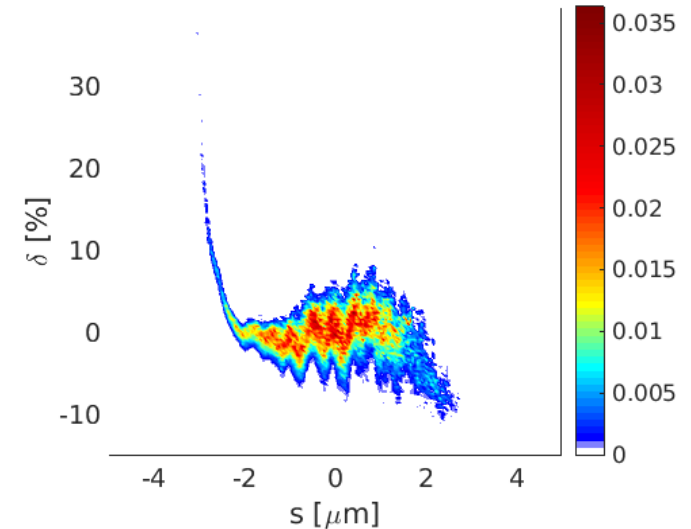
- Contrôle Laser Avancé
- Cible Plasma
- Ligne de Capture et Caractérisation d'électrons



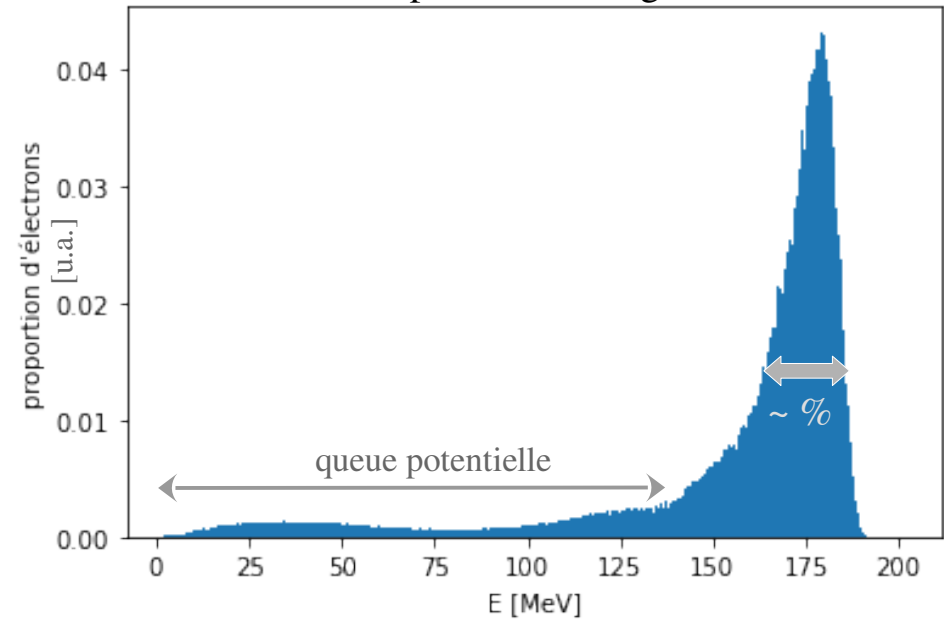
Simulations d'accélération Laser-Plasma [2] avec Smilei [3] *'Particle_in_Cell' (PIC)*

Sorties = Inputs: **Simulations 'Start-to-End'**
→ Corrélations et Non-Linearités

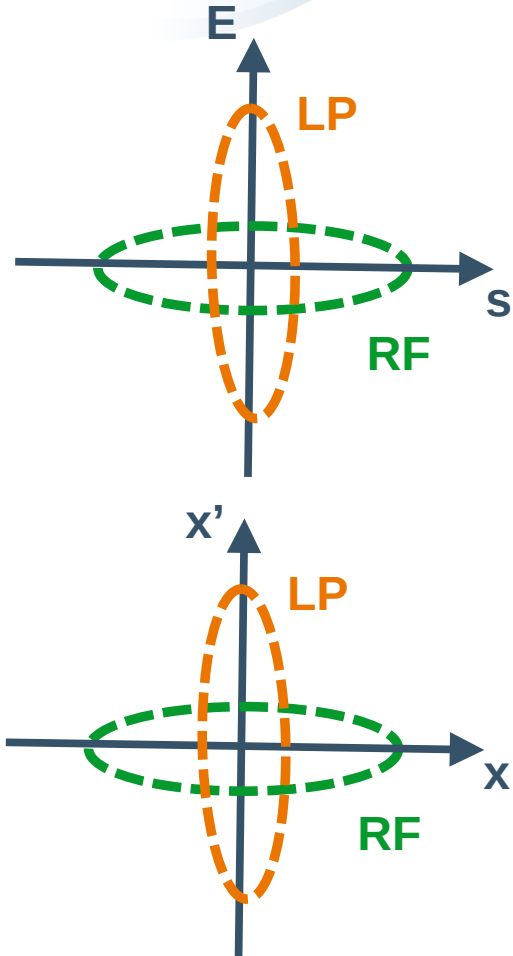
	Unité	Paramètre Ciblé	Gamme
Charge	pC	≥ 30	5 - 150 pC
Energie	MeV	200	150 - 250
Dispersion Energie	%	≤ 5	≤ 10
Divergence	mrad	≤ 1	≤ 6



Spectre en Énergie

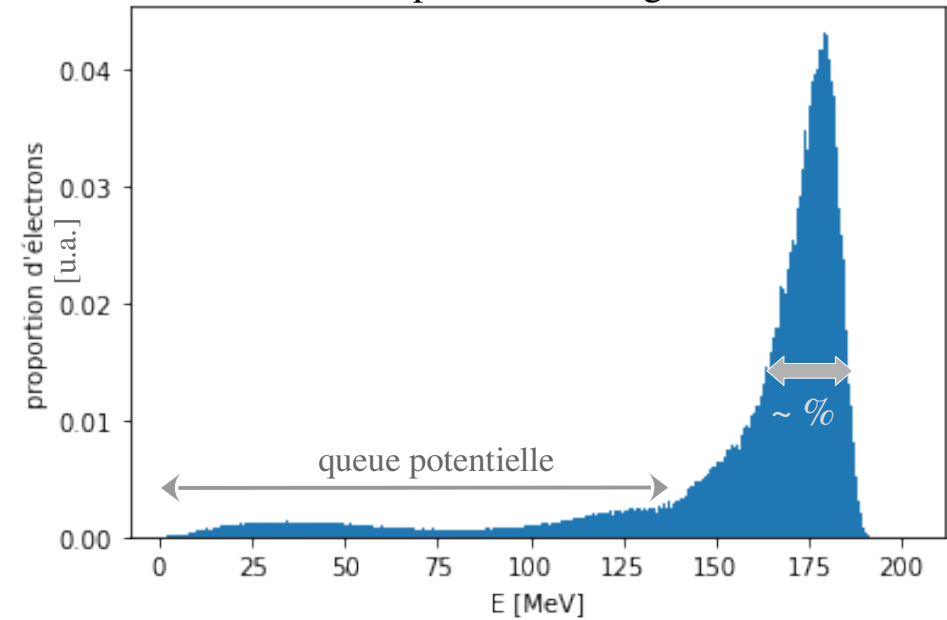


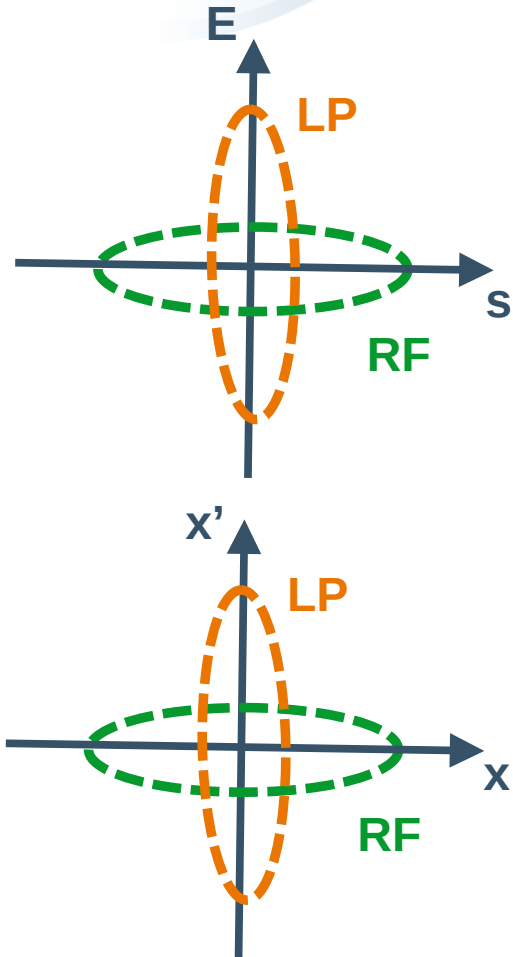
- Ultra-Courts :
 $\sim 1\text{s} - 10\text{ de fs}$ ($\text{RF} \geq \text{ps}$)
- Forte Dispersion en Énergie :
 $\sim \text{quelques } \%$ ($\text{RF} \sim 0.1\text{s } \%$)
- Charges: $\sim 10 - 100\text{s pC}$



- Ultra-Courts :
~ 1s - 10 de fs ($RF \geq ps$)
- Forte Dispersion en Energie :
~ quelques % ($RF \sim 0.1s \%$)
- Charges: ~ 10 - 100s pC
- Petite Taille Transverse :
~ quelques microns ($RF \geq mm$)
- Forte Divergence :
~ quelques mrad ($RF \sim 0.1s mrad$)

Spectre en Énergie

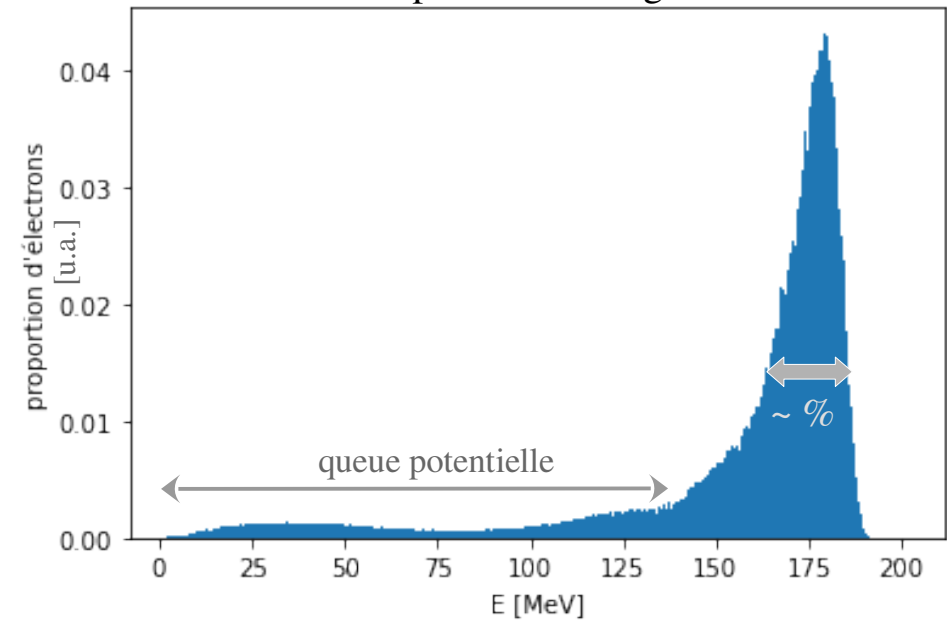




- Ultra-Courts :
~ 1s - 10 de fs ($RF \geq ps$)
- Forte Dispersion en Energie :
~ quelques % ($RF \sim 0.1s \%$)
- Charges: ~ 10 - 100s pC

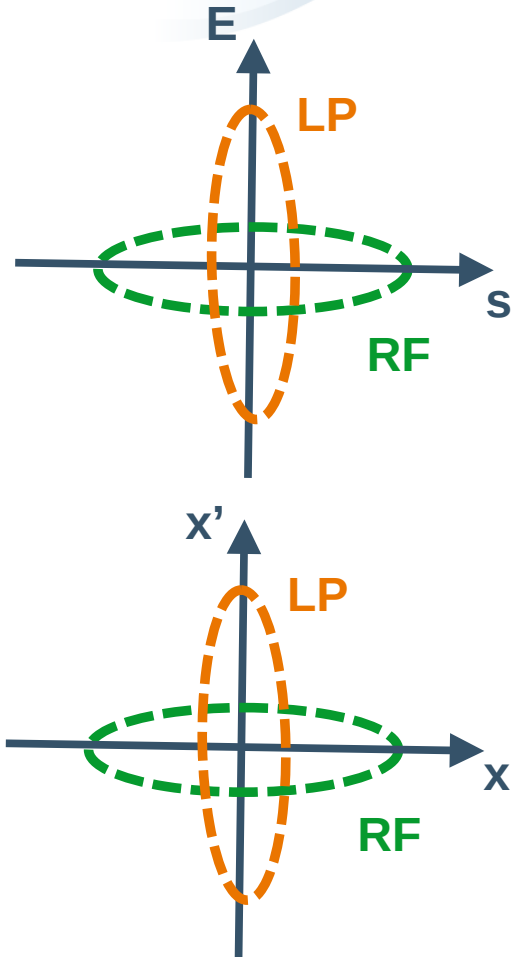
- Petite Taille Transverse :
~ quelques microns ($RF \geq mm$)
- Forte Divergence :
~ quelques mrad ($RF \sim 0.1s mrad$)

Spectre en Énergie



Tracking

- Vérification validité pour effets hors-axes et off-momentum importants (cf. Comparaison CODAL avec TraceWin [4])
- Vérification validité pour paquets courts / à fort courant crête

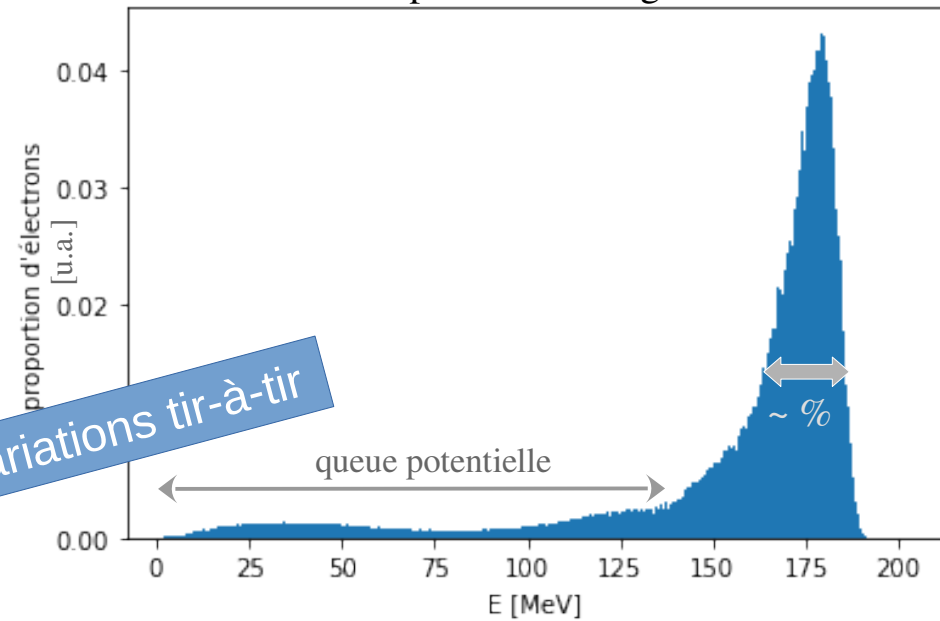


- Ultra-Courts :
~ 1s - 10 de fs ($RF \geq ps$)
- Forte Dispersion en Energie :
~ quelques % ($RF \sim 0.1s \%$)
- Charges: ~ 10 - 100

Problème de Stabilité : Variations tir-à-tir

- Petite Taille Transverse :
~ quelques microns ($RF \geq mm$)
- Forte Divergence :
~ quelques mrad ($RF \sim 0.1s \text{ mrad}$)

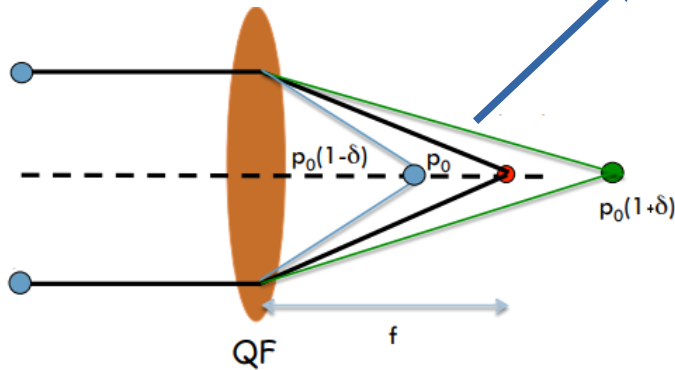
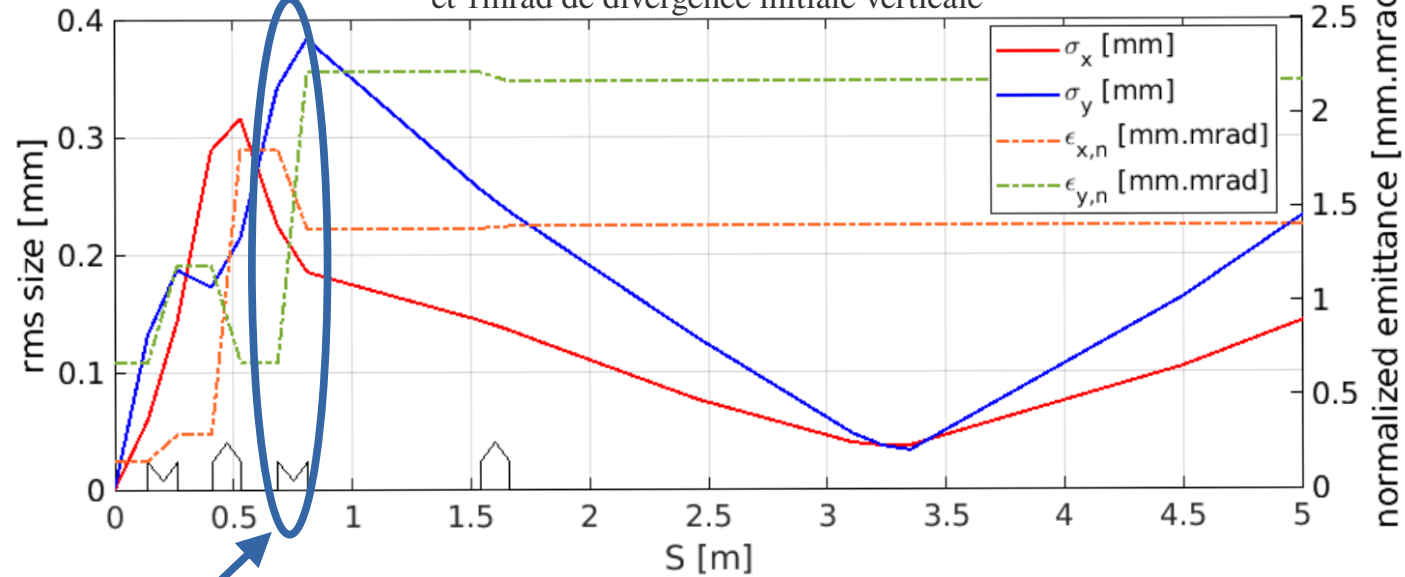
Spectre en Énergie



Tracking

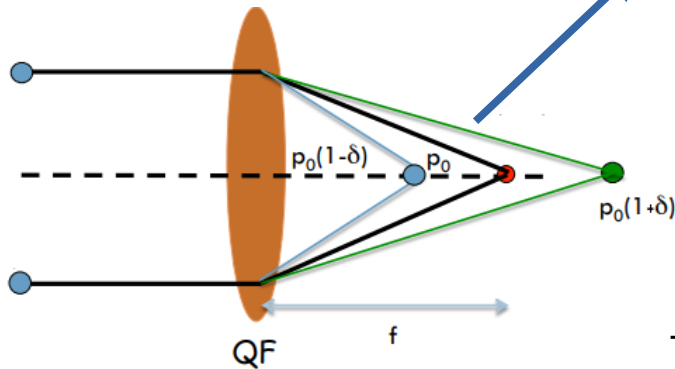
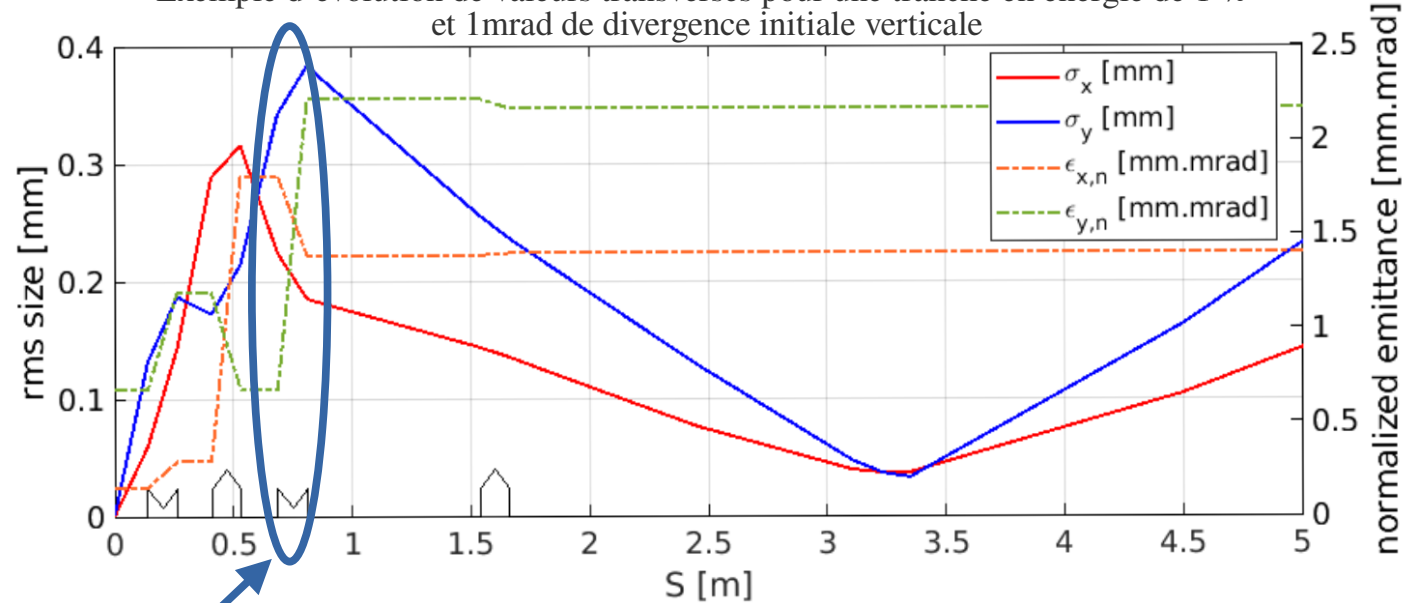
- Vérification validité pour effets hors-axes et off-momentum importants (cf. Comparaison CODAL avec TraceWin [4])
- Vérification validité pour paquets courts / à fort courant crête

Exemple d'évolution de valeurs transverses pour une tranche en énergie de 1 % et 1mrad de divergence initiale verticale



forte **dispersion en énergie** :
 ~ quelques % (RF ~ 0.1s %)
 → **effets chromatiques importants**

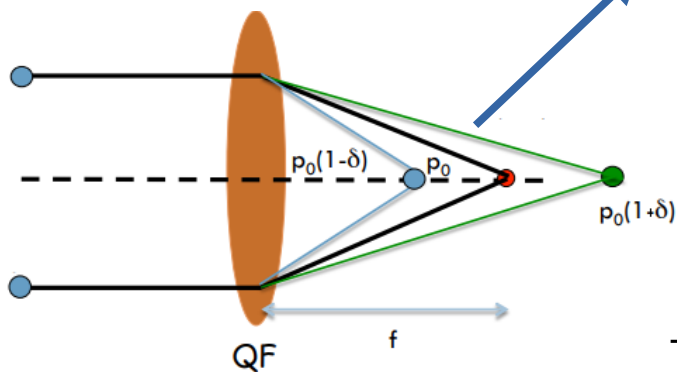
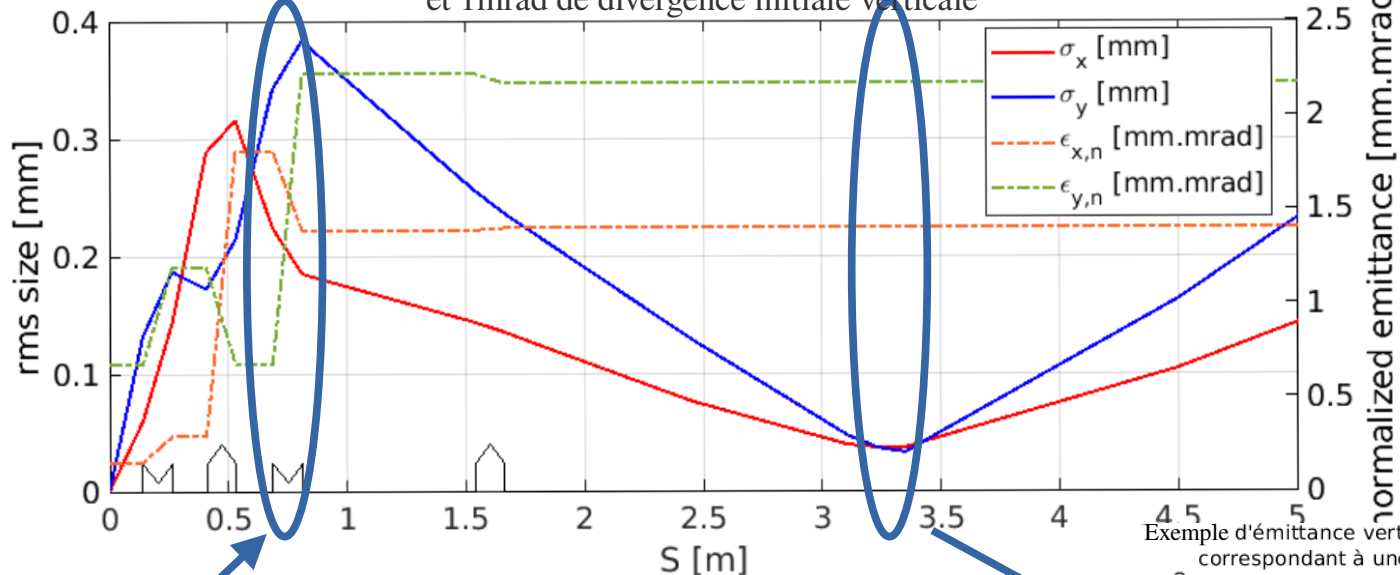
Exemple d'évolution de valeurs transverses pour une tranche en énergie de 1 %
et 1mrad de divergence initiale verticale



forte **dispersion en énergie** :
~ quelques % (RF ~ 0.1s %)
→ **effets chromatiques** importants

+ forte **divergence** initiale
→ **effets hors-axe**
→ **amplification** des effets chromatiques

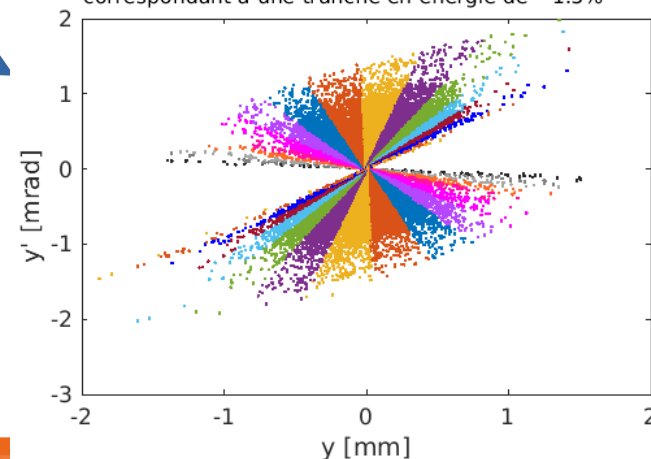
Exemple d'évolution de valeurs transverses pour une tranche en énergie de 1 %
et 1mrad de divergence initiale verticale



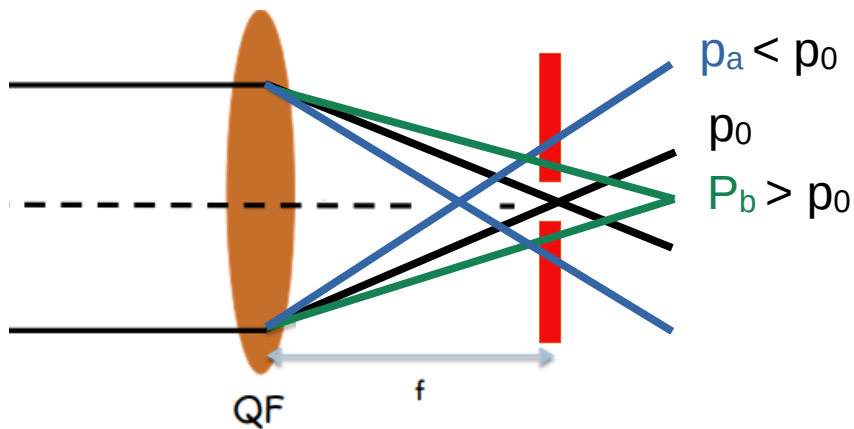
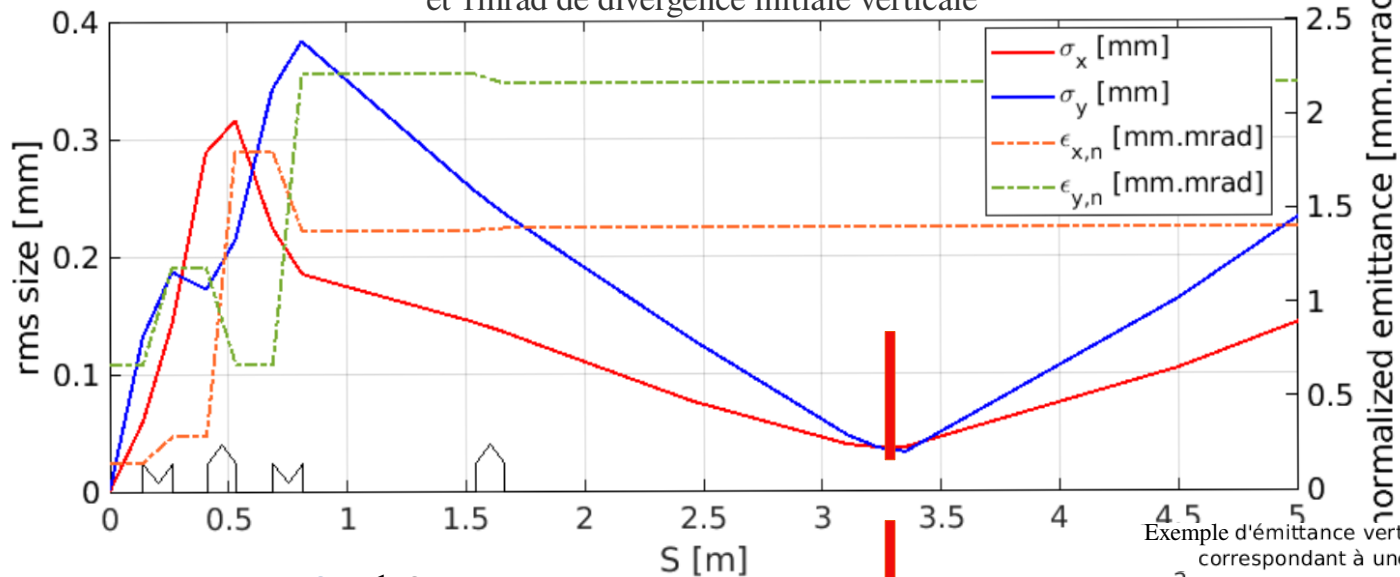
forte **dispersion en énergie** :
~ quelques % (RF ~ 0.1s %)
→ **effets chromatiques importants**

+ forte **divergence initiale**
→ **effets hors-axe**
→ **amplification des effets chromatiques**

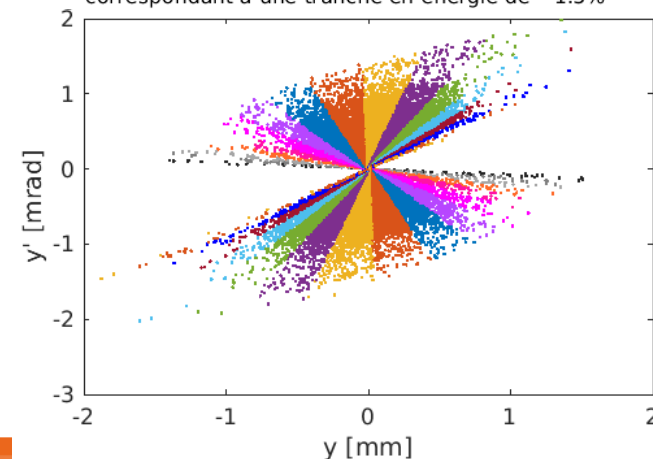
Exemple d'émission verticale au point focal. Chaque couleur correspondant à une tranche en énergie de ~1.5%



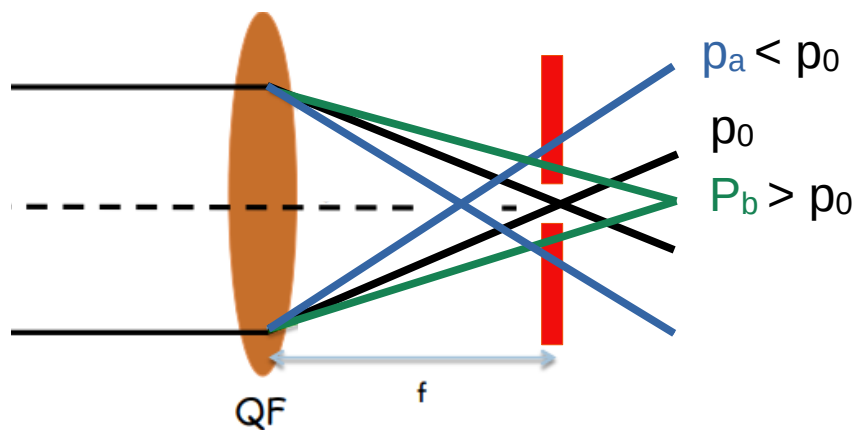
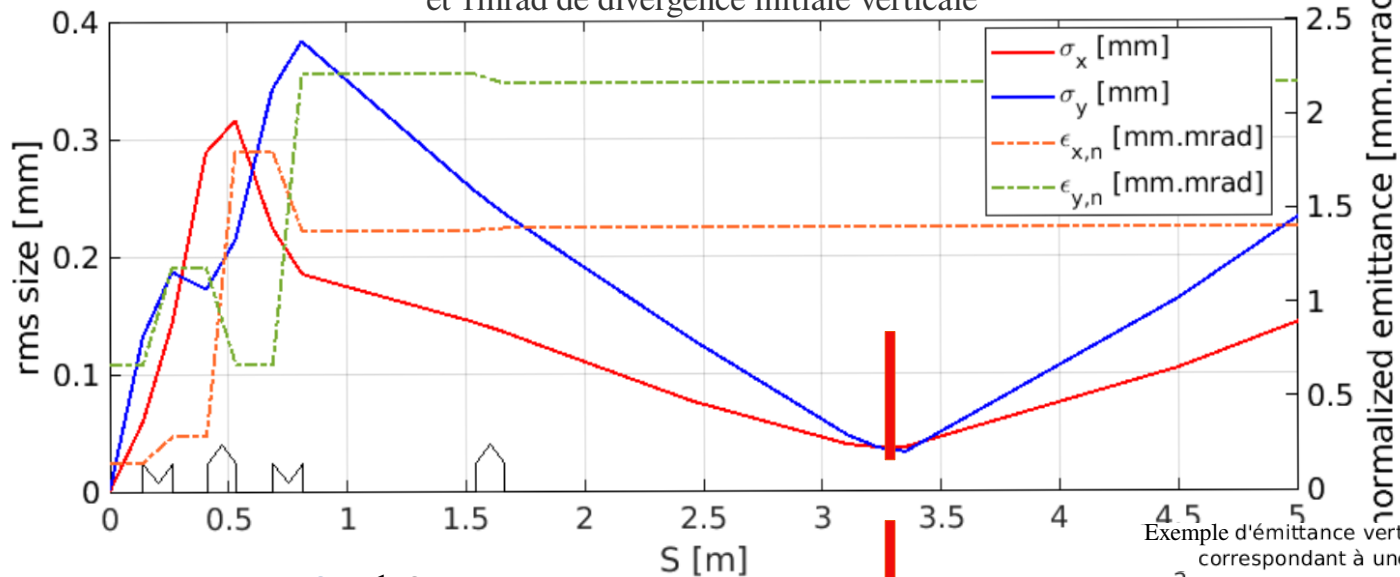
Exemple d'évolution de valeurs transverses pour une tranche en énergie de 1 %
 et 1mrad de divergence initiale verticale



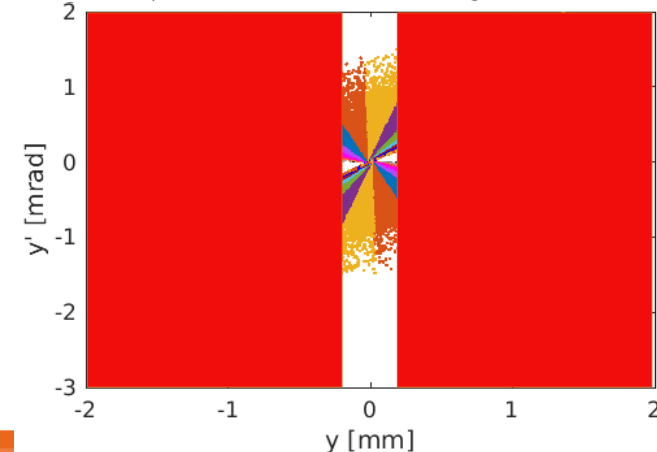
Exemple d'émission verticale au point focal. Chaque couleur correspondant à une tranche en énergie de ~1.5%



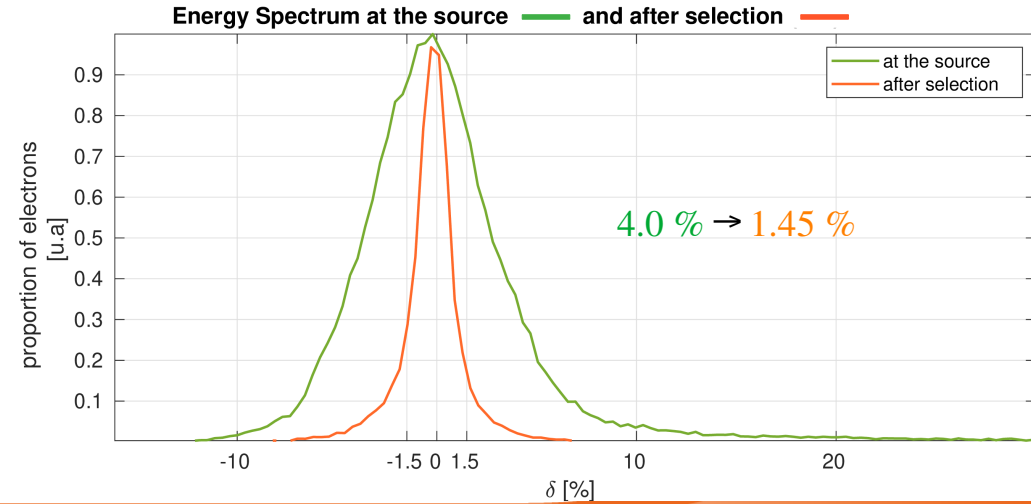
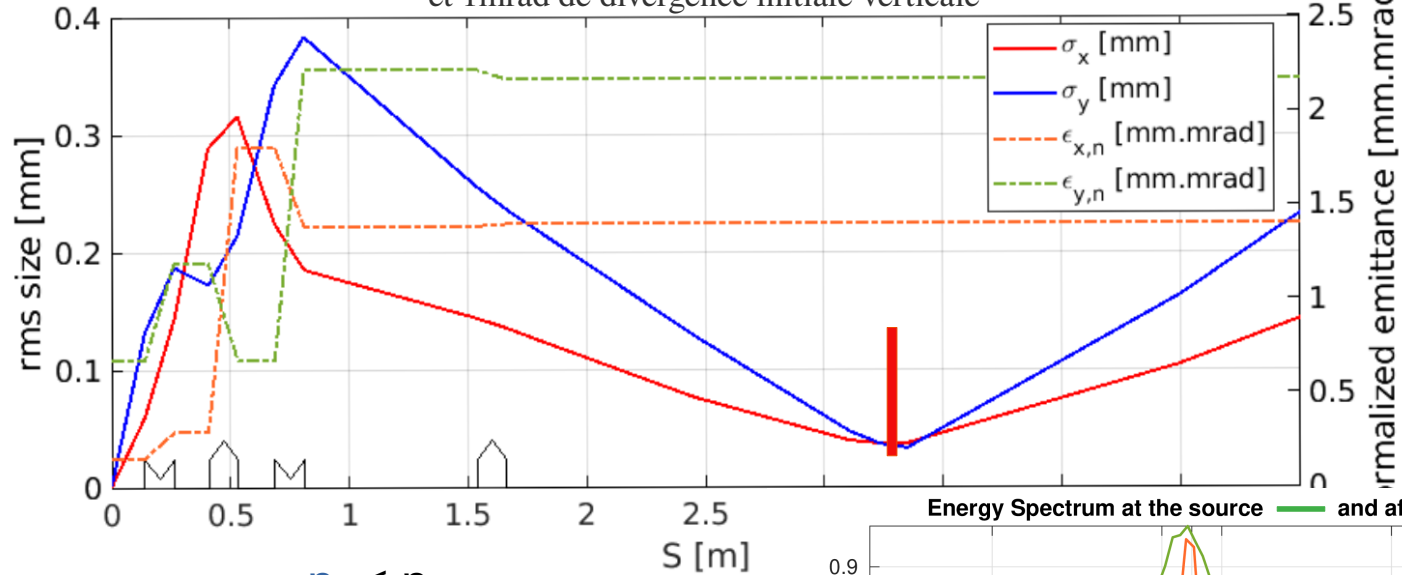
Exemple d'évolution de valeurs transverses pour une tranche en énergie de 1 % et 1mrad de divergence initiale verticale



Exemple d'émission verticale au point focal. Chaque couleur correspondant à une tranche en énergie de ~1.5%



Exemple d'évolution de valeurs transverses pour une tranche en énergie de 1 %
 et 1mrad de divergence initiale verticale

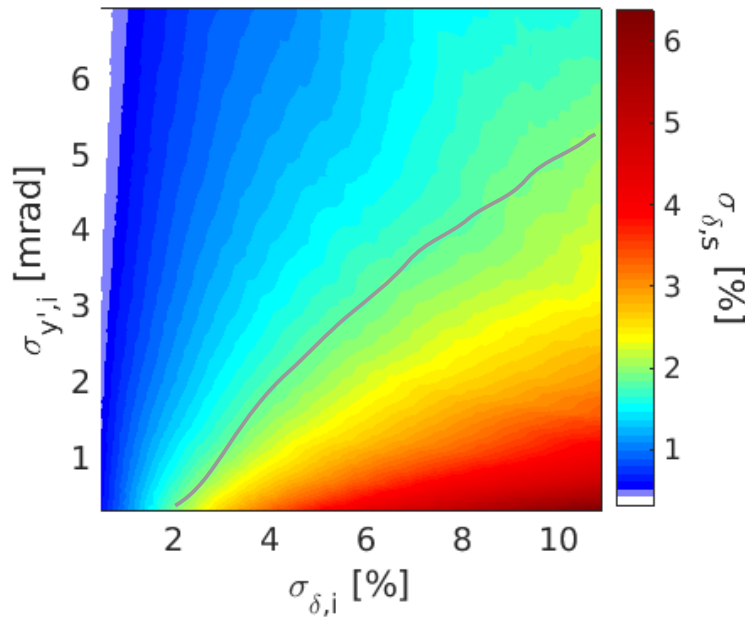


Sélection en énergie
 → perte de charge

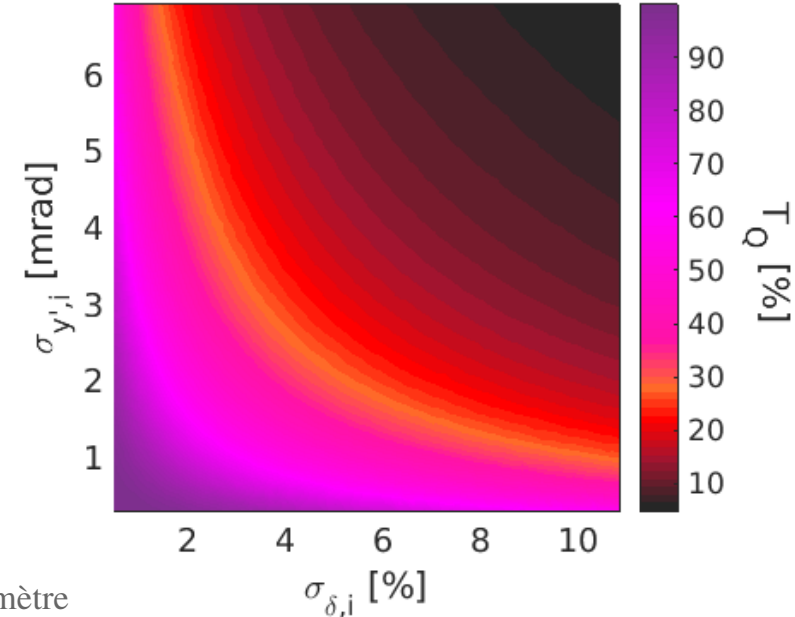
→ Objectif :
 1-2 % dispersion en énergie

→ Objectif :
 > dizaine(s) pC

Simulated selected energy spread [%] according to the initial energy spread [%] and divergence [mrad]



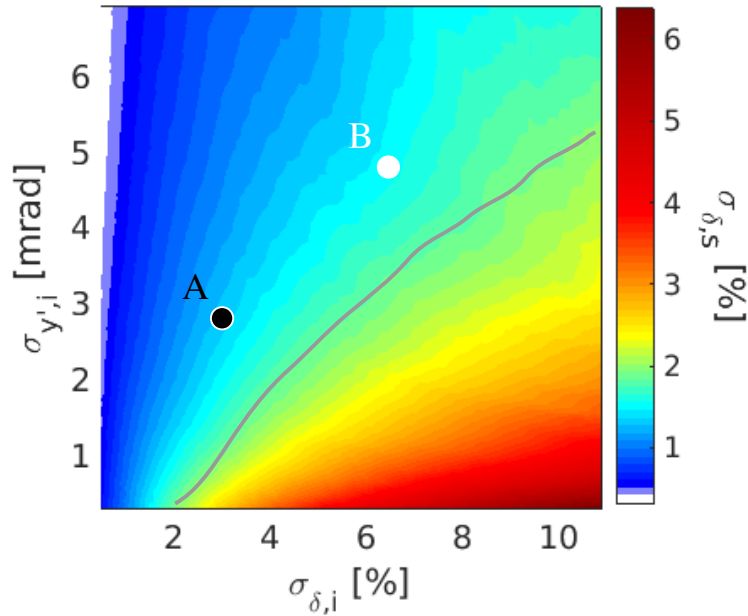
Simulated charge transmission [%] according to the initial energy spread [%] and divergence [mrad]



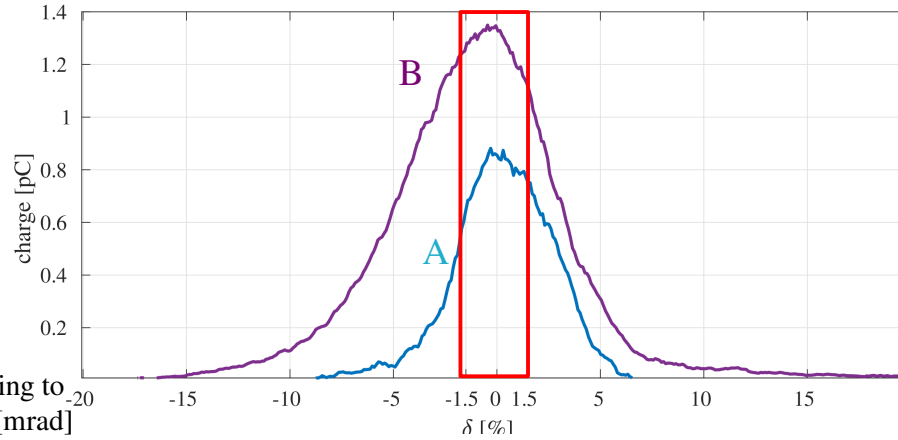
avec un collimateur de 200 microns de diamètre

→ Objectif :
 1-2 % dispersion en énergie

Simulated selected energy spread [%] according to the initial energy spread [%] and divergence [mrad]

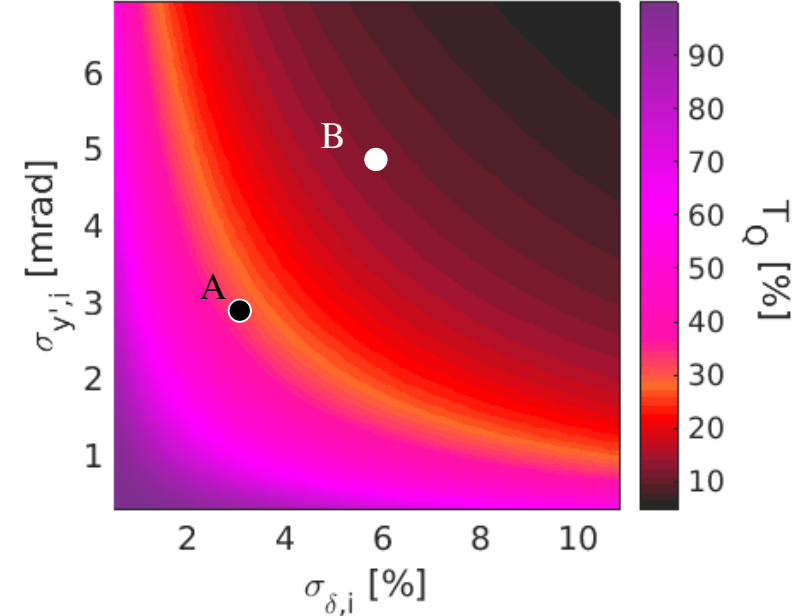


Corrélations importantes
 entre la charge initiale
 et les autres paramètres
 du faisceau à la source



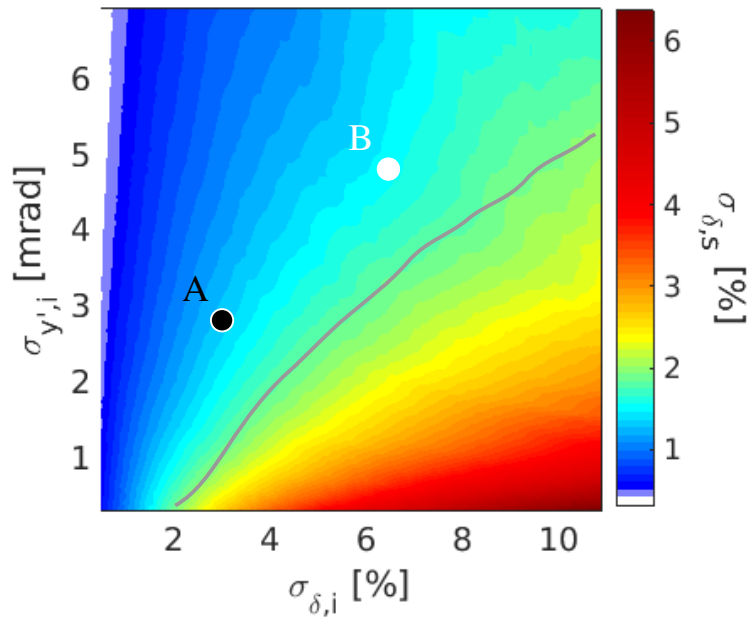
→ Objectif :
 > dizaine(s) pC

Simulated charge transmission [%] according to the initial energy spread [%] and divergence [mrad]

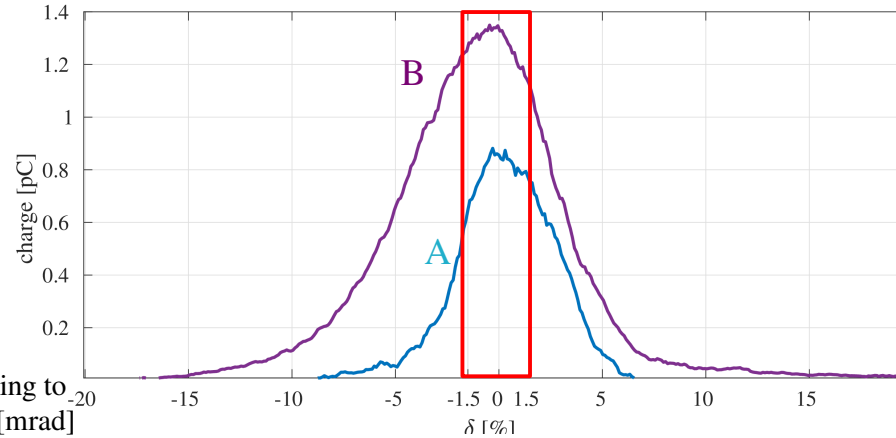


→ Objectif :
 1-2 % dispersion en énergie

Simulated selected energy spread [%] according to the initial energy spread [%] and divergence [mrad]

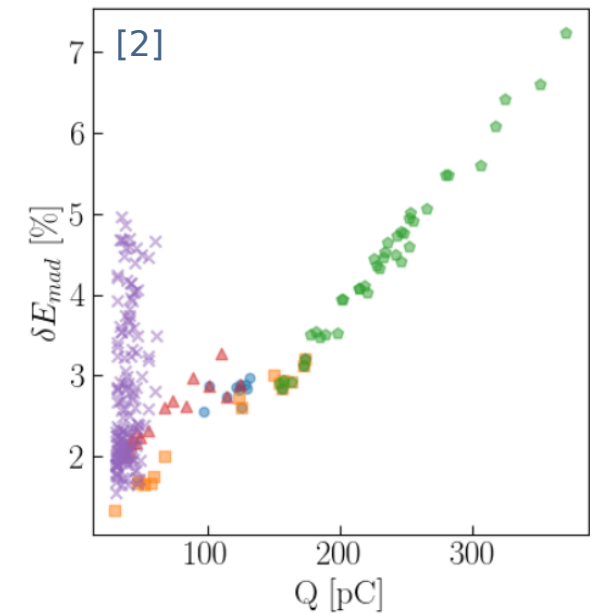


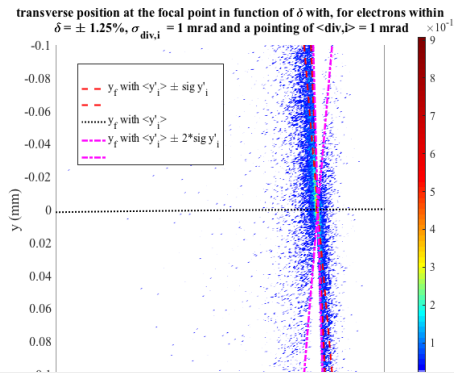
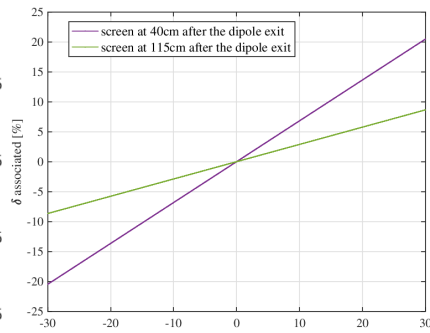
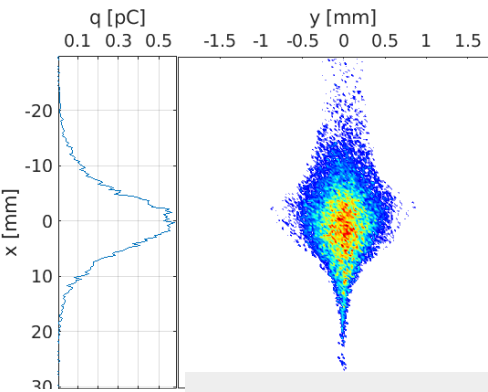
Corrélations importantes
 entre la charge initiale
 et les autres paramètres
 du faisceau à la source



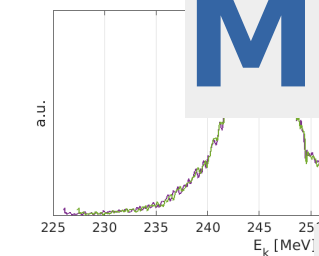
→ Objectif :
 > dizaine(s) pC

Energy spread [%] as function of the injected charge Q [pC] at the source. Selected simulation results obtained from several massive random scans.

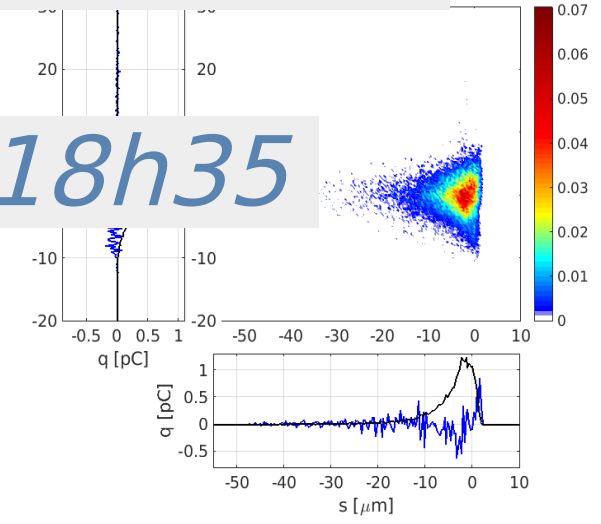
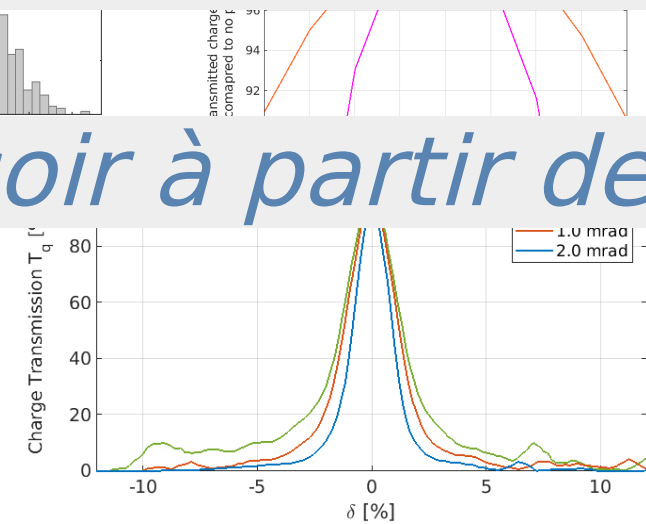
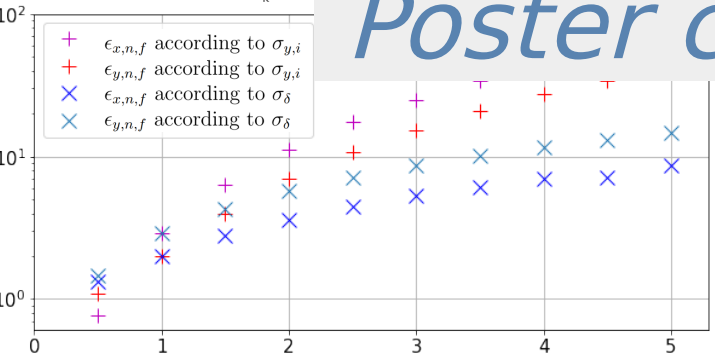




Merci de votre attention



Poster ce soir   partir de 18h35



- [1] V. Malka, C. Thaury, S. Corde, K. Ta Phuoc et A. Rousse. Accélérateurs à plasma laser: principes et applications. Reflets phys., (33):23–26, 2013

- [2] P. Drobniak, et al. Random scan optimization of a laser-plasma electron injector based on fast particle-in-cell simulations. Phys. Rev. Accel. Beams, 26:091302, Sep 2023
doi: <https://doi.org/10.1103/PhysRevAccelBeams.26.091302>

- [3] J. Derouillat, et al. SMILEI: a collaborative, open-source, multi-purpose particle-in-cell code for plasma simulation. Comput. Phys. Commun. 222, 351-373 (2018).

- [4] C. Guyot, et al. Benchmarking for CODAL beam dynamics code: laser-plasma accelerator case study. IPAC 23 proceeding.

A simplified scheme of the LPI beam line is given in the figure 2 illustrating the LPI beamline.

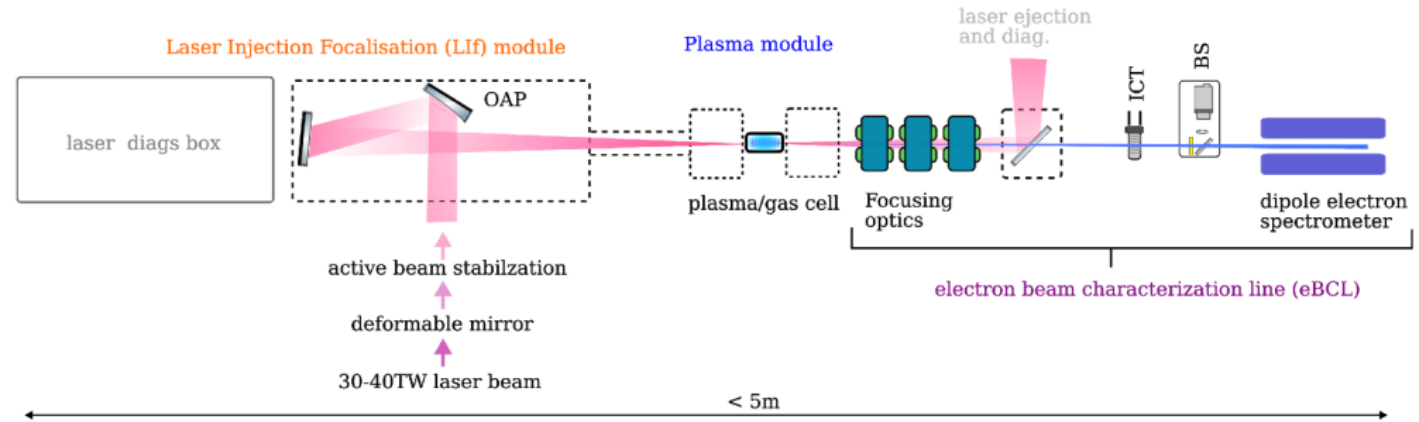


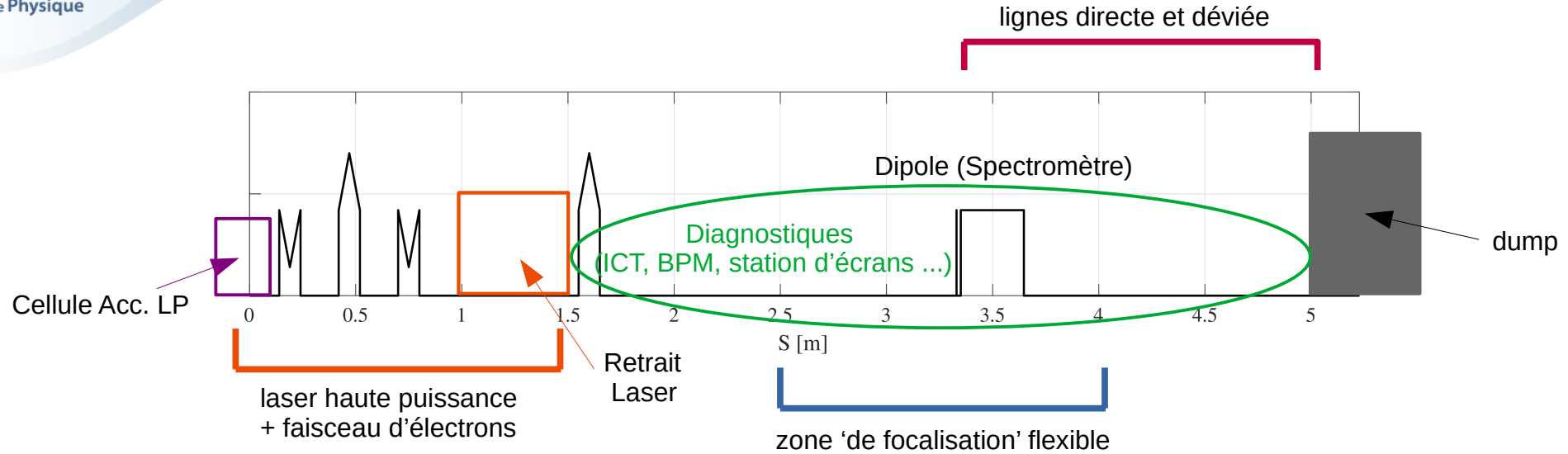
Figure 1 - simplified scheme of the LPI beamline in phase 1.

Quelques Caractéristiques

- Fonctionnement à **10 Hz**
- Cellule de gaz (N^2 , He)
- 'injection par ionisation' → injecteur laser-plasma
- Ligne e- compact: 5m
- Laserix → Laser Haute Puissance (1.6J, 35 fs, 40TW)

Axes de Recherche Principaux

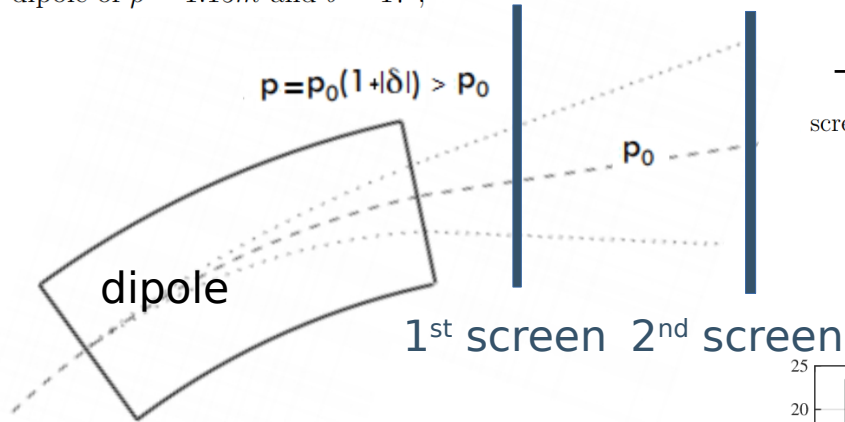
- Contrôle Laser Avancé
- Cible Plasma
- Ligne de Capture et Caractérisation d'électrons



Choix d'une ligne Flexible & Robuste:

- Transport d'une large 'gamme de faisceaux' (divergence, pointé, dispersion énergie... à la source)
- Electro-Aimants
- Diagnostiques 'single-shot'
- 'Zone de focalisation' flexible
- ...

dipole of $\rho = 1.15m$ and $\theta = 17^\circ$;

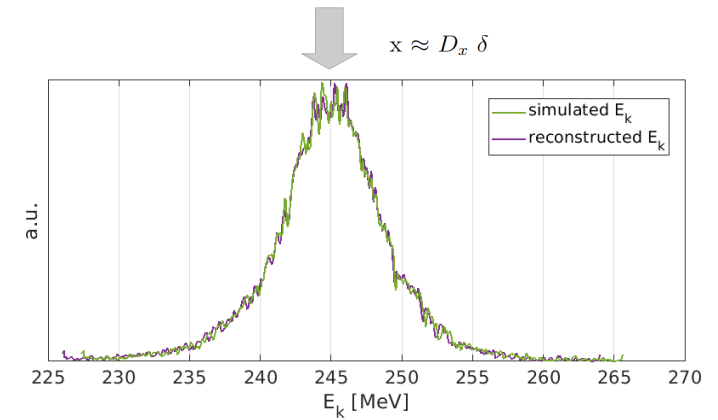
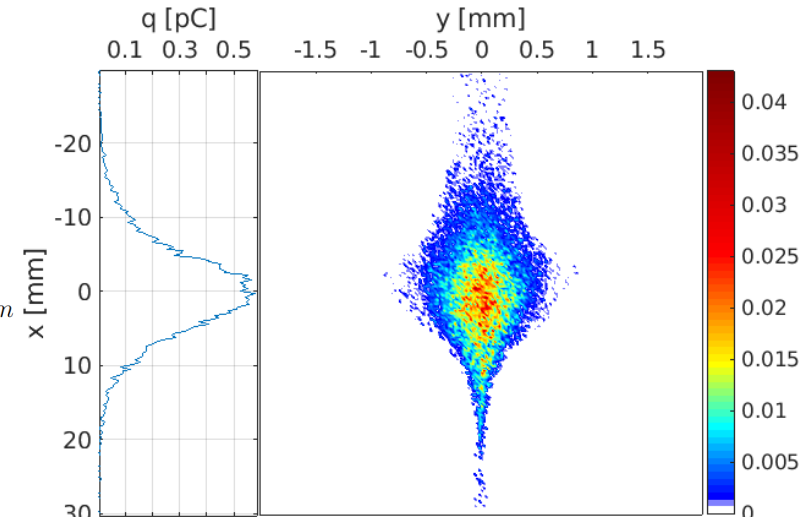
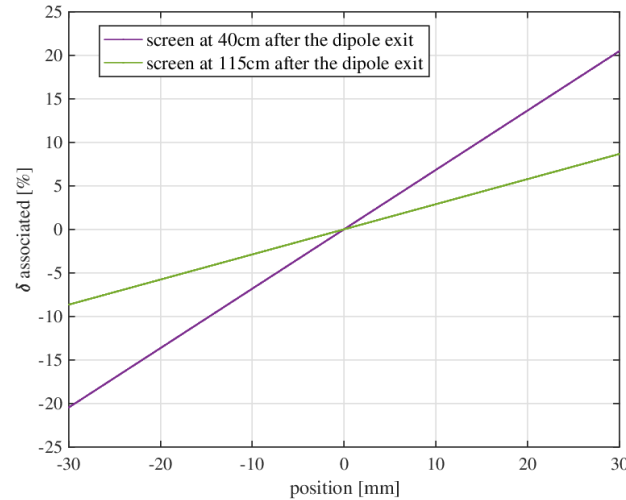


→ 2nd screen: smaller resolution

 screen of 60mm with 50x50 μm pixels; $L_{d-s} = 115cm$

→ 1st screen: larger range

 (40%: 160–240 MeV for 200MeV)



[2]

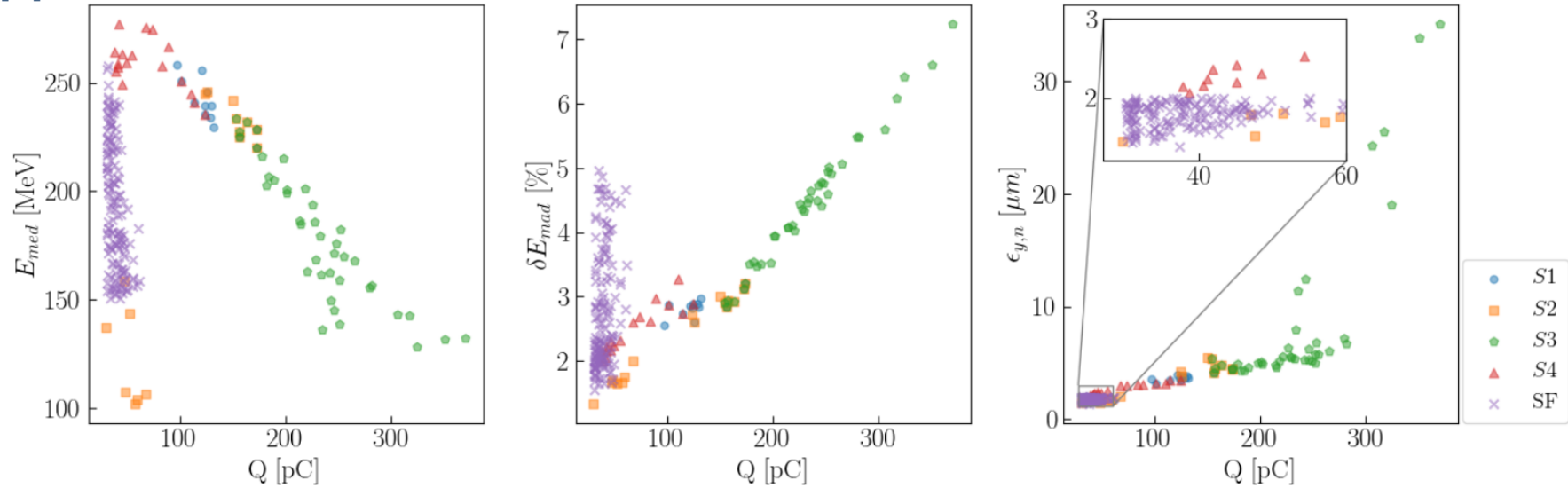


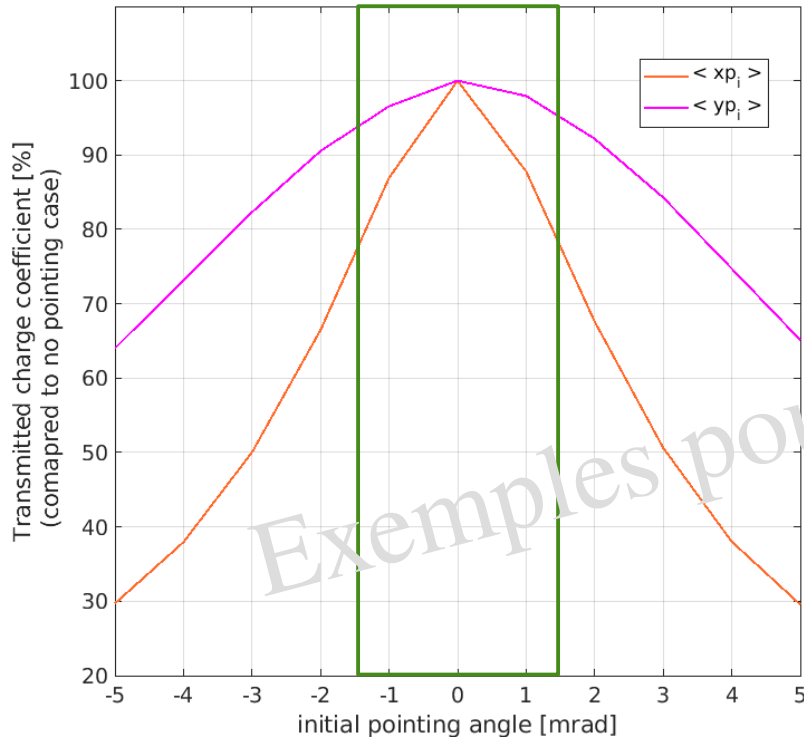
FIG. 4. Three views of simulations results in the output space as function of the injected charge Q . Beams selected by the functions of merit with a cut-off at 90% of f_1 , f_2 , f_3 , f_4 maximum and beams in the filter defined in section I are compiled in sets respectively denoted $S1$, $S2$, $S3$, $S4$ and SF .

[2] P. Drobniak, et al. Random scan optimization of a laser-plasma electron injector based on fast particle-in-cell simulations. Phys. Rev. Accel. Beams, 26:091302, Sep 2023
doi: <https://doi.org/10.1103/PhysRevAccelBeams.26.091302>

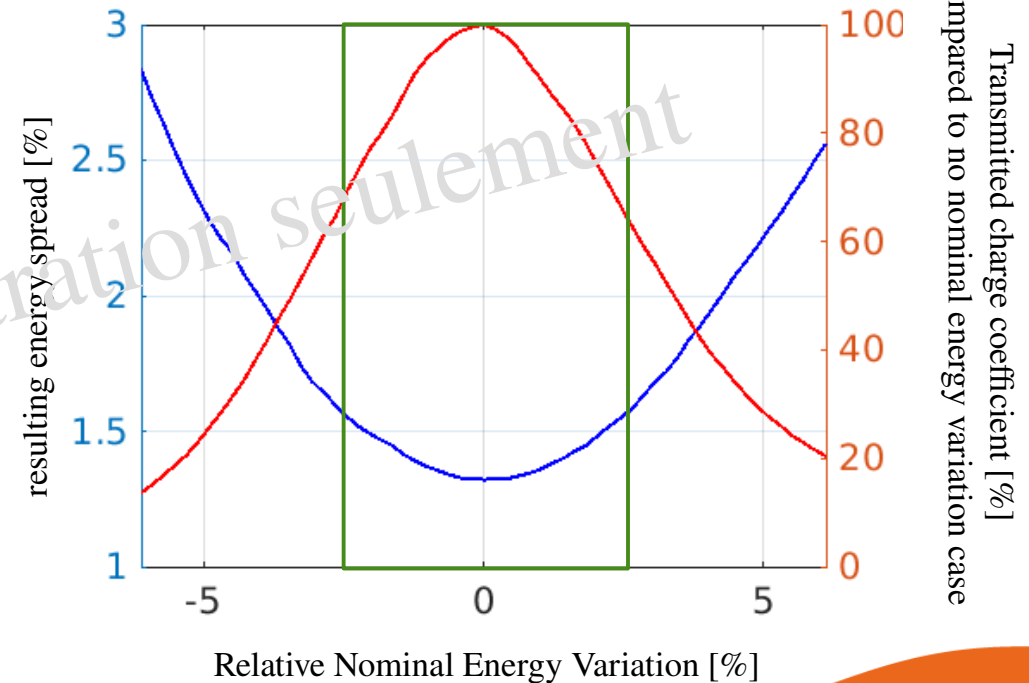
Pointé d'angle [\sim mrad], divergence [\sim mrad], dispersion en énergie [\sim %], énergie nominale [\sim MeV] ...

Quels effets sur la sélection en énergie par le collimateur?

→ Exemple de l'influence pointé d'angle



→ Exemple de l'énergie nominale



Exemples pour illustration seulement

Pointé d'angle [\sim mrad], divergence [\sim mrad], dispersion en énergie [\sim %], énergie nominale [\sim MeV] ...

Quels effets sur la sélection en énergie par le collimateur?

→ Approche statistique avec les différentes variations suivant des lois de probabilités uniformes

