



Etude du transport d'un faisceau d'électrons dans un accélérateur linéaire à induction dans le cadre de la radiographie éclair multi-temps

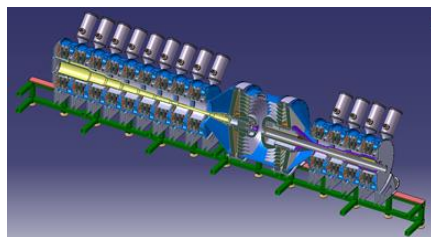
C-M. Alvinerie, R. Delaunay and R. Maissonny

Objectif : « caractériser l'état de la matière soumise à des chocs forts ou à une densification importante sous l'effet d'explosifs »

- Nécessite une source de rayonnement X aux propriétés spécifiques
 - Faible dimension : mm
 - Impulsionnelle : quelques dizaines de ns (~ 60 ns)
 - De haute énergie : plusieurs MeV (~ 20 MeV)
 - Intense : plusieurs kA (~ 2 kA)
 - Dose à 1m élevée : plusieurs centaines de rads (~ 500 rads)
 - Fiable

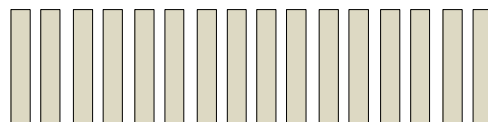
- Source X produite par l'interaction d'un faisceau d'électrons de haute énergie dans un matériau de numéro atomique élevé → rayonnement de freinage

- Expériences de radiographie éclair réalisées sur l'installation EPURE (Expérience de Physique Utilisant la Radiographie Eclair), grand instrument du CEA



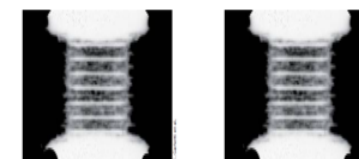
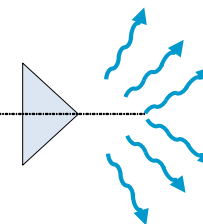
Injecteur double pulse à 2.6 MV

60 ns 60 ns
 Δt



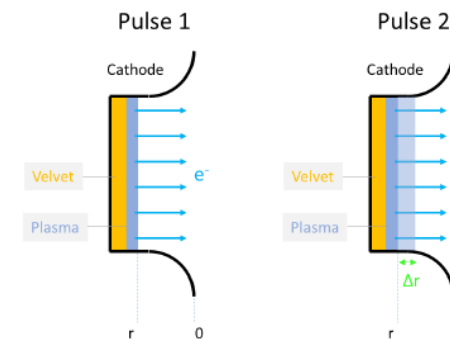
60 ns 60 ns
 Δt

76 cellules à induction à 0.23 MV
alimentées par deux générateurs HT
multi temps

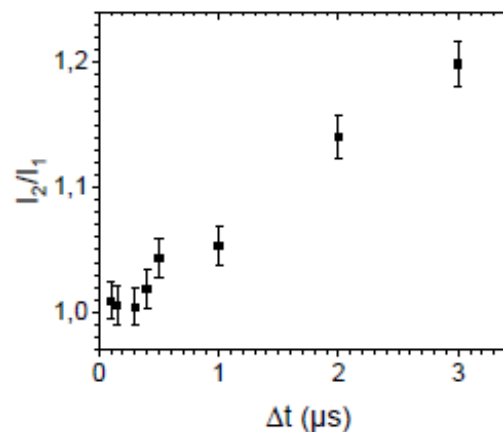
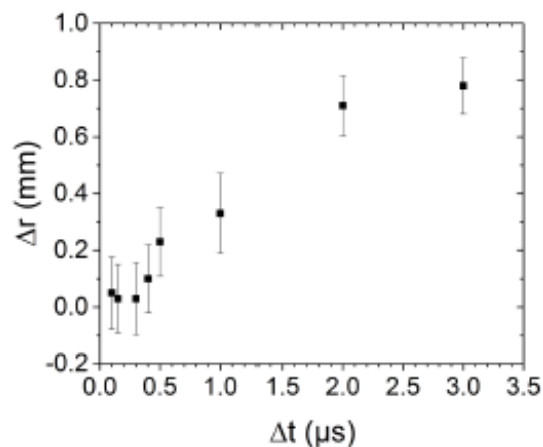


- 1) Production de deux faisceaux d'électrons à partir d'une cathode en plasma de velours avec un Inductive Voltage Adder, pour une énergie initiale de 2.6 MeV

- Modification de la géométrie de la diode due à l'expansion du plasma de velours au sein du gap entre les deux pulses



- 2) Etude de la dynamique du faisceau à 2.6 MeV grâce à une modélisation Particle-In-Cell avec le code LSP
- 3) Quantification de l'évolution du courant entre les deux faisceaux à la fin de l'injecteur selon le délai Δt



Code enveloppe EVOLI

Prédiction du rayon rms du faisceau d'électrons

Résolution de l'équation d'enveloppe à l'aide d'un solveur ODE du second ordre :

$$\begin{aligned} & \frac{d^2 R_{env}}{dz^2} \\ &= -\frac{1}{\beta^2 \gamma} \frac{d\gamma}{dz} \frac{dR_{env}}{dz} - \frac{1}{2\beta^2 \gamma} \frac{d^2 \gamma}{dz^2} R_{env} - k_\beta^2 R_{env} + \frac{K}{R_{env}} + \left(\frac{\varepsilon_n}{\beta \gamma}\right)^2 \frac{1}{R_{env}^3} \\ &+ \frac{P_\theta}{(\gamma \beta m_e c)^2} \frac{1}{R_{env}^3} \end{aligned}$$

➤ Inclusion des termes correctifs du second ordre

- Effet dû à la charge d'espace

$$\phi(r) = \frac{2I_b}{4\pi\varepsilon_0\beta c} \ln\left(\frac{b}{r}\right)$$

- Effet dû au diamagnétisme du faisceau

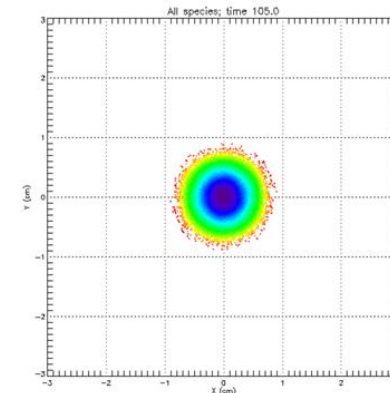
$$\frac{\Delta B}{B} = \left(\frac{R}{b}\right)^2 \frac{I_b}{2I_A}$$

Code Particle-In-Cell LSP-Slice

Modélisation d'une unique tranche du faisceau

- Les particules sont avancées le long d'une coordonnée axiale
- Résolution des champs magnétiques sur une grille transverse se déplaçant avec la tranche du faisceau

Etude de l'accroissement de l'émittance et les évolutions du profil d'une tranche pendant son transport



→ Délais entre 500 et 2000 ns avec $E_1 = 2,6$ MeV, $I_1 = 2,6$ kA et $\epsilon_1 = 441$ mm.mrad

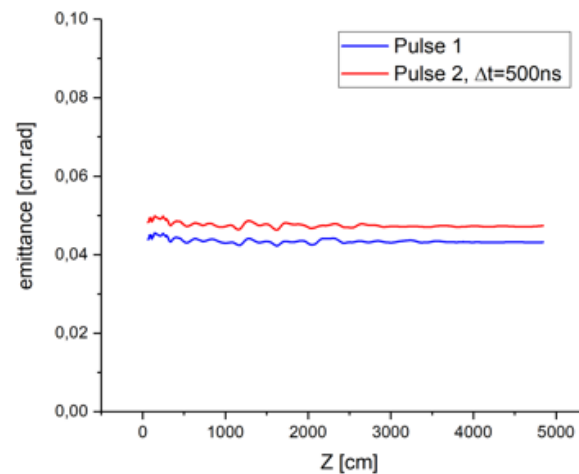
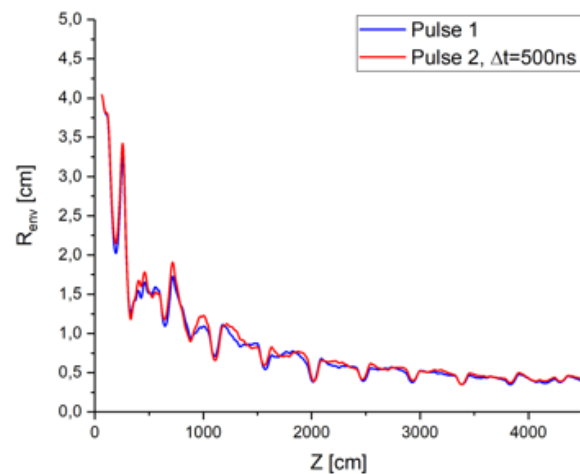
- Cas 2

$\Delta t = 500$ ns

$$E_2 = E_1 = 2,6 \text{ MeV}$$

$$I_2 = 1,05 * I_1$$

$$\epsilon_2 = 1,1 * \epsilon_1$$



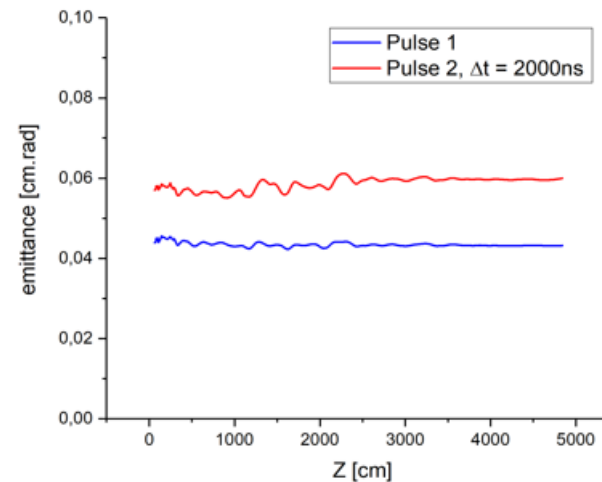
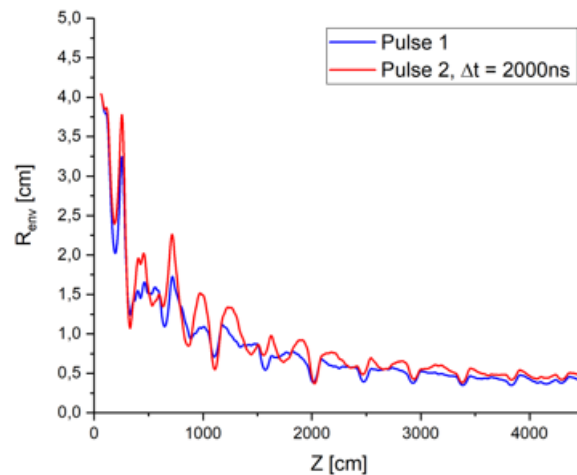
- Cas 3

$\Delta t = 2000$ ns

$$E_2 = E_1 = 2,6 \text{ MeV}$$

$$I_2 = 1,15 * I_1$$

$$\epsilon_2 = 1,3 * \epsilon_1$$



- Consolidation des premiers résultats par :
 - Etude complète avec le code PIC LSP
 - Poursuite du développement du code enveloppe EVOLI résolu en temps en y intégrant les modèles d'instabilités du faisceau

- Applications des outils développés dans un cadre expérimental par :
 - Réalisation de transports d'études
 - Confrontation par des mesures



Merci de votre attention !