

Titre : Optimisation de performance de faisceaux d'électrons à l'aide de simulations de tracking 6D start-to-end pour des accélérateurs à fort courant crête laser-plasma et à récupération d'énergie multi-passages

Mots clés : dynamique faisceau, faisceau d'électrons, laser-plasma, linac à récupération d'énergie

Résumé : Dans la quête d'accélérateurs d'électrons plus compacts et moins consommateurs d'énergie, le courant crête tend à être augmenté pour différentes raisons. Dans le contexte de la thèse deux approches alternatives aux accélérateurs plus conventionnels sont explorées: laser-plasma et linacs à récupération d'énergie (ERL). Pour les accélérateurs à laser-plasma, le courant crête est dû à la durée extrêmement courte des paquets, tandis que pour le cas de l'ERL, le courant de crête est dû à la charge par paquet.

Les faisceaux laser-plasma sont des faisceaux d'électrons atypiques en raison de leurs grandes dispersion d'énergie et divergences. Celles-ci influencent fortement leur transport, car cette combinaison conduit à de fortes corrélations entre les propriétés longitudinales et transverses. Les défis de design d'une ligne de transport compacte sont discutés, avec notamment la question des contraintes dues à la forte divergence et des conséquences de la focalisation sur la qualité du faisceau, ainsi que la sélection systématique de l'énergie qui peut être mise en œuvre. Les problèmes de variations d'un tir à l'autre des injecteurs laser-plasma sont également abordés grâce au système de sélection en énergie proposé ici. Dans ce contexte, un compromis entre la qualité du faisceau et la charge est également étudié.

L'accélérateur multi-passages à récupération d'énergie a la particularité de combiner des difficultés des accélérateurs circulaires et linéaires. Le processus de récupération d'énergie impose également une phase d'accélération et de décélération avec une propagation du faisceau dans une structure multi-passages, où le faisceau doit être recirculé plusieurs fois dans des arcs dédiés lors des deux phases. L'évolution de l'espace des phases longitudinal est un facteur déterminant. La thèse met l'accent sur l'impact de la longueur des paquets sur le transport du faisceau et la conservation de sa qualité, avec un compromis entre les effets collectifs single-bunch, en particulier le rayonnement synchrotron cohérent, et les effets chromatiques afin de minimiser les pertes et de maintenir la qualité du faisceau.

Title : Optimisation of electron beam performance for high peak current laser-plasma and multi-pass energy recovery accelerators with 6D tracking start-to-end simulations

Keywords : beam dynamics, electron beams, laser-plasma, energy recovery linacs

Abstract : In the quest for more compact and less energy-consuming electron accelerators, the peak current tends to be increased for different reasons. The context of the thesis is to explore two alternative approaches to more conventional accelerators: laser plasma and energy recovery linacs ones. For laser-plasma accelerators, the peak current is due to the extremely short bunch duration whereas for the ERL case, the peak current is due to the charge per bunch. The goal of the thesis studies is to optimise the conditions of the electron beam transport while maximising their quality and minimising the losses, including higher order trackings both longitudinal and transverse as well as collective effects.

Laser-plasma beams are atypical electron beams because of their large energy spread and divergence. These heavily influence their transport, as this combination leads to strong correlations between the longitudinal and the transverse properties. The challenges of designing a compact transport line are discussed with the constraints due to the high divergence and the consequences of the focusing on the beam quality as well as the systematic selection in energy that can be implemented. The shot-to-shot variations issues of laser-plasma injectors are also addressed through the energy selection system proposed here. In this context, a trade-off between beam quality and the charge is explored as well.

Multi-pass Energy Recovery Accelerator has the particularities to combined difficulties of circular accelerators and linear ones without radiation damping. The energy recovery process also imposes an accelerating and decelerating phase of the beam propagation within a multi-pass structure, where the beam has to be re-circulated several times in dedicated arcs for both cases. A determinant factor is the evolution of the longitudinal phase space. A focus is done in the thesis on the impact of the bunch length on the beam transport and the conservation of its quality, with a trade-off between single-bunch collective effects, especially coherent synchrotron radiation, and chromatic effects to minimise losses and to maintain the beam quality.