

T. Vinatier (vinatier@lal.in2p3.fr), C. Bruni, P. Puzo, LAL, Orsay, France

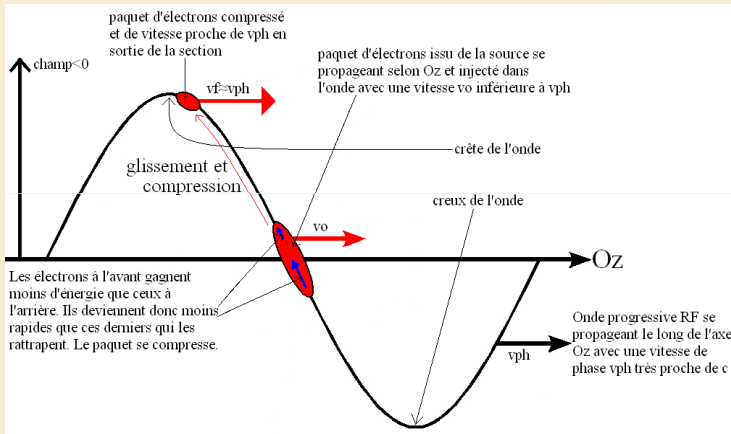
## Introduction

Les paquets d'électrons courts relativistes sont nécessaires dans de nombreuses applications physiques et chimiques : Accélération laser-plasma, Lasers à électrons libres, Génération de rayonnement THz intense, Imagerie des phénomènes ultra-rapides dans la matière ....

Le **velocity bunching**, ou **compression RF**, est utilisé pour compresser dans une structure accélératrice RF des paquets d'électrons non ultra-relativistes, c'est-à-dire d'énergie inférieure à 20 MeV, jusqu'à des durées inférieures à 100fs rms. Il provient du fait qu'en soumettant un paquet d'électrons à une accélération différentielle entre sa tête et sa queue, un gradient de vitesse va être créé au sein du paquet engendrant ainsi sa compression.

Les deux autres techniques utilisées pour créer des paquets courts sont l'emploi d'une impulsion laser courte dans un canon RF et la compression magnétique. Le **velocity bunching** présente l'avantage de compresser un paquet déjà accéléré, à quelques MeV, sur une trajectoire linéaire.

Il s'affranchit donc de l'émission de rayonnement synchrotron due à la trajectoire courbée du paquet dans le processus de compression magnétique qui peut dégrader les propriétés du paquet. Il permet aussi de limiter les effets de la force de charge d'espace, qui sont très importants dans un canon RF du fait de l'énergie quasi-nulle des électrons lors de leur émission.



Principe physique du phénomène de velocity bunching dans une section à onde progressive

### Modèle rencontré dans la littérature (modèle de P. Piot)

$$\text{Equations du mouvement : } \frac{d\Phi}{dz} = k \left( \frac{\gamma}{\sqrt{\gamma^2 - 1}} - 1 \right) \quad \text{et} \quad \frac{d\gamma}{dz} = \frac{eE_m}{m_e c^2} \sin(\Phi)$$

$$\text{Approximations : } \gamma^2 \gg 1 \quad \text{et} \quad \gamma_f \gg \gamma_0 \rightarrow \sigma_z = \frac{\sin(\varphi)}{\sin(\Phi_f)} \sigma_{z_0} - \frac{m_e c^2 k}{4\pi e E_m \gamma_0^2 \sin(\Phi_f)} \sigma_{z_0}$$

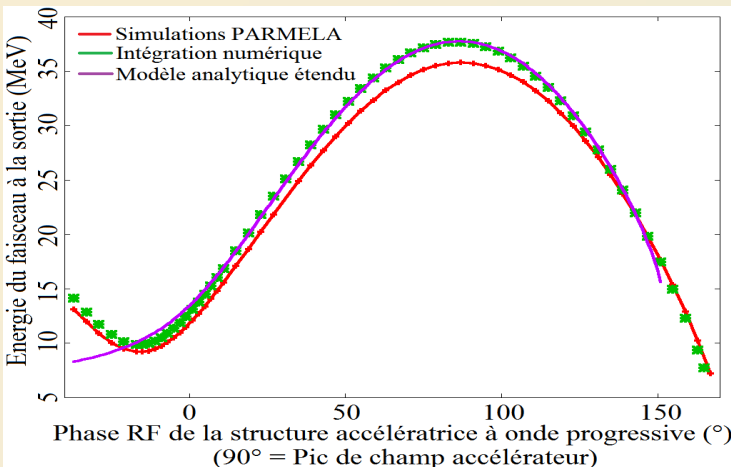
### Modèle analytique étendu développé durant ma thèse

Approximation de substitution : Variation linéaire de la phase  $\Phi$  dans la section accélératrice  $\leftrightarrow$  Vitesse constante et égale à la vitesse initiale

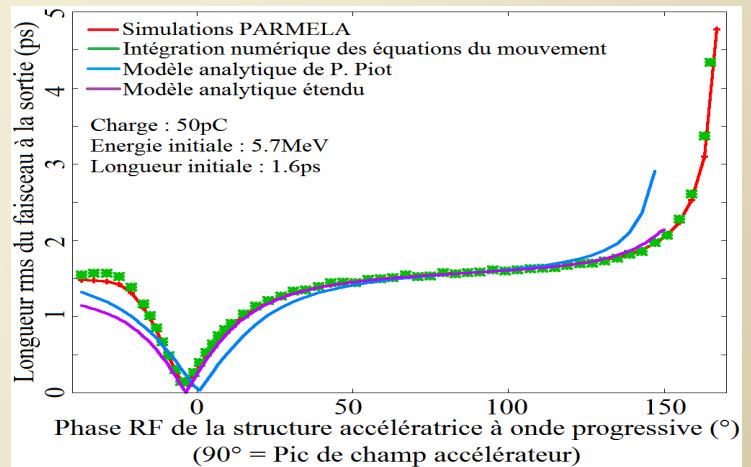
$$\gamma(z) = \gamma_0 + \frac{eE_m L}{m_e c^2 (\Phi_f - \varphi)} \left( \cos(\varphi) - \cos\left(\varphi + \frac{\Phi_f - \varphi}{L} z\right) \right)$$

$$\sigma_z(z) = \frac{2\alpha\gamma(z)^2(\Phi_f - \varphi)\sin(\varphi) + (\gamma(z) - \gamma_0) + \alpha k L (-\sin(\varphi) + (1 - \frac{z}{L})\sin(\varphi + \frac{\Phi_f - \varphi}{L} z))}{2\alpha\gamma(z)^2(\Phi_f - \varphi)\sin(\arccos(\cos(\varphi) - \frac{1}{2\alpha\gamma_0} + \frac{1}{2\alpha\gamma(z)})\sigma_{z_0} - \frac{\gamma(z)^2 - \gamma_0^2}{4\pi e E_m \gamma_0^2 \sin(\arccos(\cos(\varphi) - \frac{1}{2\alpha\gamma_0} + \frac{1}{2\alpha\gamma(z)})\sigma_{z_0}))} \sigma_{z_0}$$

$E_m$  = champ accélérateur crête ;  $\varphi$  = Phase RF de la section ;  $\alpha = eE_m/m_e c^2 k$   
 $k$  = vecteur d'onde ;  $L$  = longueur de la section



Section accélératrice de type SLAC (3m de long et champ accélérateur moyen de 10MV/m)



Section accélératrice de type SLAC (3m de long et champ accélérateur moyen de 10MV/m)

## Conclusion and prospects

Le modèle analytique étendu apporte deux améliorations par rapport au modèle de P. Piot. Tout d'abord il permet d'améliorer la précision sur la détermination de la phase RF de la structure accélératrice permettant une compression maximale du paquet d'électrons (meilleure que 0.5° contre quelques °) dont la connaissance est cruciale pour optimiser le velocity bunching. De plus, il permet de mieux reproduire les variations de la longueur finale du paquet avec cette phase RF.

Les deux modèles échouent à reproduire quantitativement les valeurs de la longueur finale du faisceau autour de la phase RF minimisant cette longueur. Cela est dû au fait qu'ils ont été établis à partir d'une différentiation linéaire des solutions des équations du mouvement d'une particule unique. Ils ne prennent donc pas en compte l'aspect distribution du faisceau et prédisent une longueur minimale nulle. Solutions : Equation d'enveloppe longitudinale ou Equation de type Vlasov.