

Le Projet CLIC: Compact Linear Collider

Le Faisceau de Puissance

Philippe Royer, CERN PS

SÉMINAIRE UNIL-IPHE

13 Avril 2000

I - Le Projet CLIC

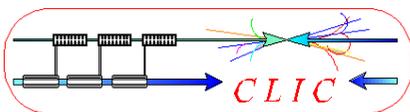
Description Générale

L'Accélérateur Linéaire Principal

II - Le Faisceau de Puissance

Principes de Fonctionnement et Paramètres

La Facilité de Test CTF3



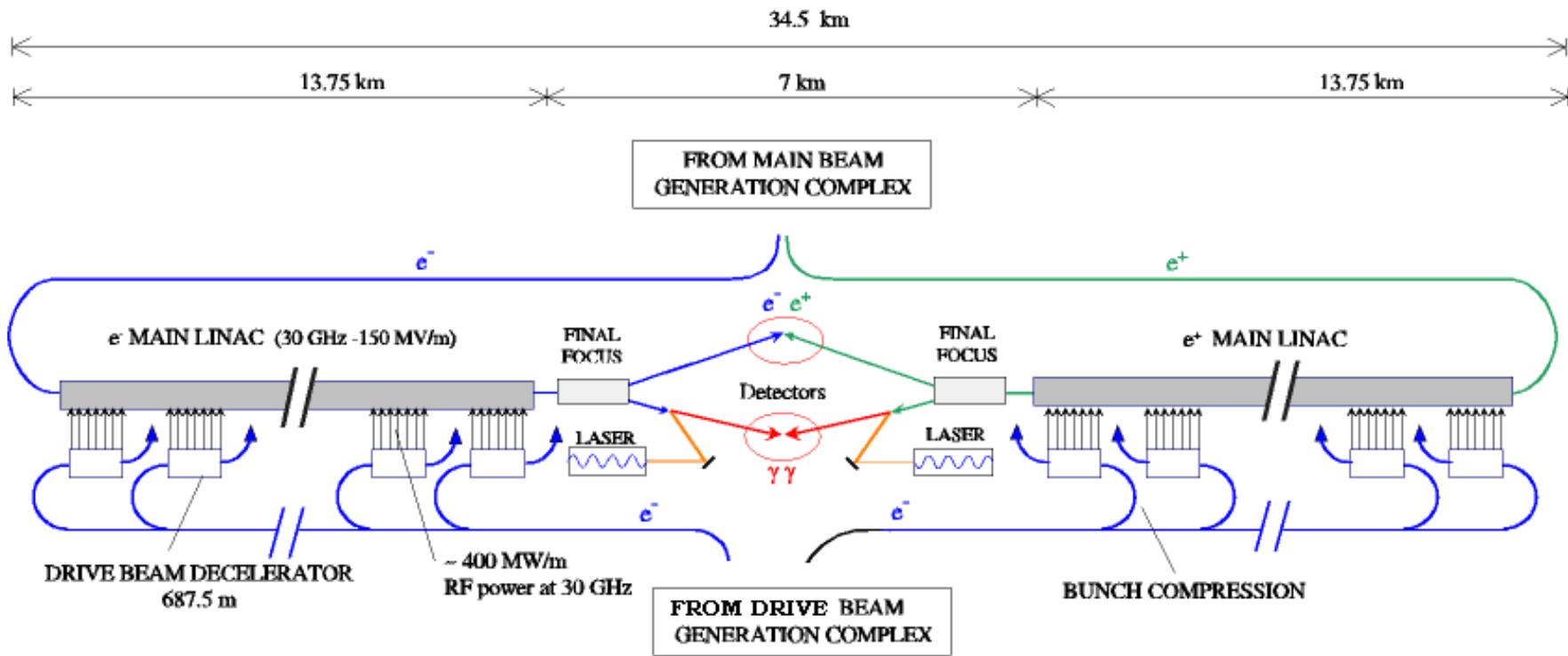
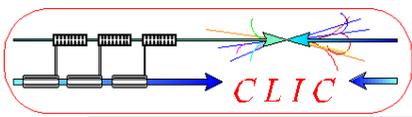
QUELQUES REPÈRES

Les Objectifs:

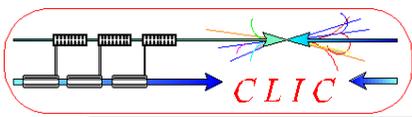
- Collisionneur linéaire e^+/e^-
- Haute énergie: 0.5 TeV à 5 TeV (optimisé pour 3 TeV)
- Haute luminosité: 10^{34} à $10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$
- Construction en plusieurs étapes, Longueur finale "raisonnable"

Les Moyens:

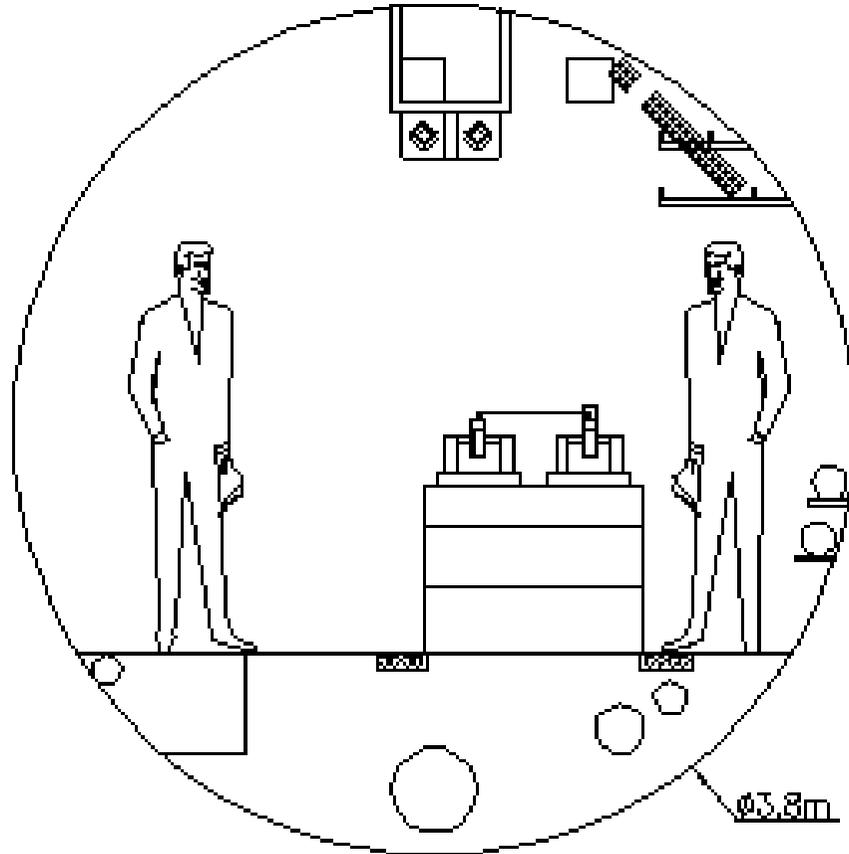
- Structures accélératrices conventionnelles
- Cavités avec fort champ accélérateur: 150 MV/m
- Cavités à haute fréquence: 30 GHz
- Puissance RF (Radio-Fréquence): 400 MW/m fournie par un faisceau d'électrons parallèle à l'accélérateur principal

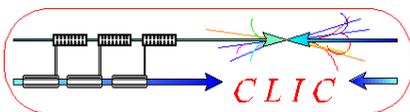


OVERALL LAYOUT OF THE CLIC COMPLEX AT 3 TeV C.M.



SECTION DU TUNNEL CLIC





L'ACCÉLÉRATEUR PRINCIPAL

Paramètres deduits de lois d'échelle

Points critiques:

Dimension du faisceau \Rightarrow

Focalisation avec quadrupoles

Pré-alignement optique ($10 \mu m$)

Alignement actif ($.1 \mu m$)

Champ de sillage (wake-field) \Rightarrow

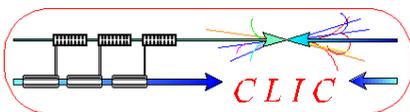
Nombre de particules par paquet limité

Courte longueur de paquet

Efficacité transfert RF/faisceau \Rightarrow

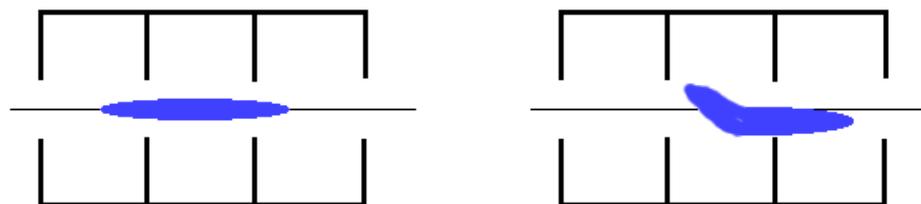
Beaucoup de paquets par impulsion

Linac Principal	3 TeV
Fréquence RF	30 GHz
Champ accélérateur	150 MV/m
Longueur totale	27.5 km
e^\pm par paquet	$4 \cdot 10^9$
Paquet/impulsion	150
Longueur paquet	$30 \mu m$
Espacement paquets	0.67 ns
Taille faisceau au PI(H/V)	43/1 nm
Efficacité RF vers faisceau	24 %



CHAMP DE SILLAGE TRANSVERSE

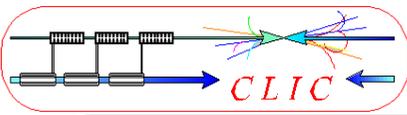
Le déplacement hors de l'axe du paquet induit un champ transverse dans la cavité. Effet de la tête du paquet sur la queue du paquet, et d'un paquet sur l'autre.



Pour une particule test à une distance s derrière une charge ponctuelle q , le potentiel transverse est:

$$\vec{W}_{\perp}(\vec{r}, \vec{r}', s) = \frac{1}{q} \int_{z_1}^{z_2} dz \left[\vec{E}_{\perp} + c (\vec{z} \times \vec{B}) \right]$$

La distribution de charge subit un "kick" transverse en impulsion.



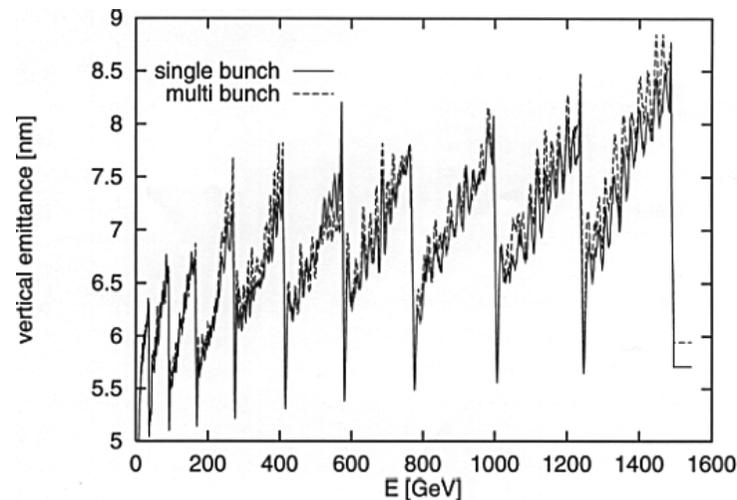
EMITTANCE - CHAMP DE SILLAGE D'UN PAQUET

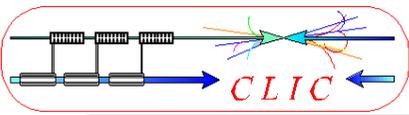
$$\text{Luminosité: } L = \frac{k_b N_b^2 f_{rep}}{4\pi\sigma_x\sigma_y} \propto \frac{N_b \eta_{RF}^{AC} \eta_b^{RF} P_{AC}}{U_b \sigma_x \sigma_y}$$

$$\text{Emittance } \epsilon: \epsilon_x = \sigma_x \sigma'_x = \frac{\sigma_x^2}{\beta_x}$$

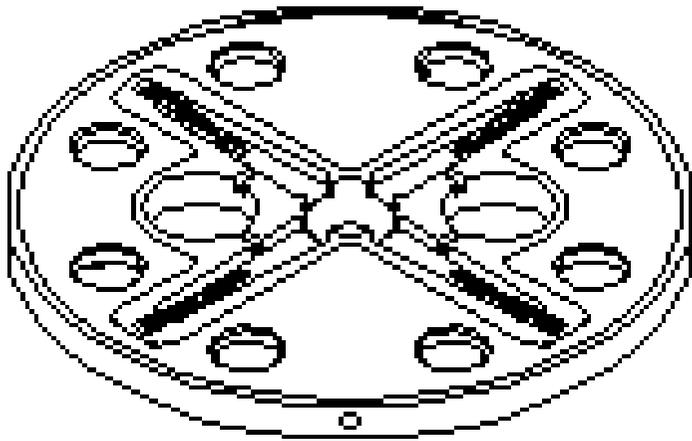
$$\text{Emittance normalisée } \epsilon_n: \epsilon_n = \beta\gamma\epsilon = 5 \cdot 10^{-9} \text{ m.rad (option 5 TeV)}$$

Utilisation de "bump" créés par désalignement des cavités

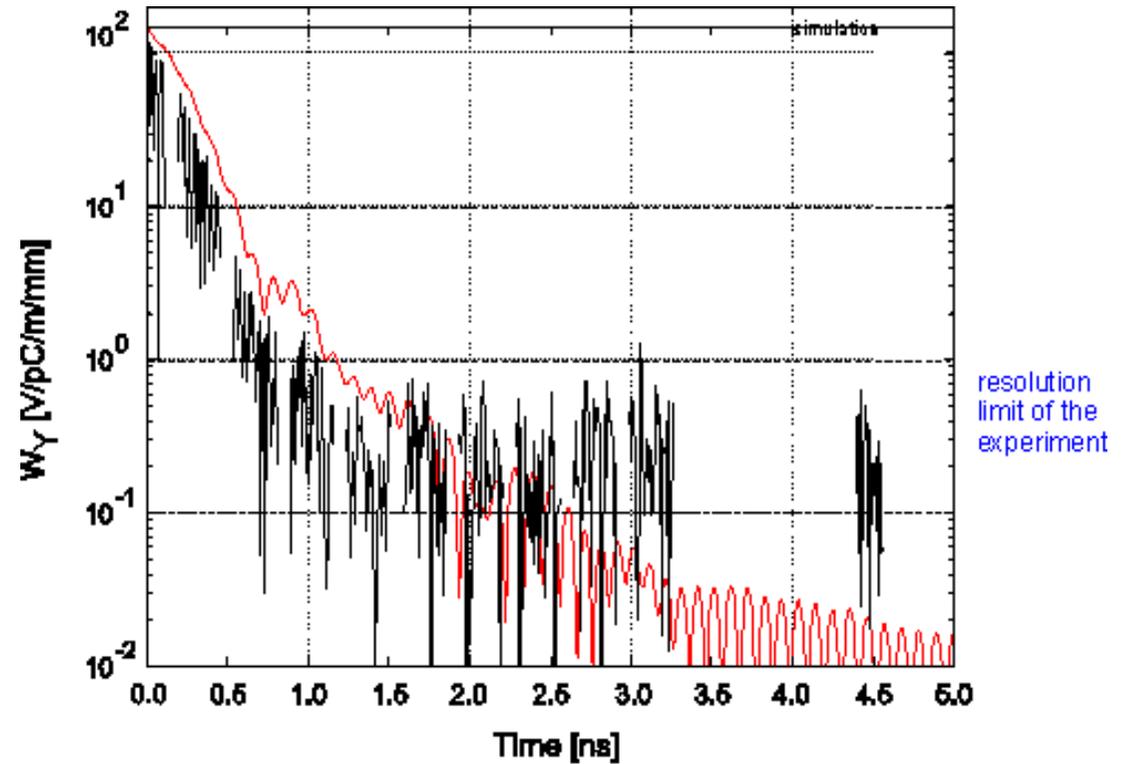




CHAMP DE SILLAGE DES PAQUETS SUCCESSIFS



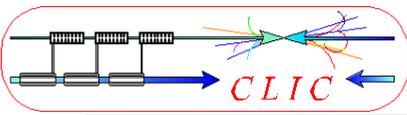
Tapered Damped Structure



Red - Calculation

Black - Measurement

Modèle 15 GHz testé au SLAC



LES STRUCTURES DE TRANSFERT

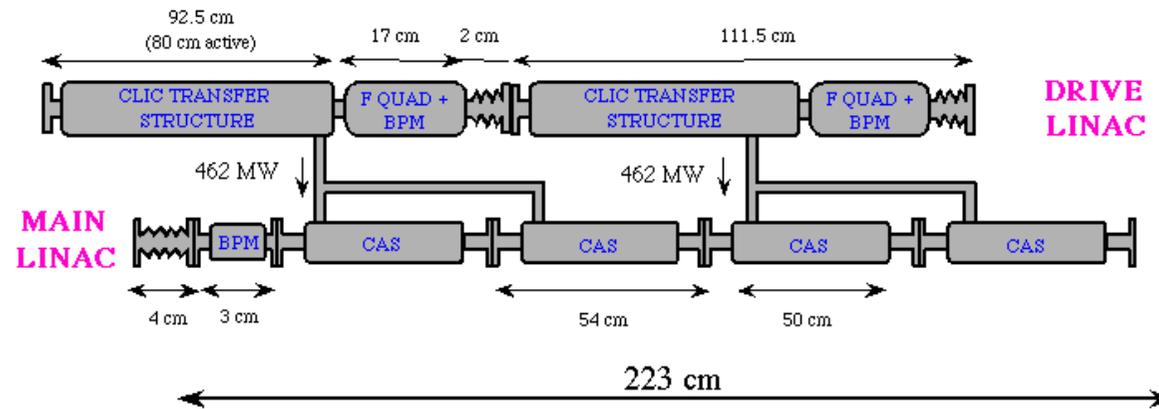
Puissance disponible: $P \propto \nu I^2 F^2(\sigma)$

Faisceau de puissance décéléré jusqu'à 10% de son énergie initiale

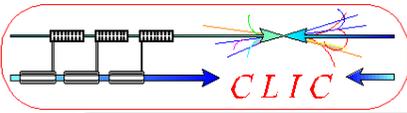
Dispersion en énergie jusqu'à 90% \Rightarrow Focalisation délicate

TWO BEAM ACCELERATION (TBA)

(4 CAS + 2 TRS)/module



CLIC module layout
3 TeV



RÉSUMÉ

Linac "court" (30 km)



Gradient élevé (150 MV/m) \Rightarrow Forte Puissance (400 MW/m)

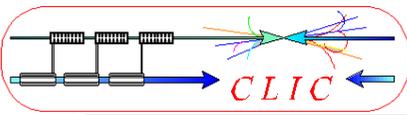


Haute fréquence (30GHz) \Rightarrow Impulsion Courte

↔ **Facteurs d'instabilité du faisceau:** Champ de sillage transverse, Grossissement d'émittance

↔ **Optimization:** cavités (guides d'onde, amortissement), Paramètres du faisceau (intensité, longueur de paquet) et de l'accélérateur (focalisation)

◀ **Quelle source de puissance pour cet accélérateur?** ▶

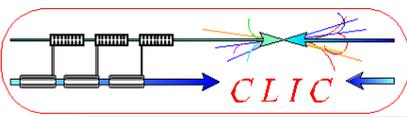


LA PRODUCTION DE PUISSANCE RF

Constat \rightsquigarrow Pas de source de puissance conventionnelle (klystron) à haute fréquence avec un pic élevé en puissance.

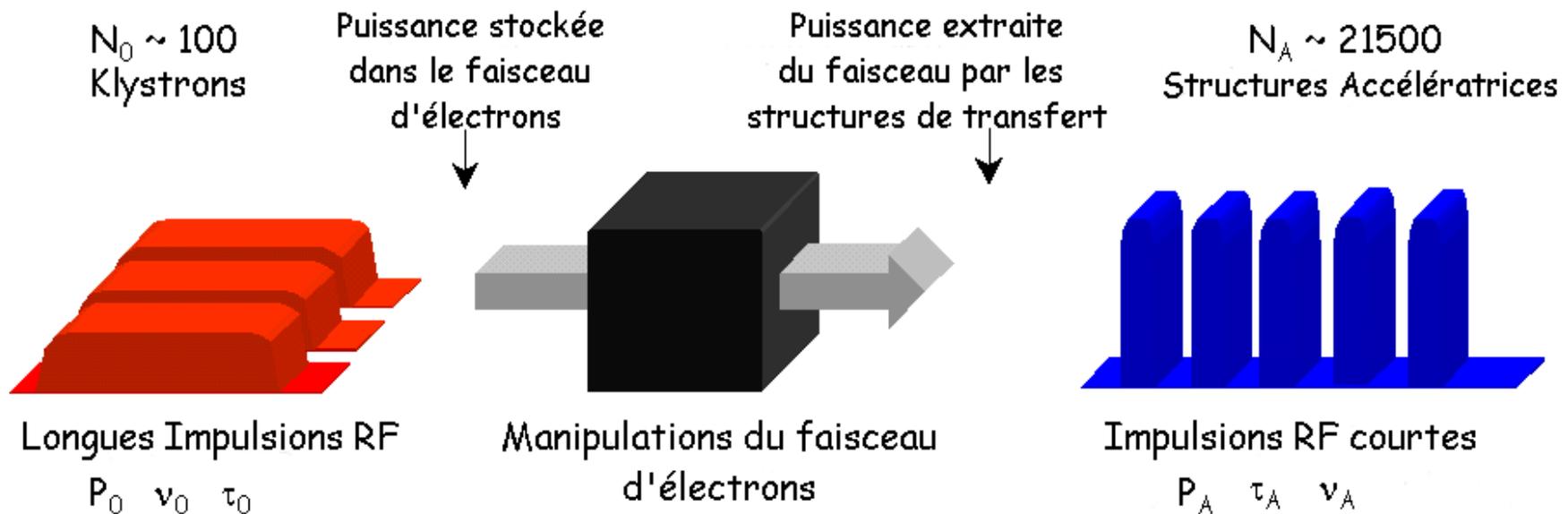
\hookrightarrow Technique de l'accélération à double faisceau

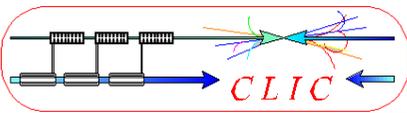
Principe \rightsquigarrow Un faisceau d'électrons est accéléré à basse fréquence (avec les sources de puissances usuelles), puis est transformé pour produire une source de puissance haute fréquence.



LES MANIPULATIONS DU FAISCEAU D'ELECTRONS

Les manipulations consistent à combiner de longues impulsions pour obtenir de courtes impulsions avec une puissance plus grande et une fréquence plus haute.



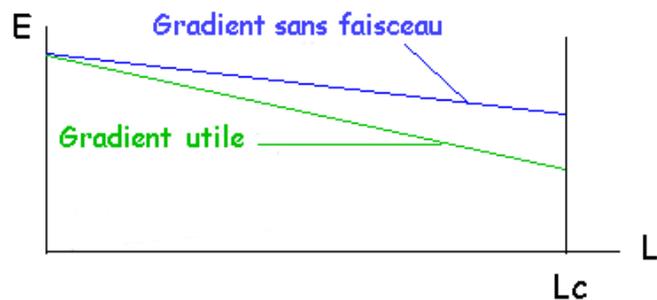


TRANSMISSION DE PUISSANCE

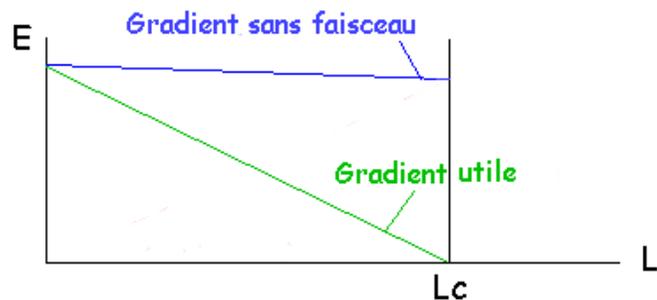
Pour transférer toute la puissance des sources RF vers le faisceau:

”Fully-Loaded Acceleration”

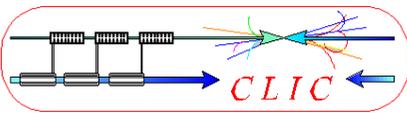
↪ Fort courant et cavités accélératrices courtes



Situation Standard: le gradient sans faisceau décroît par pertes dans le cuivre et à la fin de la structure, le gradient utile est non nul.

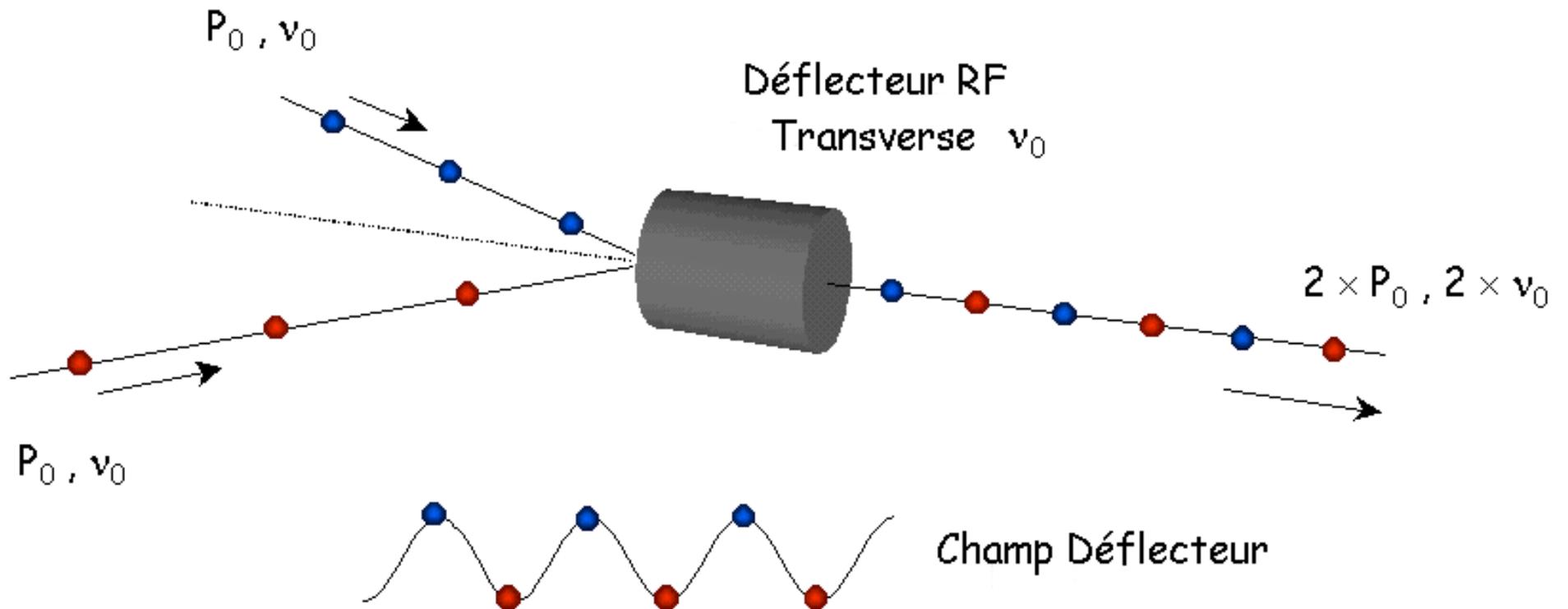


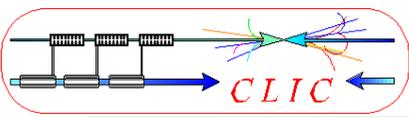
Situation ”fully-loaded”: Pas de puissance à la sortie de la cavité, peu de pertes sur le gradient sans faisceau.



LA MULTIPLICATION DE FRÉQUENCE

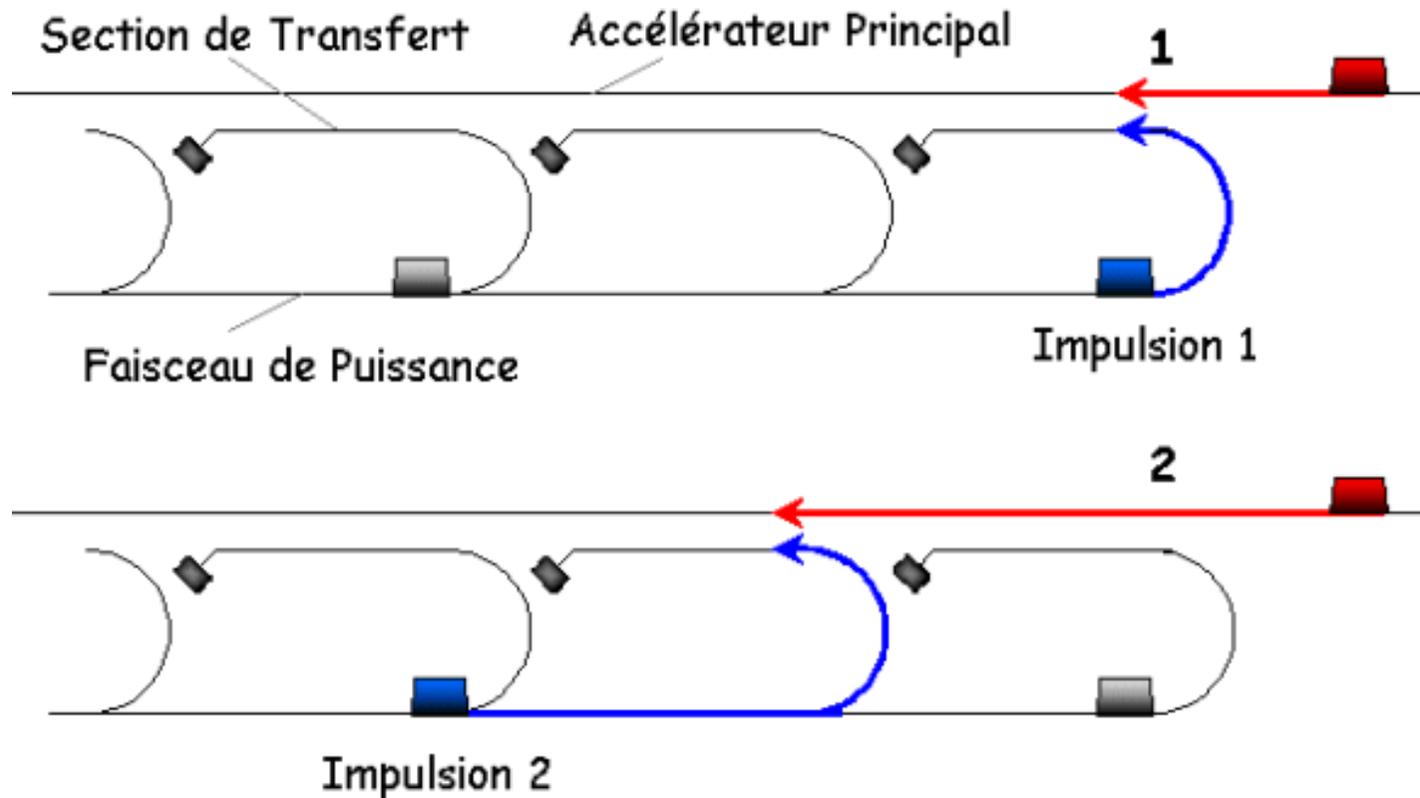
Un déflecteur RF transverse combine les faisceaux pour doubler la fréquence et la puissance.

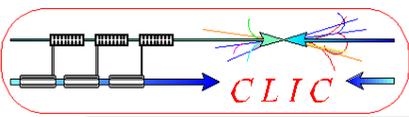




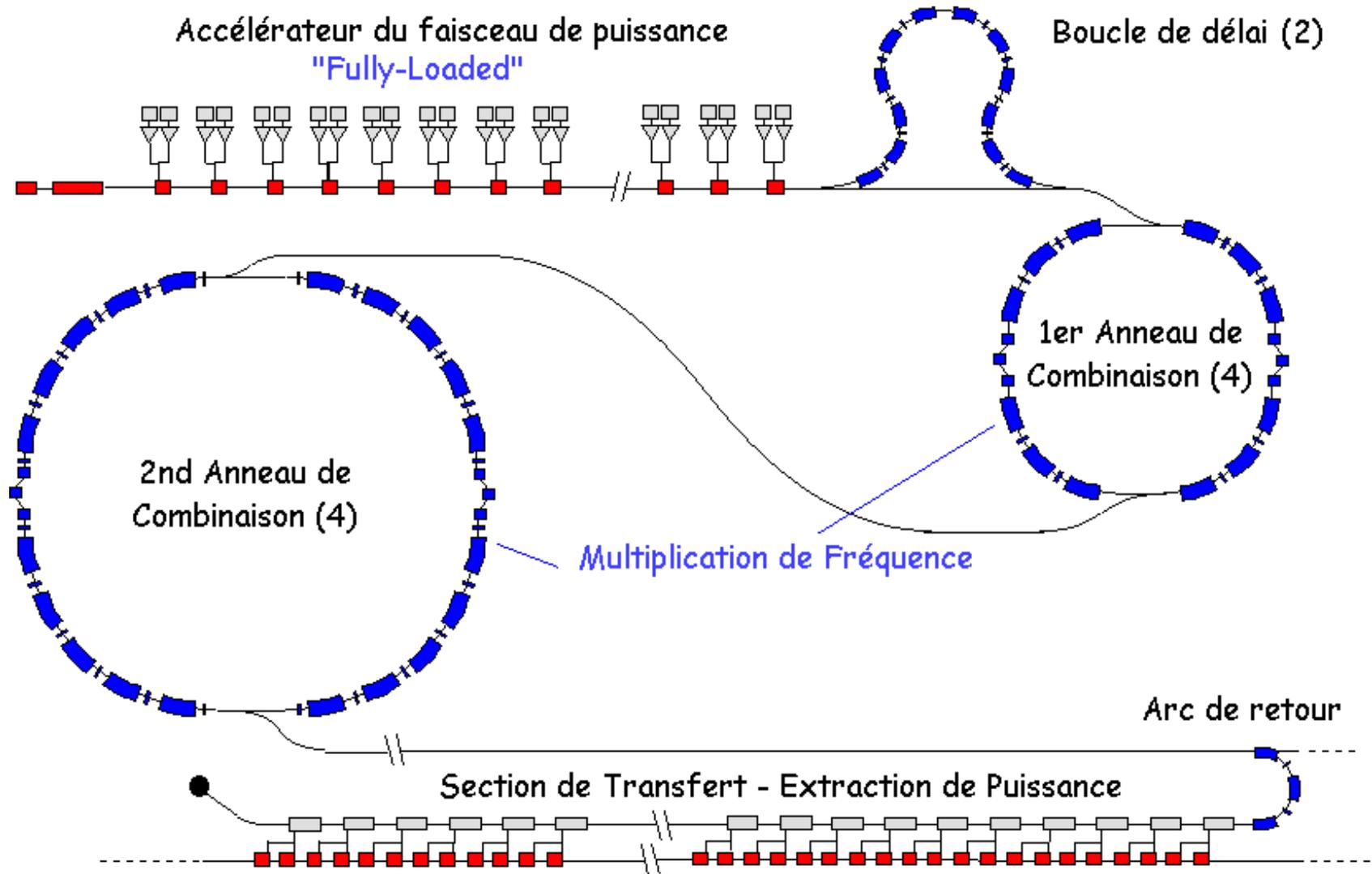
DIVISION DU FAISCEAU DE PUISSANCE

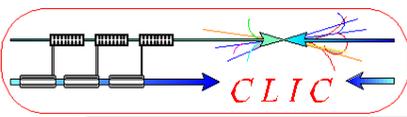
L'impulsion initiale est divisée en plusieurs faisceaux de puissance, chacun alimentant une des 22 sections accélératrices de 700m de l'accélérateur principal.





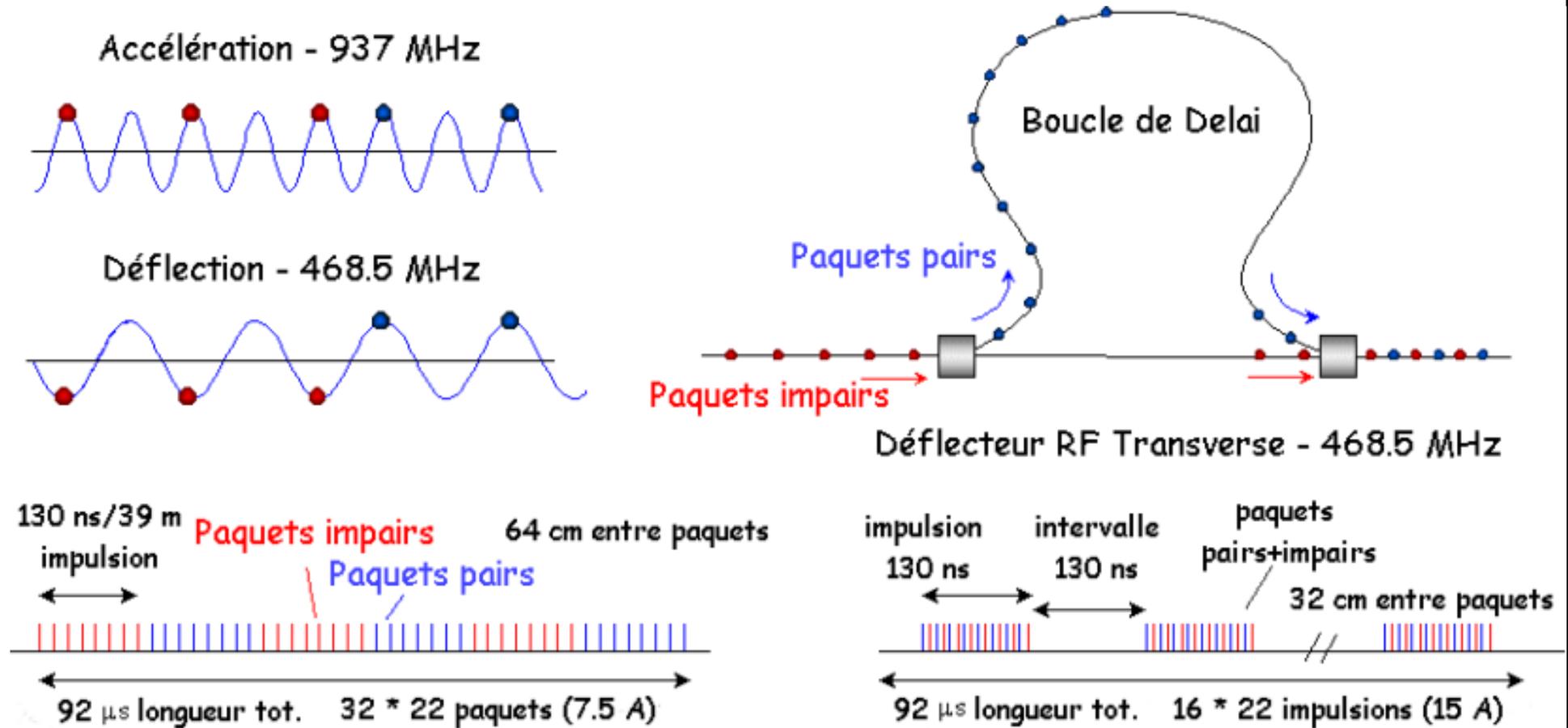
VUE D'ENSEMBLE

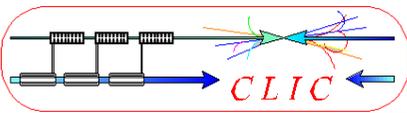




BOUCLE DE DÉLAI - FACTEUR 2

Train continu dans l'accélérateur, intervalle nécessaire pour l'éjection



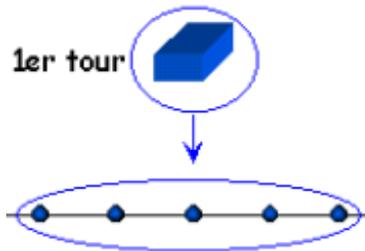
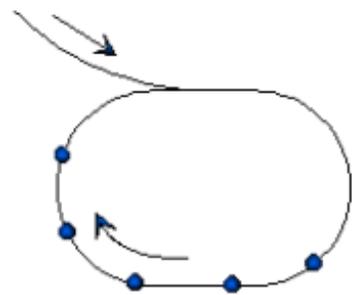


ANNEAU DE COMBINAISON - FACTEUR 4

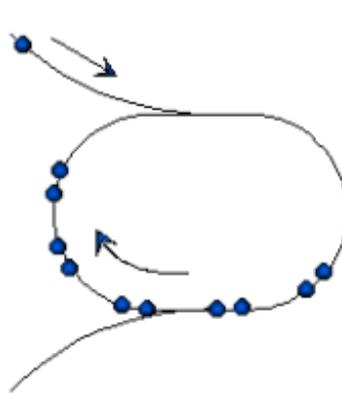


Train d'impulsions initial

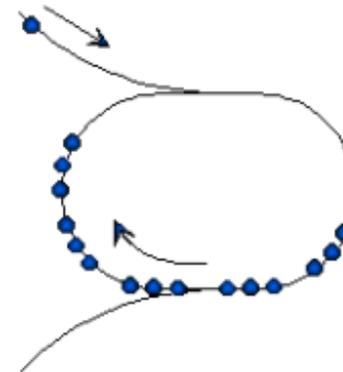
16*22 paquets, 130 ns longueur d'un paquet, 130 ns entre paquets



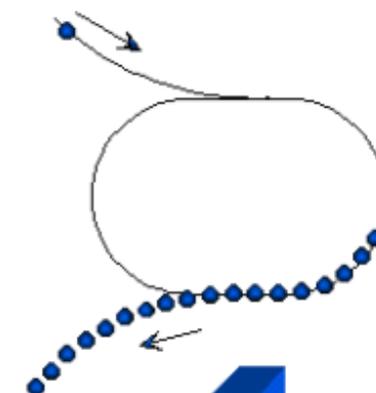
1er tour



2nd tour



3eme tour

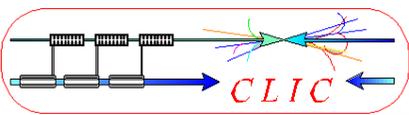


4eme tour

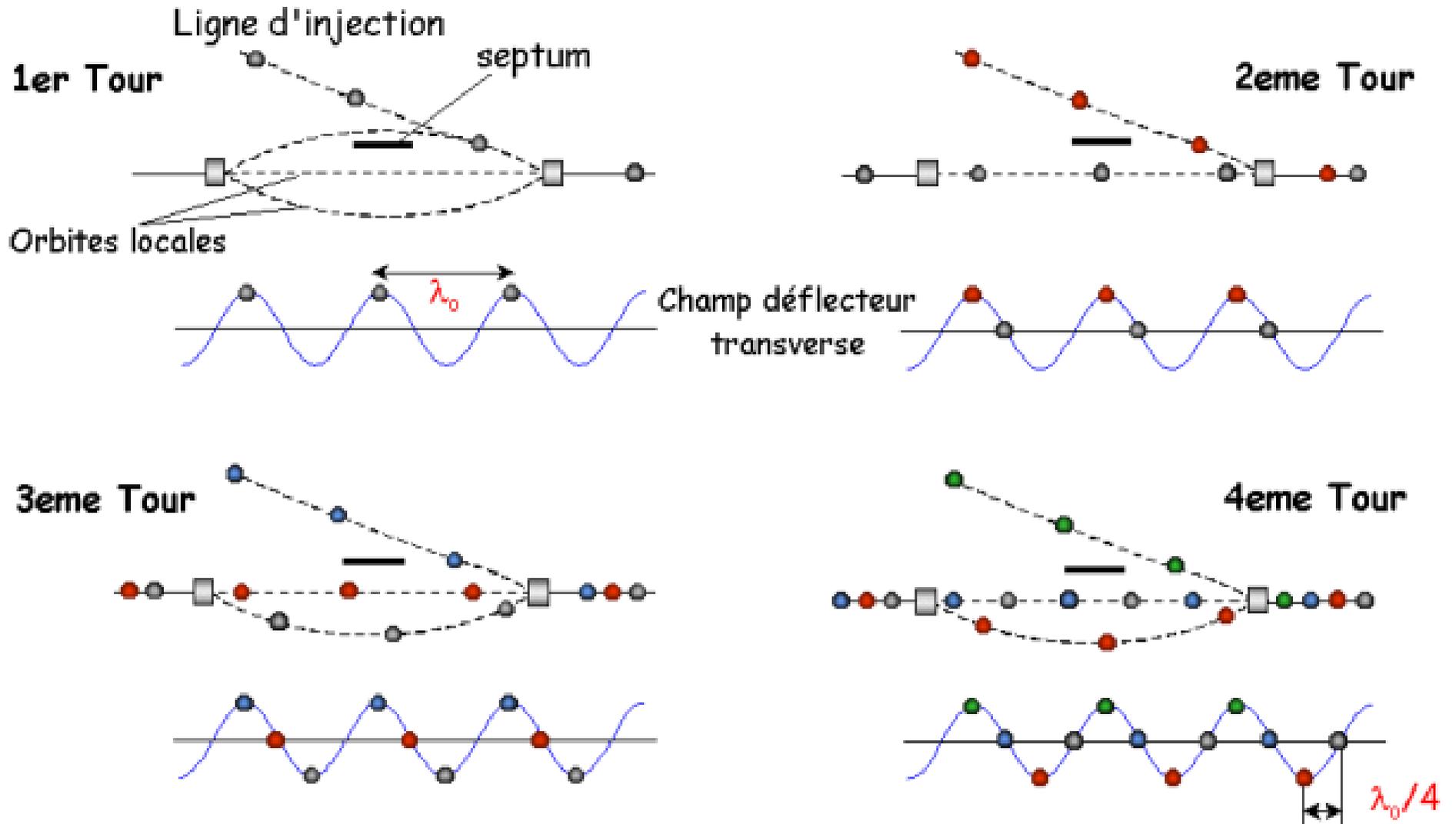
longueur 130 ns

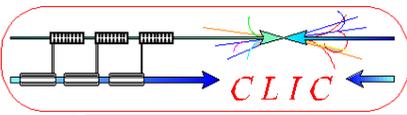
1.04 μ s

Train d'impulsions final 4*22 paquets



FUNNELING





LONGUEUR DES PAQUETS

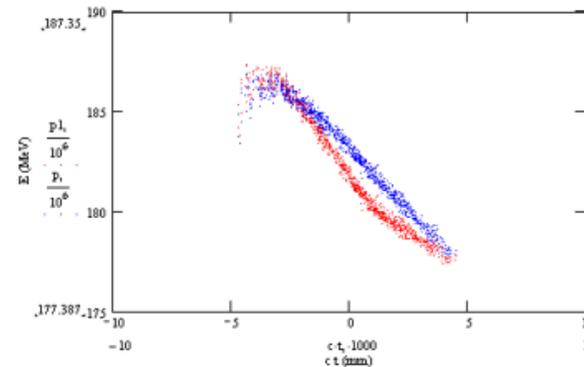
Pour une bonne efficacité du procédé, il faut minimiser les fluctuations entre impulsions et entre paquets, et conserver une longueur de paquet constante.

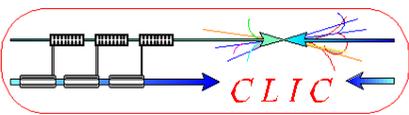
Quelques effets indésirables: rayonnement synchrotronique cohérent et incohérent, non-isochronicité, champ de sillage dans les défecteurs RF, instabilités collectives.

↪ **Isochronicité:** dépendance entre la longueur de trajectoire et la dispersion en énergie

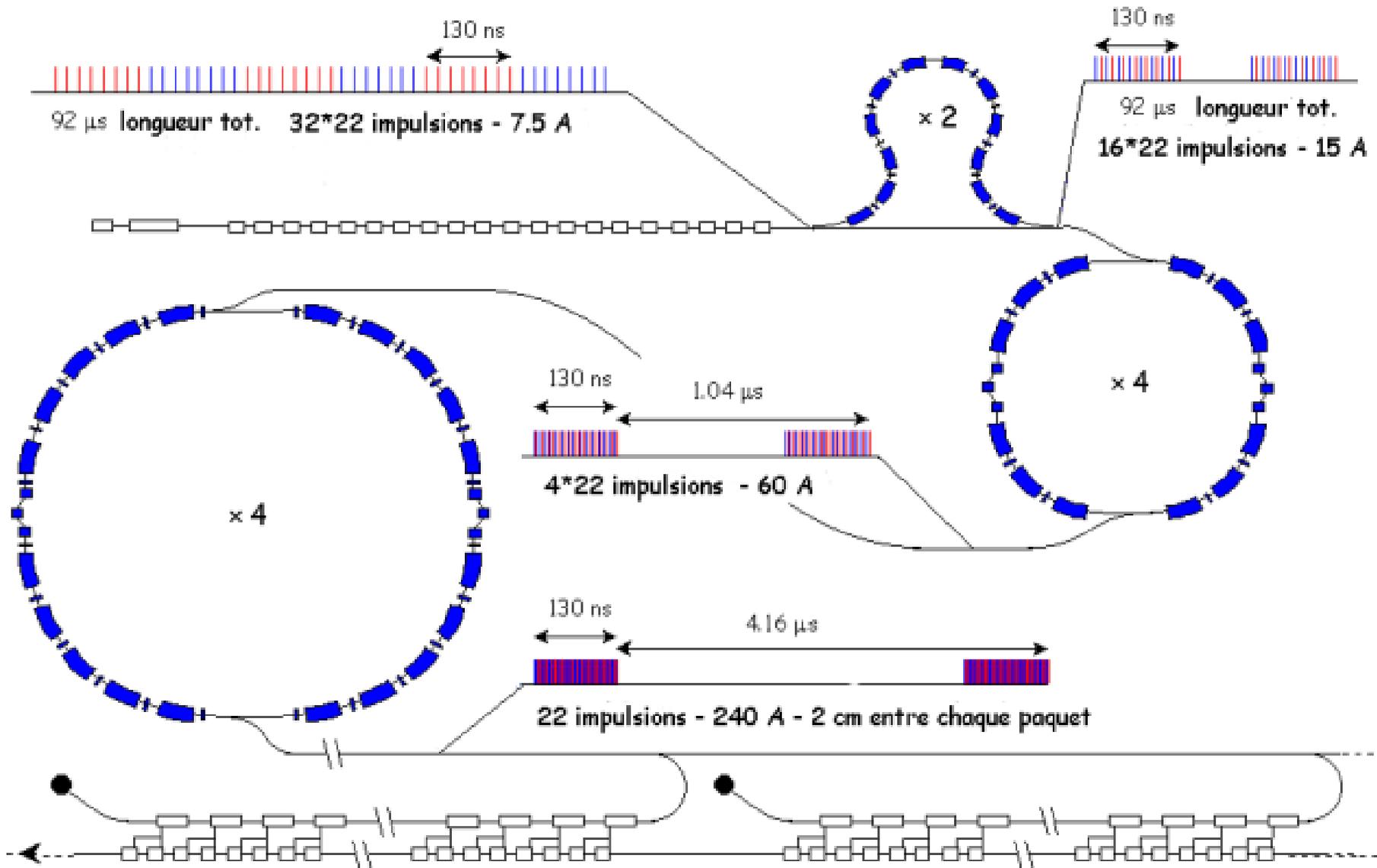
$$\Delta L = \alpha \frac{\Delta p}{p} \quad \alpha = \int_L \frac{D}{\rho} ds$$

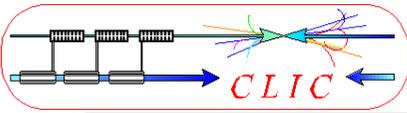
↪ **CSR:** paquets courts ($\sim 1\text{mm}$) et avec une forte charge (17.5 nC), perte d'énergie moyenne et distorsion, $P \propto N^2$





VUE D'ENSEMBLE

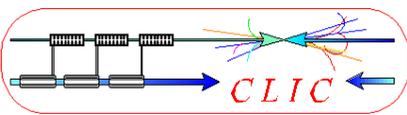




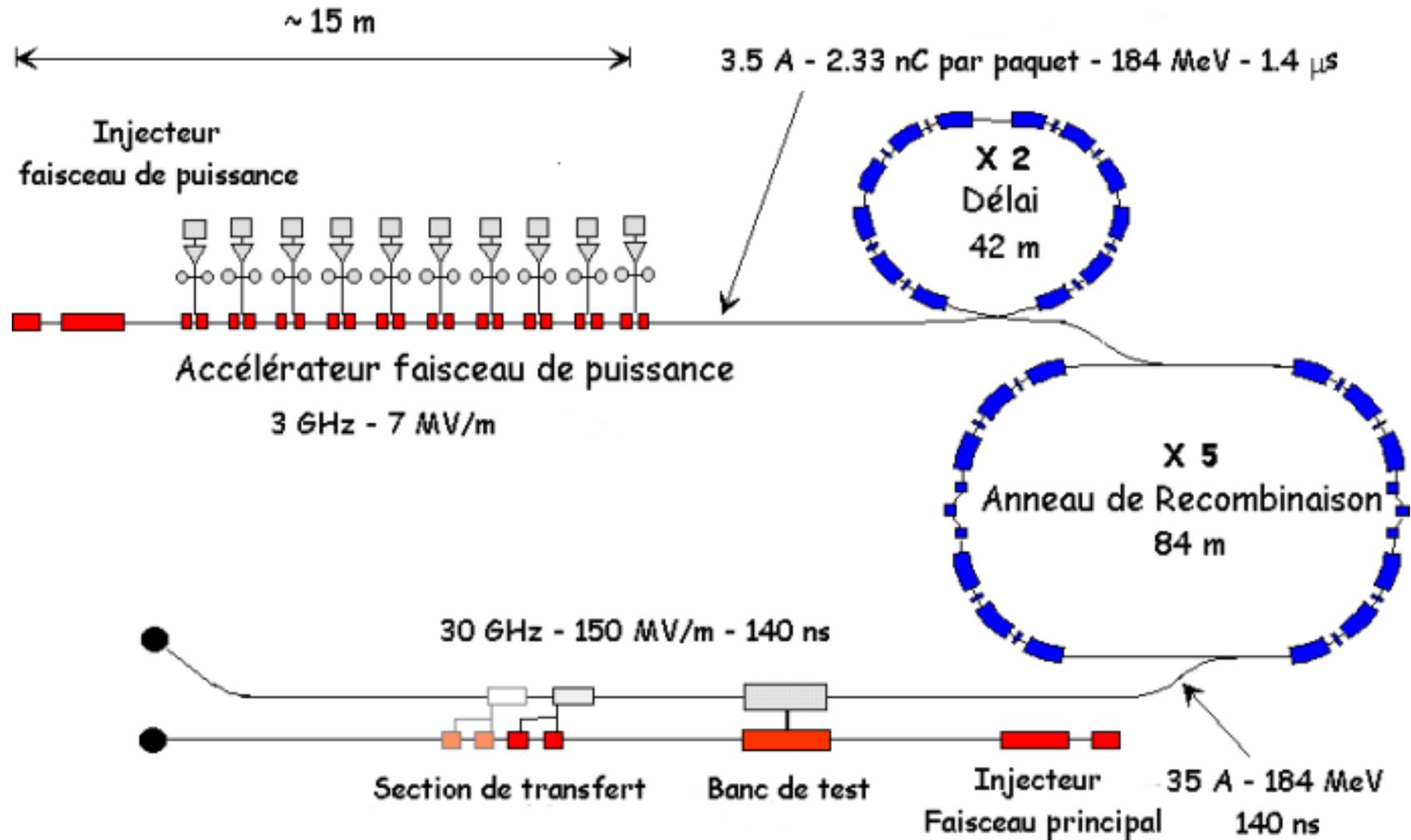
CTF3 - CLIC TEST FACILITY 3

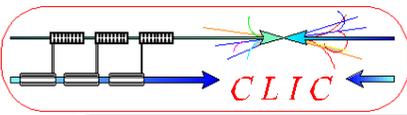
CTF3 a pour but de démontrer la faisabilité technique de la production du faisceau de puissance. C'est une version à petite échelle qui utilise les installations du pré-injecteur LEP (LPI).

- *Fréquence*: Accélérateur à 3 GHz (au lieu de 937 MHz)
- *Energie du faisceau*: Limitée à 180 MeV (au lieu de 1.2 GeV) par les klystrons
- *Courant du faisceau*: 3.5 A (au lieu de 7.5 A) pour stabilité à 3 GHz
- *Anneau de recombinaison*: Un seul anneau est suffisant pour la démonstration de principe
- *Facteur de combinaison*: Facteur 2×5 (au lieu de $2 \times 4 \times 4$)
- *Décélération*: Une section de transfert unique et plus courte est utilisée car l'énergie du faisceau est plus faible



CTF3





LES TESTS AVEC CTF3

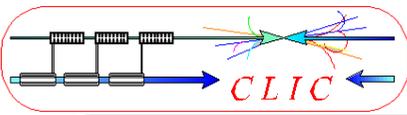
Deux campagnes de tests principales:

1. Le faisceau de Puissance

- Accélérateur en mode "fully-loaded"
- Multiplication de fréquence avec les déflecteurs transverses
- Efficacité de la production de puissance

2. Accélération 30 GHz

- Champ accélérateur nominal de 150 MV/m
- Tests des structures de transfert



CONCLUSION

- CLIC = Projet de collisionneur linéaire à haute énergie et haute luminosité
- Construction réaliste et modulaire
- Idées novatrices nécessitant d'être démontrées expérimentalement \Rightarrow CTF3
- ... ensuite ... haute charge, haute énergie, stabilité du faisceau \Rightarrow **CLIC 1**