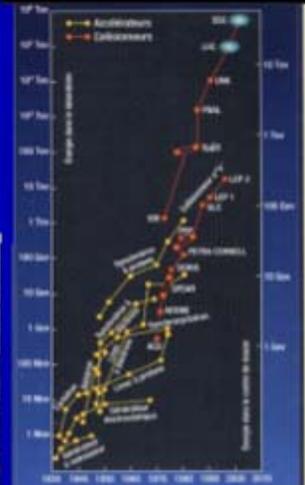
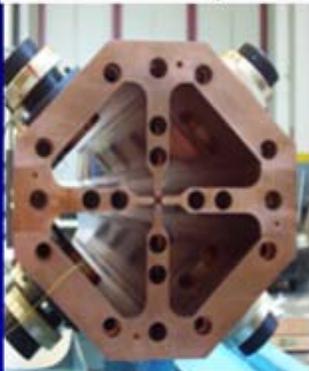




**ECOLE INTERNATIONALE
JOLIOT CURIE
Seignosse - 22-27/09/08**

ACCELERATEURS



P. Ausset Joliot-Curie 2008

Sommaire

RAPPELS SUR LE FONCTIONNEMENT DES ACCELERATEURS

ACCELERATEURS A TENSION CONTINUE

Introduction

Accélérateurs de particules électrostatiques

Accélérateurs à radiofréquences

ACCELERATEURS A CAVITES ELECTROMAGNETIQUES

Accélérateurs linéaires à protons et ions lourds

Accélérateurs à ondes progressives

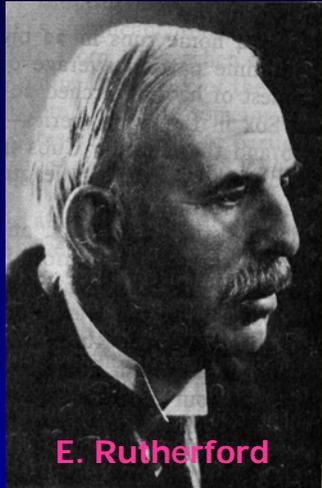
Les cyclotrons

Les synchrotrons: protons, électrons

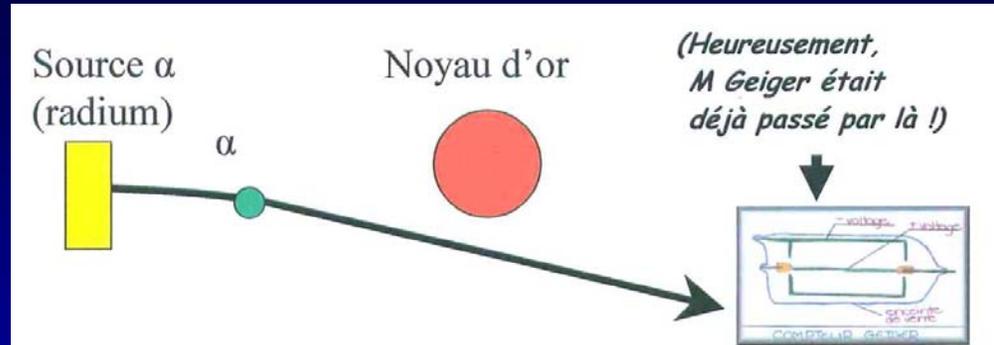
Utilisation des cavités EM supraconductrices

Perspectives

Accélérateurs: les prémices!

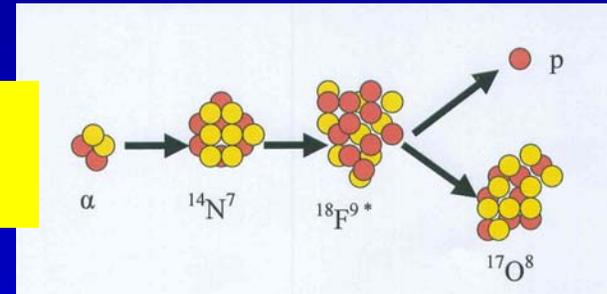


Mise en évidence l'existence d'un noyau dans l'atome



Réussit la première transmutation artificielle (1911) à l'aide d'un projectile rapide : l' α , issu d'une source radioactive.

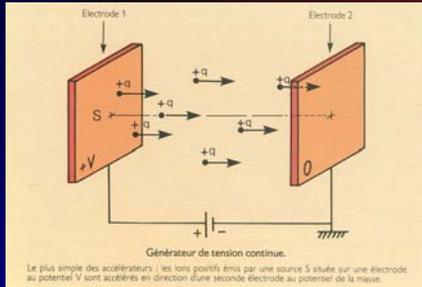
...et il veut des projectiles encore plus énergiques ! (1927)



1 927 E. Rutherford says, addressing the Royal Society :“... *if it were possible in the laboratory to have a supply of electrons and atoms of matter in general, of which the individual energy of motion is greater even than that of the alfa particle, this would open up an extraordinary new field of investigation....*”

Introduction

$$\vec{E} = -\text{grad}V$$



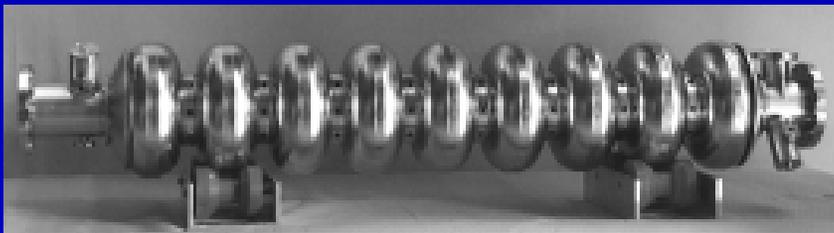
Accroissement
énergie

Contrôle
trajectoire

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$



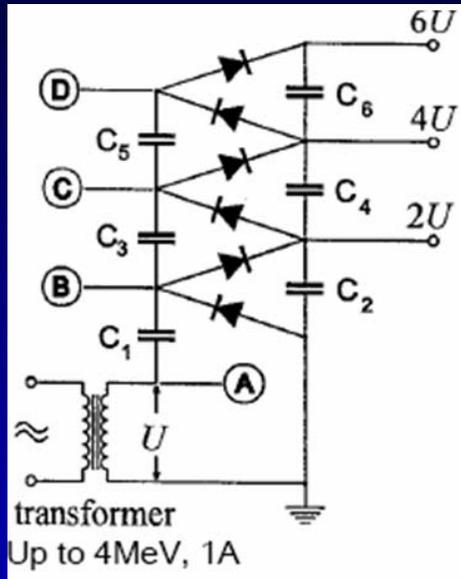
$$\vec{E} = -\text{grad}V - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$



Focalisation

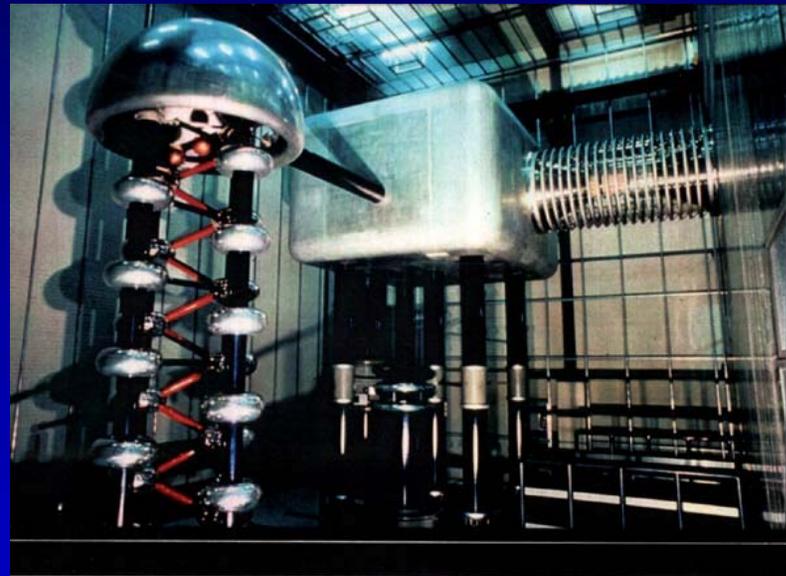


Accélérateurs électrostatiques: Cockroft-Walton



1932: 800kV

Premières fissions réussies et identifiées:
protons de 400 keV sur ${}^7_3\text{Li} \rightarrow {}^4_2\text{He}$



PSI (870 kV): injection cyclotron (72 MeV)

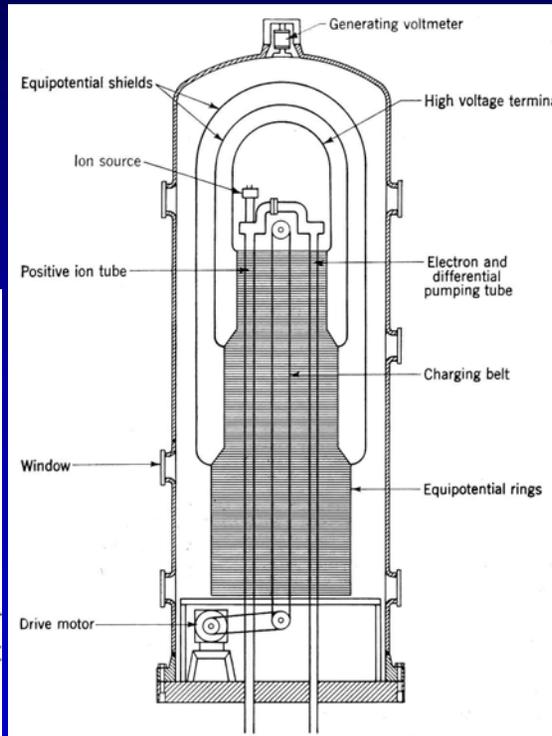
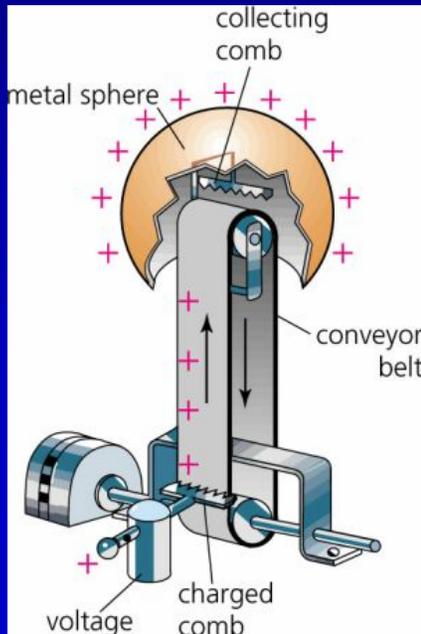
Limites du Cocroft Walton: ~ 1 MeV
-Tension inverse supportée
-Dispersion d'énergie

Accélérateurs électrostatiques : Van de Graaff



Van de Graaff

1930: Accélération 1,5 MeV

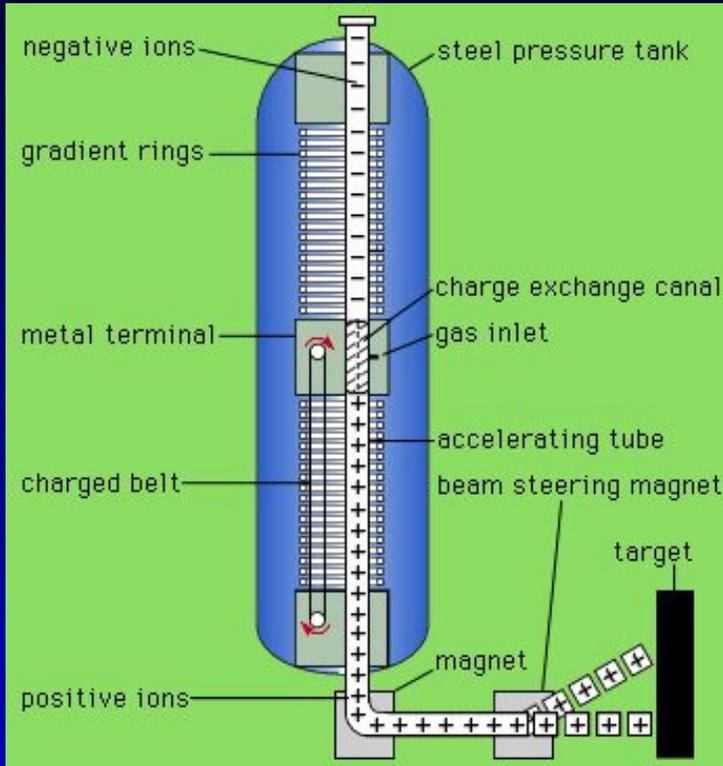


- Un peigne polarisé dépose des charges sur une courroie tournant à 10 – 20 m/s
- Un autre peigne recueille les charges sur un terminal isolé se porté à qq 10 MV
- La source d'ions est polarisée à la HT
- Isolement du système: Air, azote, SF6 ou mélange



Limite Accélérateurs électrostatiques: ~ 20 MeV
Claquage électrique au dessus!

Accélérateurs électrostatiques 2 étages: Tandem VdG



1951: Alvarez => Tandem:

- Création d'ions négatifs par addition d'électrons par capture atomique
- Accélération type Van de Graaff par la H.T. du terminal
- Stripping dans le terminal à la H.T.
- Nouvelle accélération par la H.T. de l'ion redevenu n fois positif

Limite Tandem: ~ 25 MeV

- Source d'ions à 0 V

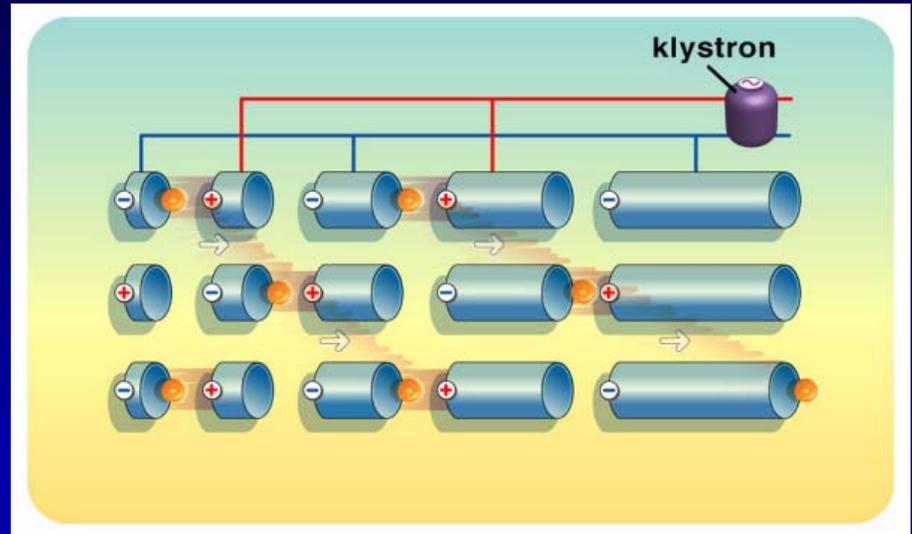
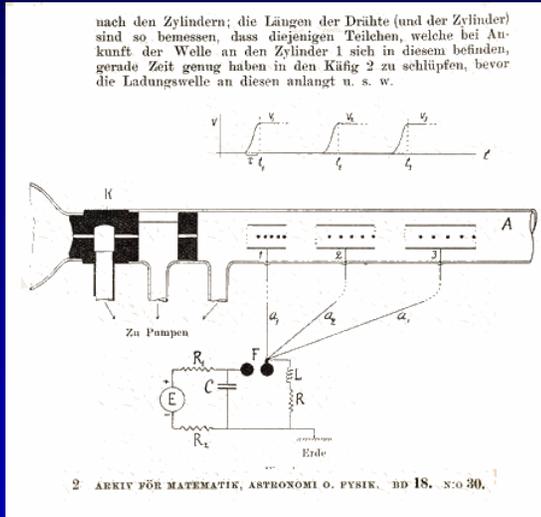
- Courant continu \sim qq μ A



Les accélérateurs linéaires RF à ions dits DTL

1924: Publication de G. Ising
 1928: Wideröe => tension RF

Structure Wideroe



$V=V_0 \sin(2\pi t/\tau)$ est appliquée sur les tubes.

L'accélération dans les intervalles est synchrone si la période τ est constante \rightarrow la longueur de chaque tube de glissement doit être $L_n = v\tau/2 \rightarrow$ augmente avec la vitesse v . (structure à mode π)

1931 à Berkeley : Sloan et Lawrence réalisent une structure à 36 tubes 7 Mhz, 42 kV \rightarrow accélération d'ions Hg à 1,25MeV

1934: 36 tubes et 2,8 MeV

Les accélérateurs linéaires RF à ions dits DTL



Structure Wideroe

Injecteur d'ions lourds Unilac
(GSI)
27 MHz (1971)



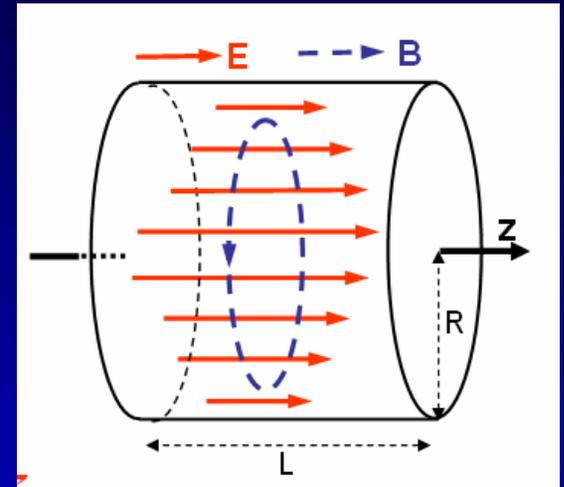
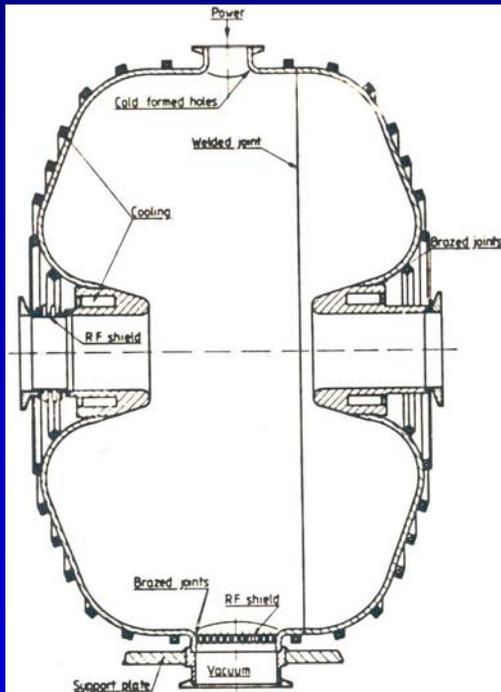
Injecteur d'ions lourds Alice (Orsay)
24.4 MHz, 56 électrodes (1970)

Les accélérateurs linéaires RF à cavités

La cavité la plus simple est cylindrique dite « pill-box » en mode transverse magnétique: le champ E est parallèle à l'axe

Ex1 : $f = 700 \text{ MHz} \rightarrow R = 16.4 \text{ cm}$ et $\lambda = 43,7 \text{ cm}$

Ex2: $Q = 1,5 \cdot 10^4$ pour $R = 11,5 \text{ cm}$; $L = 4 \text{ cm}$, $f = 1 \text{ GHz}$

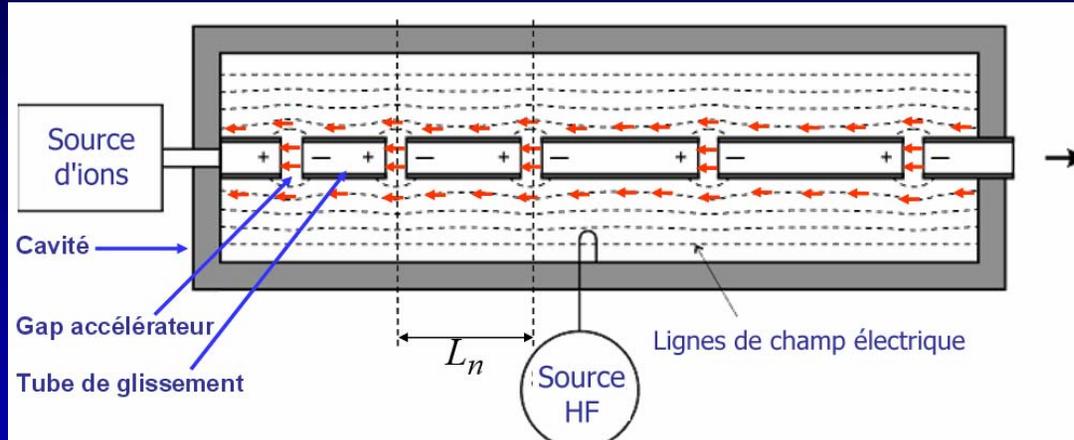


La cavité réelle doit être :

- couplée de façon optimale à la source
- avoir un champ maximal sur l'axe
- dessinée pour éviter les pertes électriques et le multipactor en "arrondissant" les bords.

Les accélérateurs linéaires RF à ions dits DTL

Structure Alvarez



- Longue cavité cylindrique fonctionnant en mode TM_{010}
- Tubes de glissement (drift tube) entourant l'axe lorsque E est décélérateur

$$L_n = v_n \left(\frac{2 \cdot \pi}{\omega} \right) = \beta_n \cdot \lambda \quad \text{avec} \quad \beta_n = \frac{v_n}{c} \quad \text{Mode } 2\pi \text{ ou } \beta\lambda$$

V_n : vitesse à l'entrée du tube n; ω fréquence HF, λ longueur d'onde HF
Fréquence typique de fonctionnement : 200 MHz

Accélérateurs linéaires radiofréquence à ions : structure Alvarez

Les accélérateurs linéaires RF à ions dits DTL

Structure Alvarez



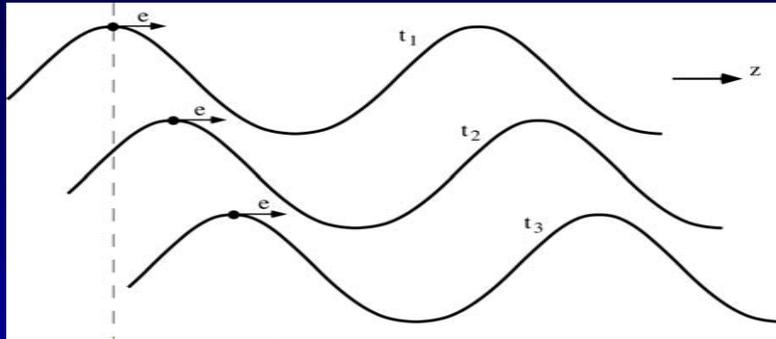
Saturne DTL (Saclay) :
protons \rightarrow 20 MeV, 200 MHz



- Protons d'énergie 50 MeV avec 3 cavités à 10, 30 puis 50 MeV; I faisceau = 150mA
- $F = 203$ MHz, Puissance (structure+ faisceau) = 2,9 + 7,4 MW
- DTL CERN, $L = 30$ m, 128 tubes

Les accélérateurs linéaires électrons

Structure à ondes progressives



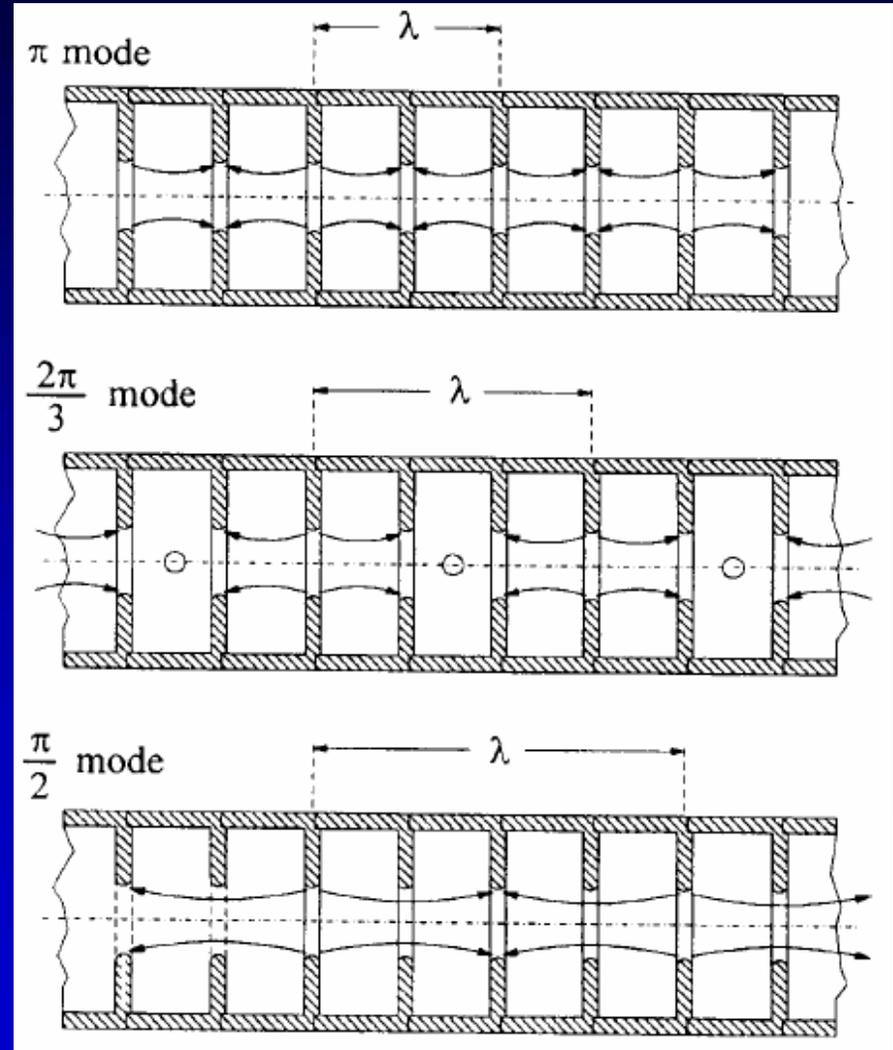
$$E_z = E_0 \cos \left(\omega_{RF} t - \omega_{RF} \frac{v}{v_\phi} t - \phi_0 \right)$$

v_ϕ = vitesse de phase

v = vitesse de la particule

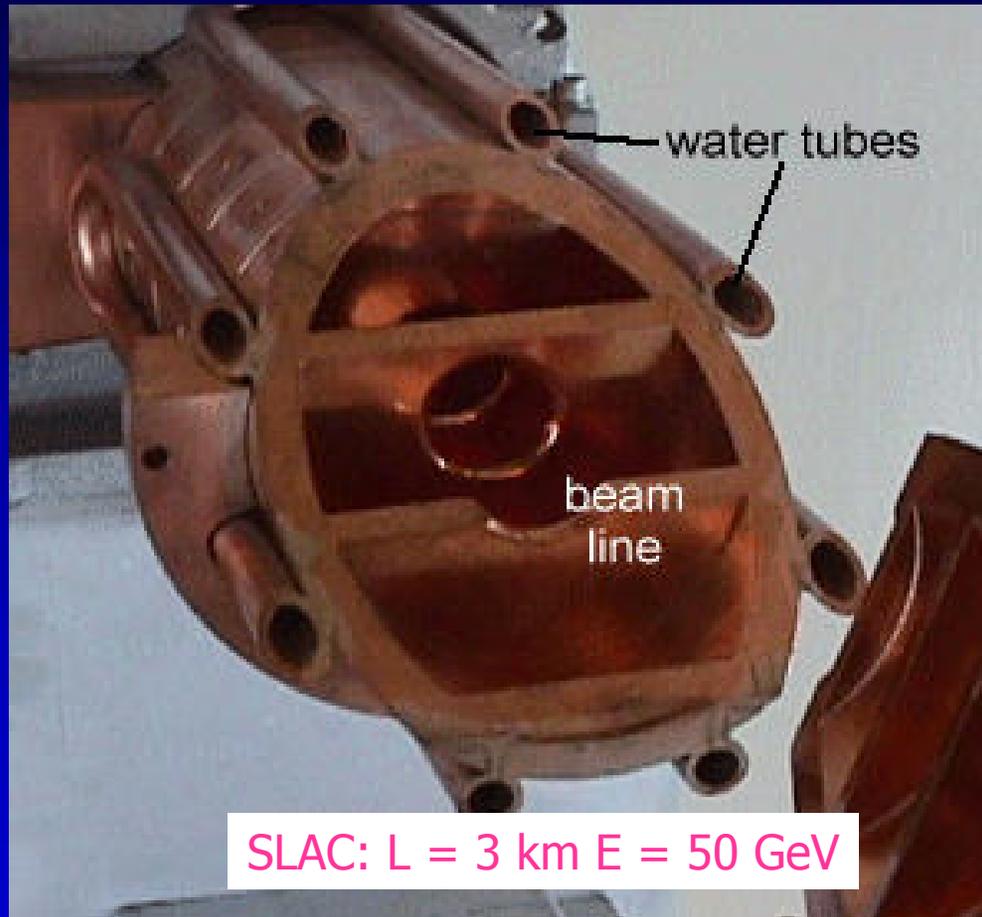
Conditions de synchronisme:

$$v = v_\phi \text{ et } E_z = E_0 \cos \phi_0$$



Les accélérateurs linéaires à électrons

Structure à ondes progressives



SLAC: $L = 3 \text{ km}$ $E = 50 \text{ GeV}$

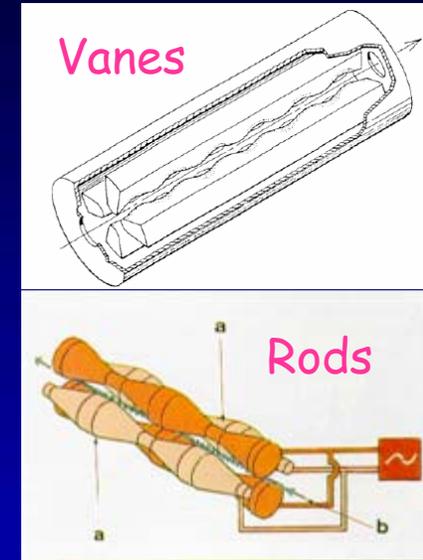
Les accélérateurs linéaires à ions

Structure RFQ

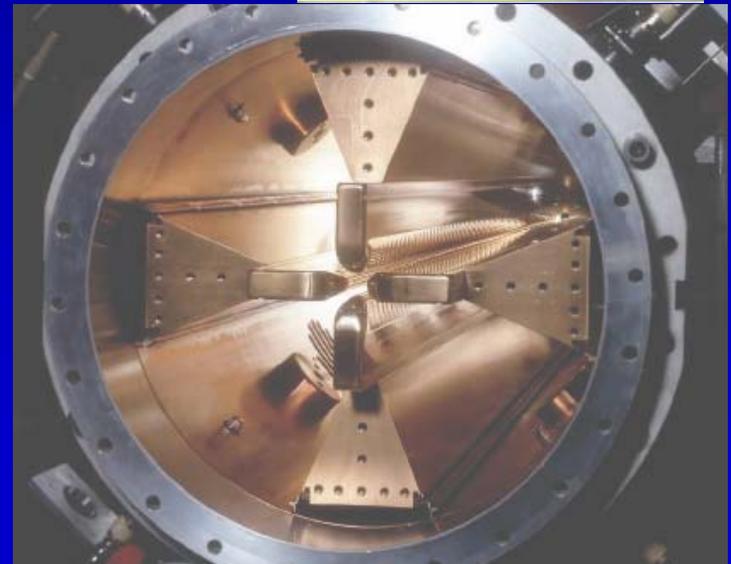
1970 : invention du concept de RFQ par Kapchinskii & Teplyakov

1974: Test d'un RFQ expérimental à Protvino (URSS):
100 keV- 620 keV à 148 MHz, efficacité de 50%

-Structure résonante donnant un champ quadripolaire longitudinal accélérateur et focalisant
Accélération de protons et ions lourds de faible vitesse ($\beta < 0.1$)



CERN: RFQ2 à lames
90 à 750 keV – $f = 202,56$ MHz
 $L = \sim 1,75$ m; $D \sim 0,35$ m



Les accélérateurs circulaires à ions



E. O.
Lawrence



S. Livingstone

Structure Cyclotron classique

1930: 1^{er} cyclotron par E.O. Lawrence :
11 cm de diamètre, protons de 80 keV

1931: Cyclotron de 22,5 cm, protons
de 0,5 MeV avec un courant de 0,01
 μA

1932: Lawrence et Livingstone:
cyclotron à protons de 69 cm, 1.2
MeV.

1939: 1.5 m, 20 MeV sont atteints en
proton (\sim limite due à la relativité)

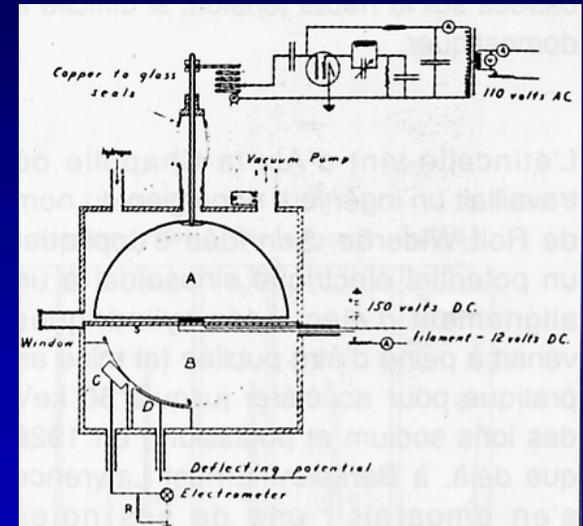
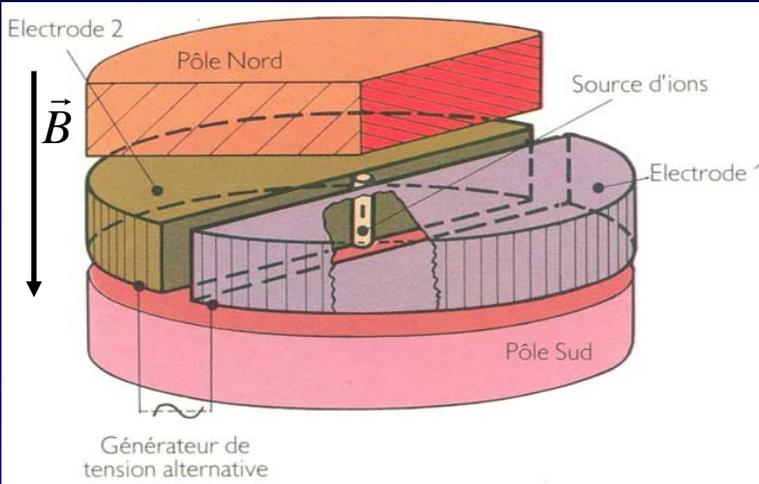


Figure 4
Schéma du premier cyclotron
Le diamètre du dee est de 5 pouces

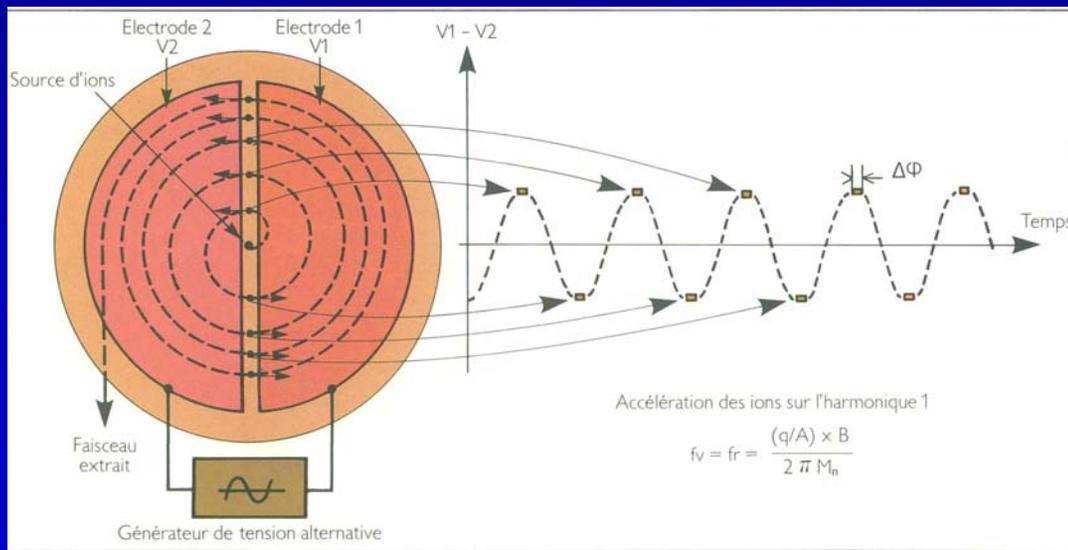
Les accélérateurs circulaires à ions



- Fréquence de rotation constante:

$$f = \frac{|q| \cdot B}{2\pi \cdot \gamma \cdot m_0}$$

Ions non relativistes: champ B constant



Limite du cyclotron classique:

Pour les ions relativistes, l'isochronisme est perdu, B devrait croître avec r
Stabilité verticale du faisceau exige que B décroisse avec r

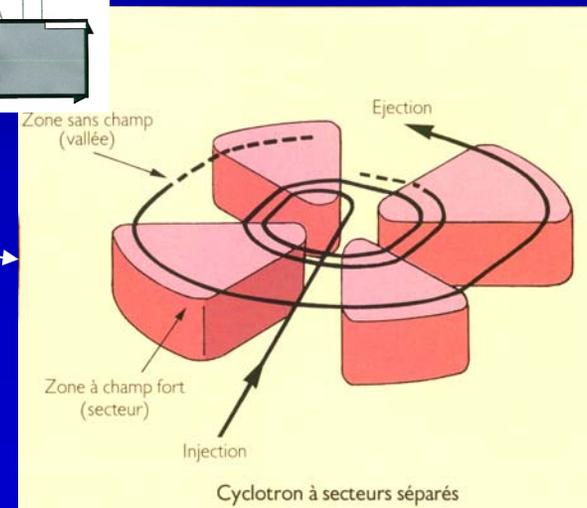
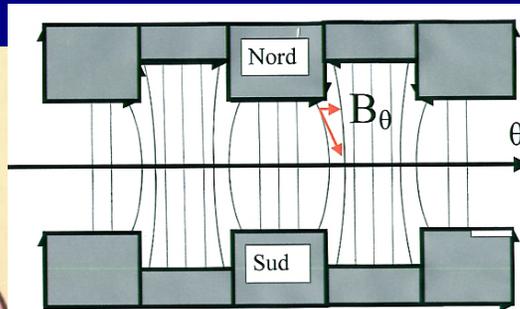
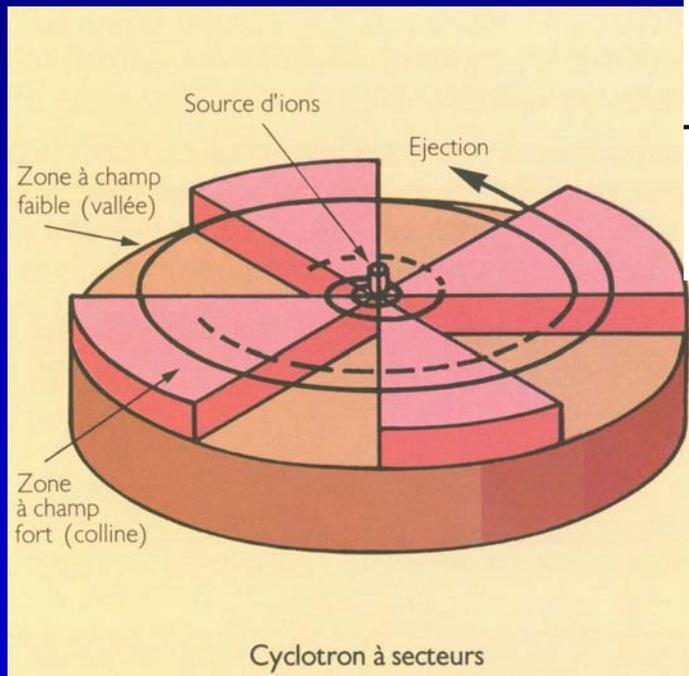
Les accélérateurs circulaires à ions

Structure Cyclotron isochrone

1938: Thomas propose le cyclotron isochrone (Azimuthally Varying Field)

La fréquence reste constante - B varie et a une composante radiale et azimutale

- r : correction de l'effet relativiste, θ : secteurs à champ faible et à champ fort: «vallées» et «collines» → stabilité transversale de la trajectoire



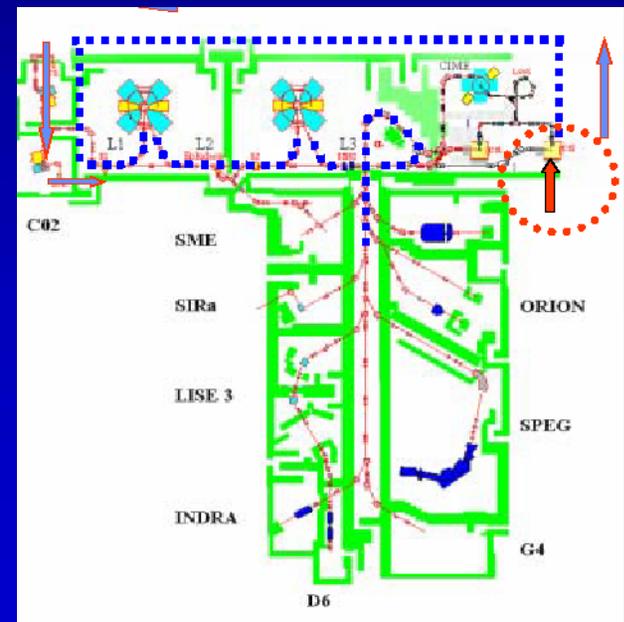
Les accélérateurs circulaires à ions

Structure Cyclotron isochrone



Cyclotron du PSI
590MeV-2mA à 8
secteurs séparés & 4
cavités accélératrices
Prévu pour ESS avec
Mégapie

Ensemble CSS GANIL
Faisceaux stables <100
MeV/u
Faisceaux radioactifs
postaccélérés:
SPIRAL Ganil=Driver,
CIME=postacc.
Projet futur "SPIRAL-2"



Les synchrotrons

1945: Veksler et Mc Millan inventent le synchrotron

1946: Goward et Barnes construisent le premier synchrotron

1949: Mc Millan construit un synchrotron à électrons

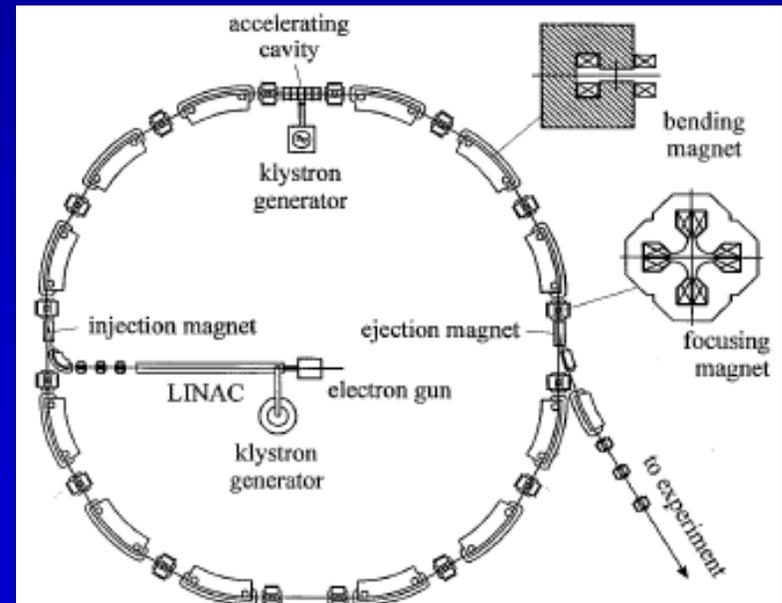
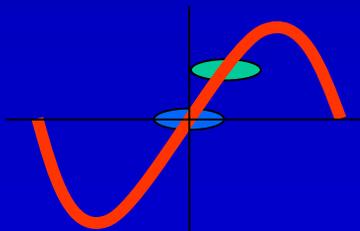
La trajectoire est à rayon constant , Le champ B est variable :

$$\omega_{RF} = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot \frac{v_{particule}}{L} \cdot n \quad \rightarrow \omega_{RF} \text{ varie avec } v_{particule}$$

n : "nombre harmonique" $\rightarrow v_{particule} = cte \text{ alors } \omega = cte$

Gain d'énergie par tour constant:

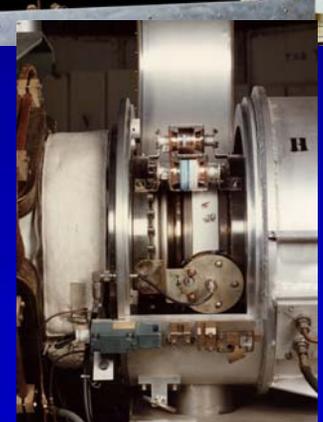
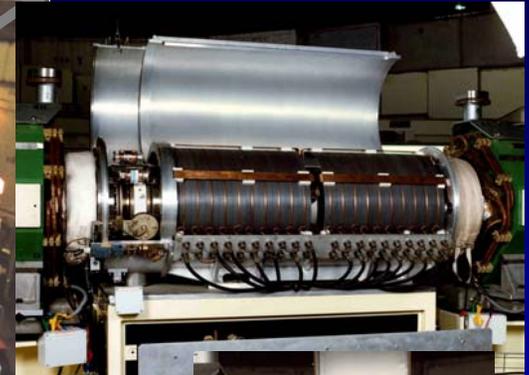
$$\Delta E = qV_0 \sin \Phi_s$$



Les synchrotrons à hadrons



R.F.: 2 Cav. ferrite $\lambda / 4$
160 KHz-2,5 MHz



Synchrotron_MIMAS:
circonférence de $\sim 30\text{m}$
Proton: (750 keV ; 375 keV) – 47 MeV
Ions lourds: 187 keV – 12 MeV

Champ magnétique:
Dipôle: Induction 0,08 T- 0,97 T
Q-pôle: 0.041 T/m 1, 847 T/m

Les collisionneurs

1943

R. Wideroe again.. “...I had thus come upon *a simple method for improving the exploitation of particle energies available .. for nuclear reactions*. As with cars (collisions), when a target particle (at rest) is bombarded, a considerable portion of the kinetic energy (of the incident particle) is used to hurl it (or the reaction products) away.

Only a relatively small portion of the accelerated particle's energy is used to actually to split or destroy the colliding particles. However, *when the collision is frontal, most of the available kinetic energy can be exploited.*

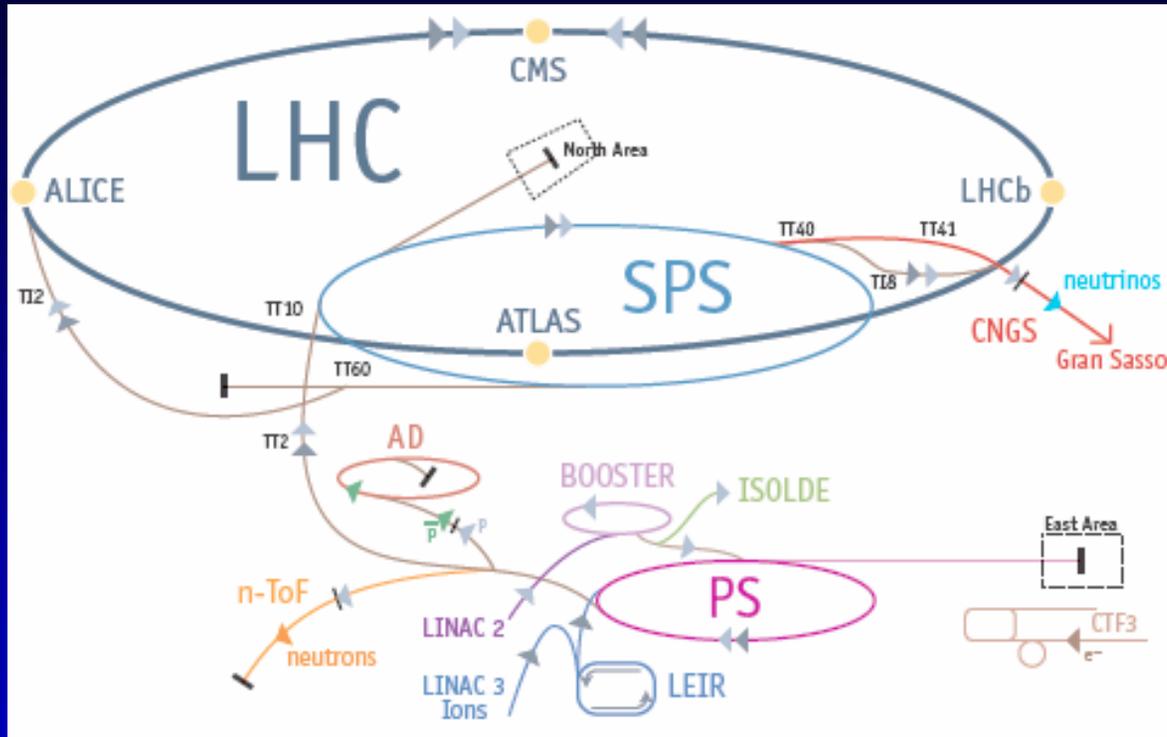
For nuclear particles, relativistic mechanics must be applied, and .. the effect .. be even greater “.

In addition :

“... If it were possible to *store the particles in rings for longer periods*, and if these 'stored' particles were *made to run in opposite directions*, the result would be one opportunity for collision at each revolution.

Because the accelerated particles would move very quickly they would make many thousand revolutions per second and one could expect to obtain a collision rate that would be sufficient for many interesting experiments.”

Les synchrotrons à hadrons



LHC:
 protons 7 TeV
 Pb 54+: 2,76 TeV / A

SPS: 450 GeV

P.S. : 24 GeV

BOOSTER: 1,4 GeV

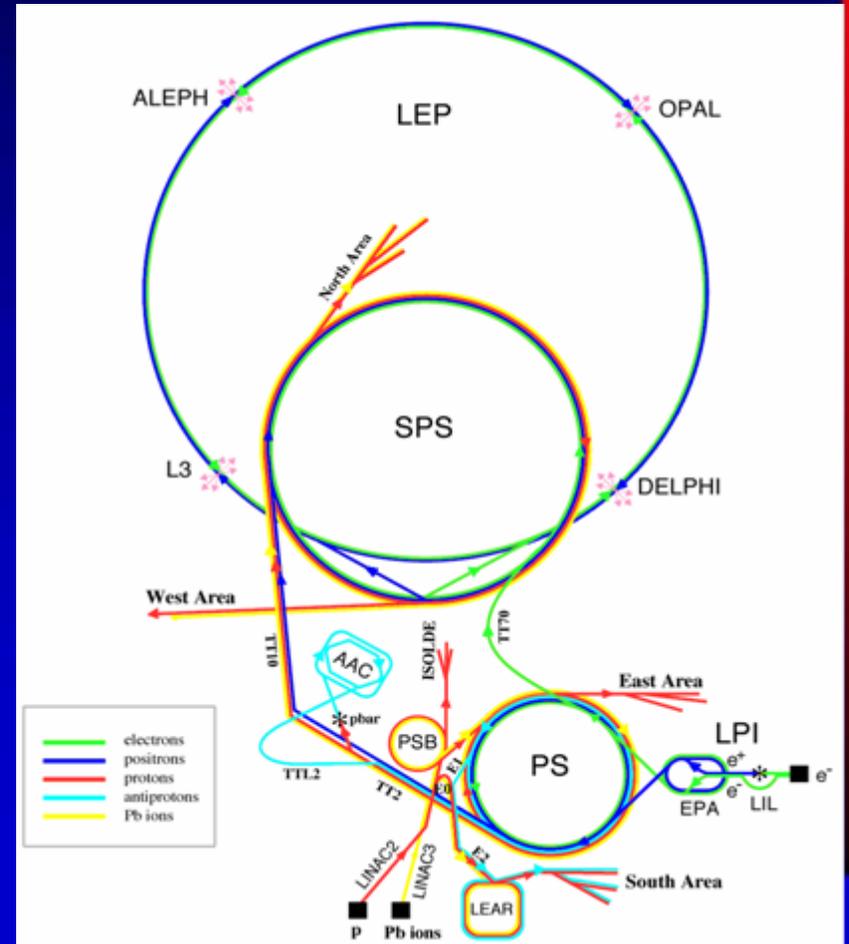
- 1232 dipôles principaux cryogéniques: 1,9°K; 8,33 T max; 11700 A. - 392 Qpôles
- Energie stockée dans les aimants: 11 GJ
- 8 cavités supra (4,5°K) RF par faisceau. Champ 5 MV/m . 400 MHz
- Durée de remplissage: 4'20" par anneau. Durée accélération: 20'. Durée vie: 10 h
- Faisceau: 2808 bunches x $1,1 \cdot 10^{11}$ p/bunch - 25 ns entre bunch - Energie: 350 MJ
- Luminosité: 10^{34} cm⁻².s⁻¹. - $600 \cdot 10^6$ collisions par seconde

Les synchrotrons à électrons

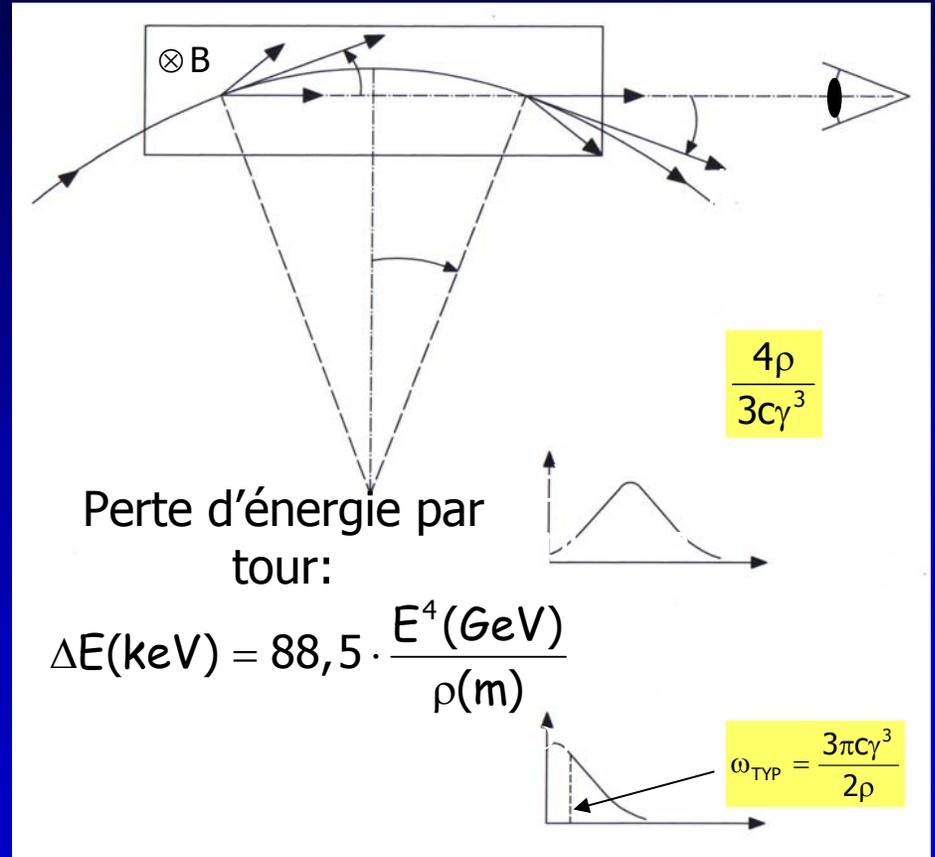
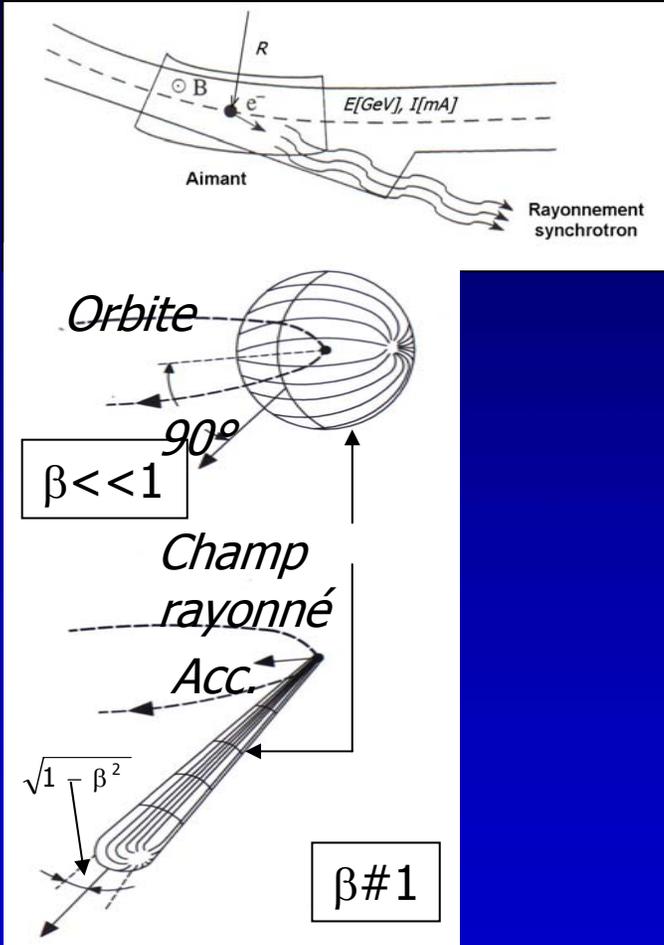
- L.E.P.2 pas une source R.S. mais un collisionneur électron – positron 2 x 100 GeV
- R = 3100 m et B= 0,107 T à 100GeV
- Sept 1999: 208 Gev avec 272 cavités supra:
- Perte énergie / tour: 2.85 GeV (L.E.P. 100)



LEP Tunnel, 27 Km circumference

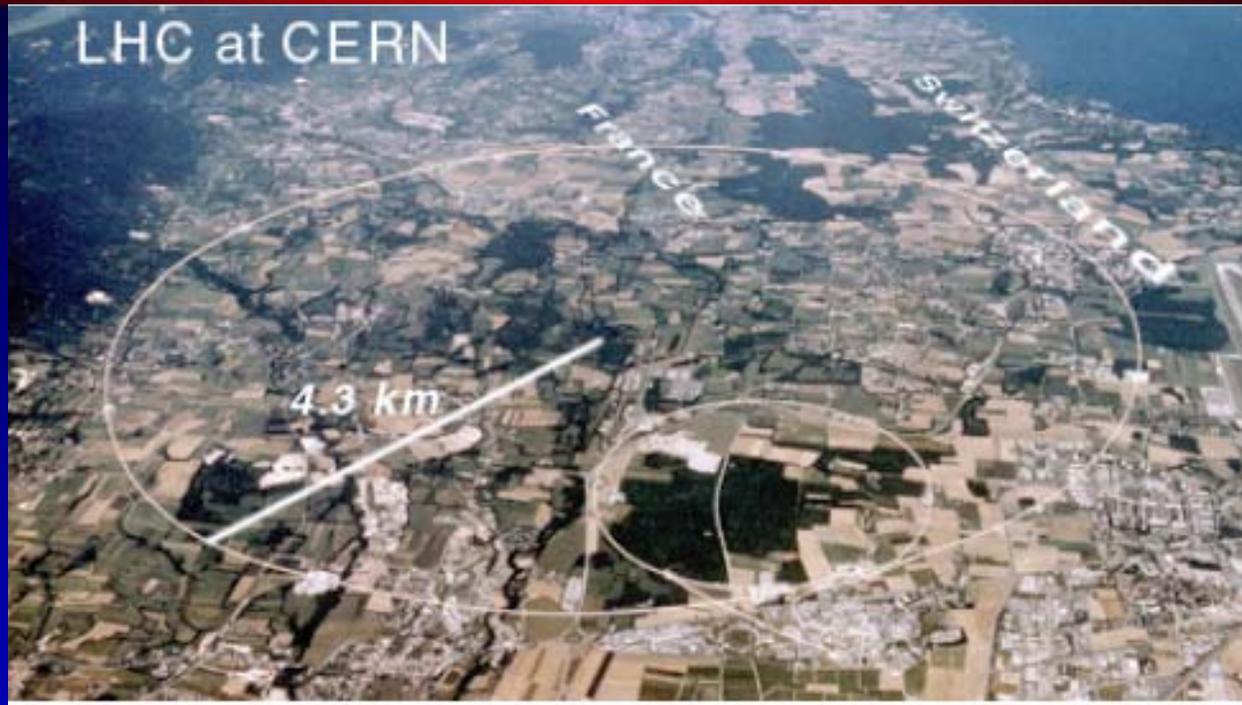


Rayonnement synchrotron



$\theta \approx \frac{1}{\gamma} = \frac{511}{E[\text{keV}]}$ vitesse proche de c

Limite du synchrotron



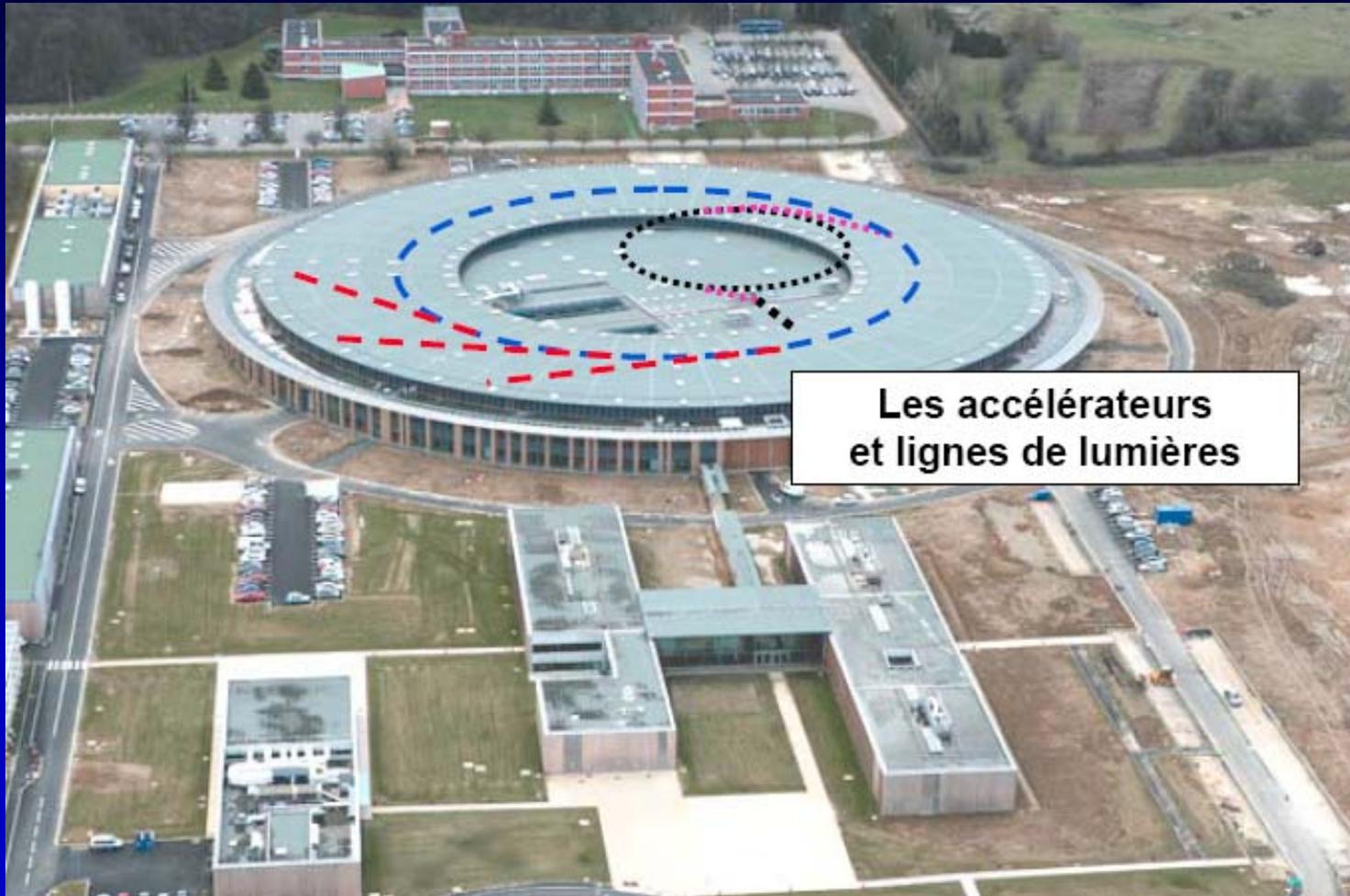
Limite accélération de proton dans LHC:
Rayonnement synchrotron: $\Delta E \approx 6,65 \text{ keV} / \text{tour}$

Augmenter Rayon (?)

$$\rho = \left| \frac{p(t)}{q \cdot B(r, t)} \right|$$

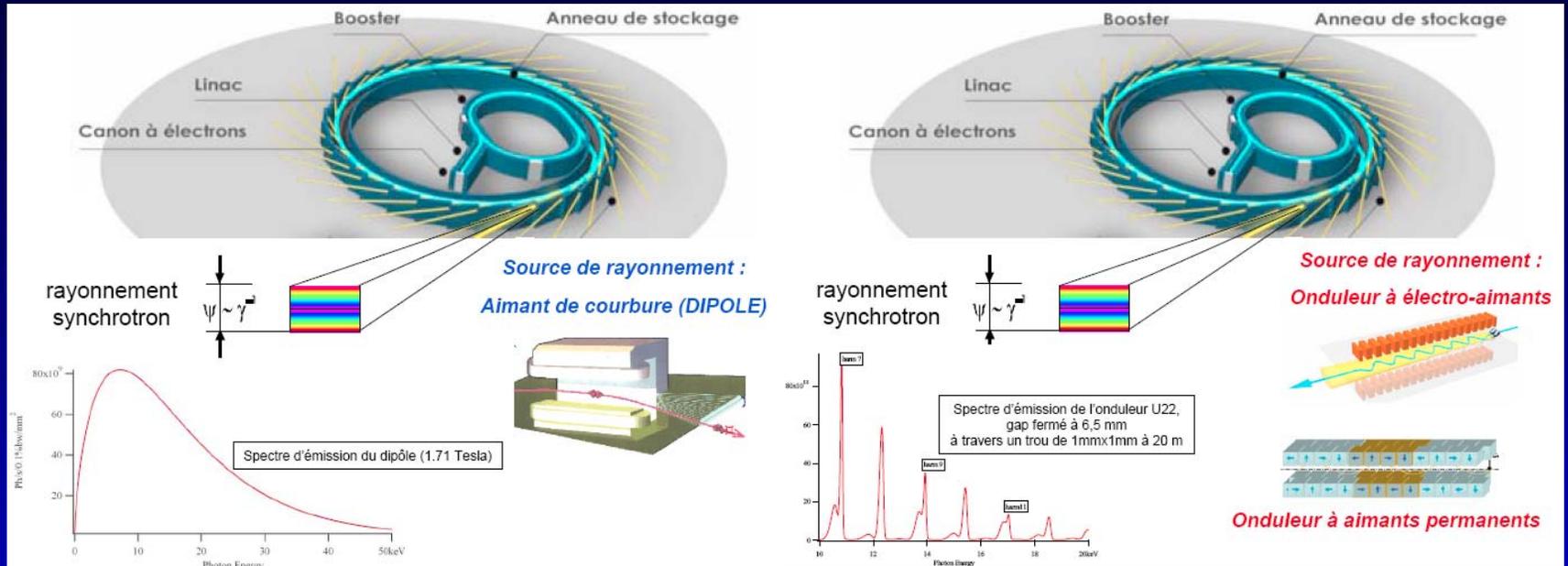
Limite accélération e- dans LEP: puissance rayonnée / tour : $\sim 20 \text{ MW}$
→ Solution : accélérer des e- en ligne droite!

Les accélérateurs à R. synchrotron



Les accélérateurs
et lignes de lumière

Le synchrotron SOLEIL



Anneau de stockage:
 Circonférence: 354,1m
 Energie: 2,75 GeV
 F révolution : 0,846 MHz
 I faisceau= 500 mA

Anneau booster:
 Circonférence: 157m

Linac:
 500 mA dans 416 bunches
 100 mA dans 8 bunches

Lignes de lumière:
 43 lignes possibles:
 11 en opération: oct 2007
 21 lignes sur onduleur

La cavité supraconductrice

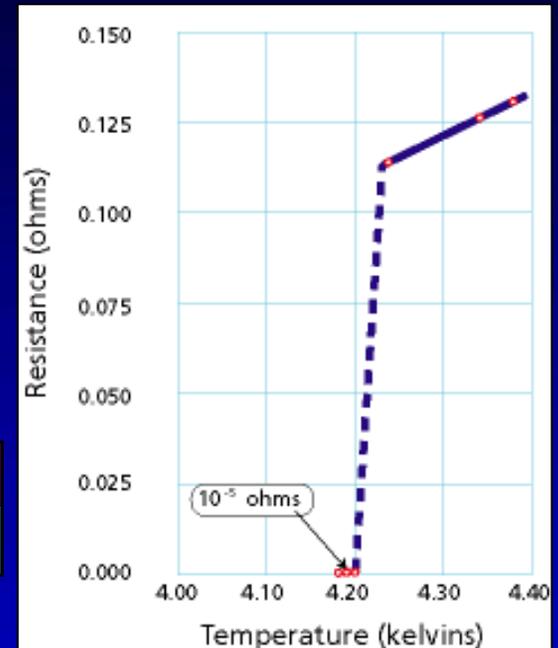
Le phénomène de supraconductivité a été observé pour la première fois en 1911 par Kamerlingh Onnes en mesurant la résistance d'un échantillon de mercure dans l'hélium liquide.

La supraconductivité n'apparaît qu'en dessous d'une certaine température, appelée température critique

Matériau	Ti	Al	Sn	Hg	Pb	Nb	Nb ₃ Sn	YBa ₂ Cu ₃ O ₇
T _c [K]	0,4	1,14	3,72	4,15	7,9	9,2	18	92

Hélium liquide
→ 4,2 K

Azote liquide
→ 77 K



Avantage inhérent aux cavités froides :

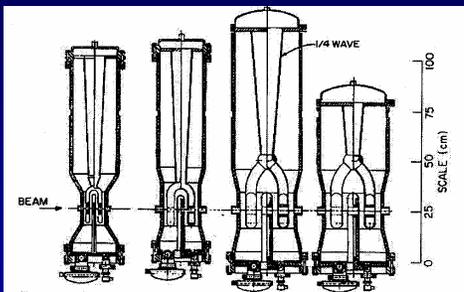
Dissipations quasi-négligeables sur les parois de la cavité (grâce à la supraconductivité) → ~100% puissance HF injectée est fournie au faisceau : EXCELLENT RENDEMENT HF !!!

La cavité supraconductrice

$\beta = 0,01$

$\beta = 0,1$

$\beta = 1$



Structures inter-digitales (ATLAS, Argonne)
48 et 72 MHz - $\beta = 0,009$ à $0,037$



Résonateurs quart d'onde (ALPI, Legnaro)
80 à 352 MHz - $\beta = 0,047$ à $0,25$

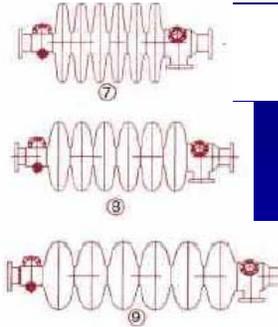
Cavité ré-entrante (Legnaro)

352 MHz - $\beta \geq 0,1$



Cavités elliptiques

350 MHz à 3 GHz - $\beta = 0,47$ à 1



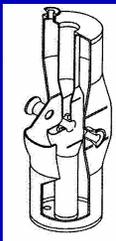
Cavité TTF
1,3 GHz - $\beta = 1$



RFQs supra (Legnaro)
80 MHz - $\beta = 0,009$ à $0,035$



Résonateurs split-ring (ATLAS, Argonne)
97 et 145 MHz - $\beta = 0,06$ à $0,16$



Résonateur demi-onde (Argonne)

355 MHz - $\beta = 0,12$



Cavités spoke (CNRS Orsay)

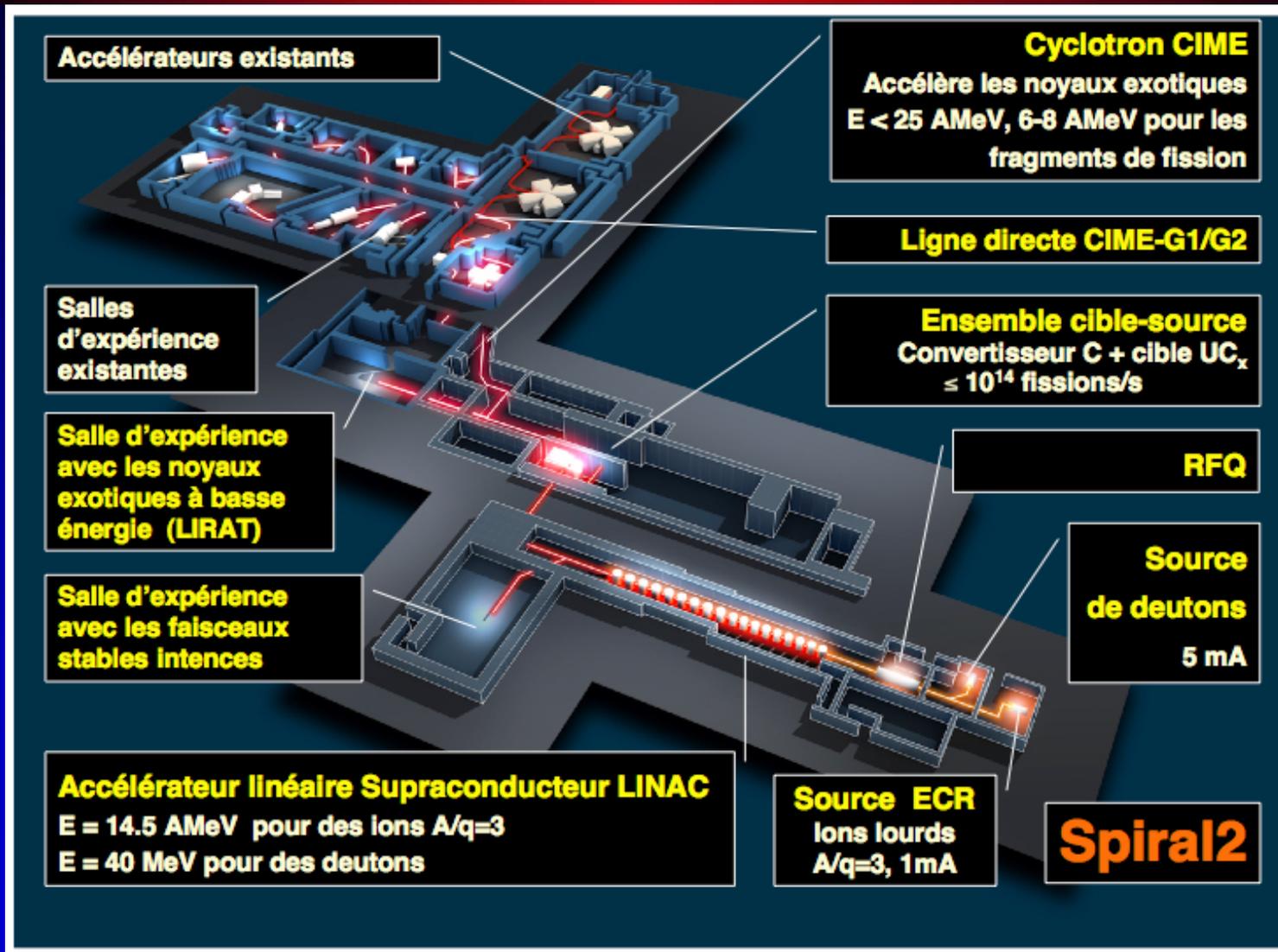
352 MHz - $\beta = 0,15$ et $0,35$



Cavité APT (Los Alamos)

700 MHz - $\beta = 0,64$

Les accélérateurs à CSC

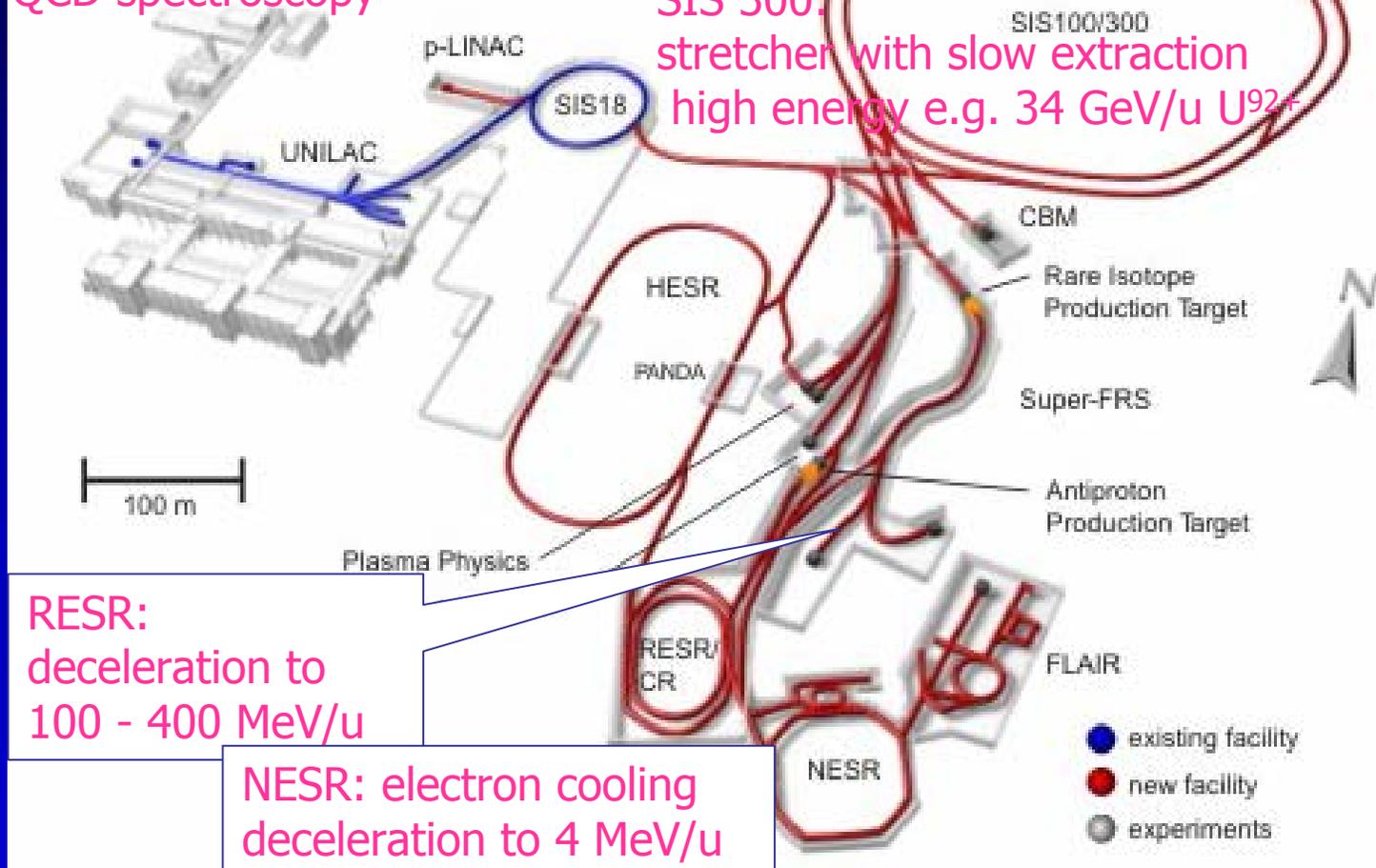


Les accélérateurs: Perspectives

HESR:
pbar-p collisions à 1-15 GeV
QCD spectroscopy

SIS 100: high current low charge states
→ goal e.g. 10^{12} U^{28+} at 1 GeV/u

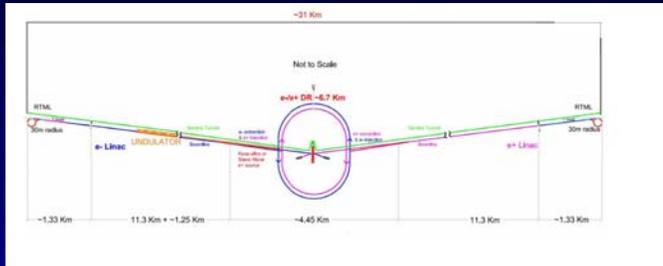
SIS 300:
stretcher with slow extraction
high energy e.g. 34 GeV/u U^{92+}



RESR:
deceleration to
100 - 400 MeV/u

NESR: electron cooling
deceleration to 4 MeV/u

Les accélérateurs: Perspectives

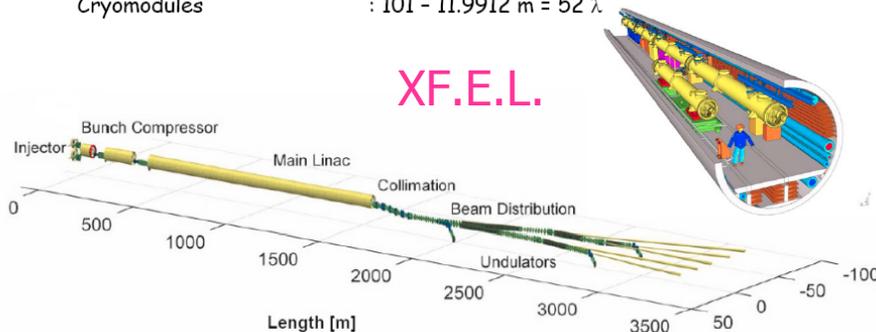


2 Linéaires de 2x250 GeV
2 anneaux d'amortissement

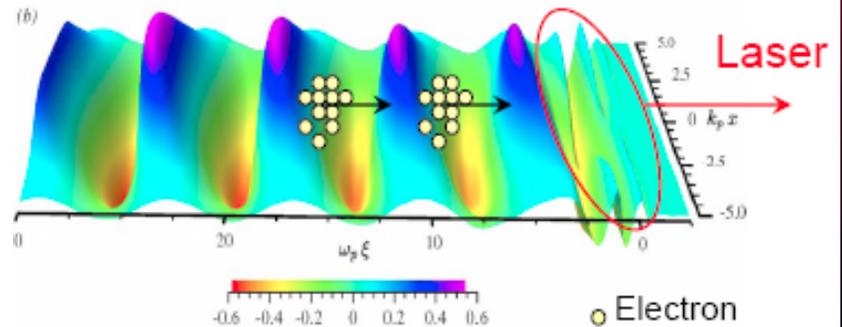
Coût construction (€ 2005) : 850 M€
Energie : 17,5 GeV
Longueur : 3.4 km (Linac : 1.7 km)

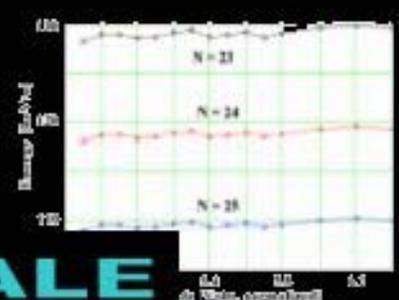
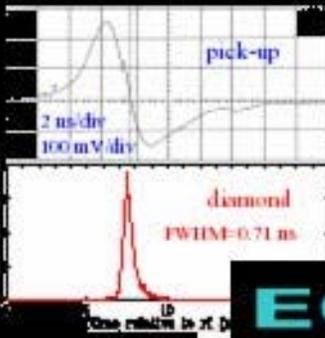
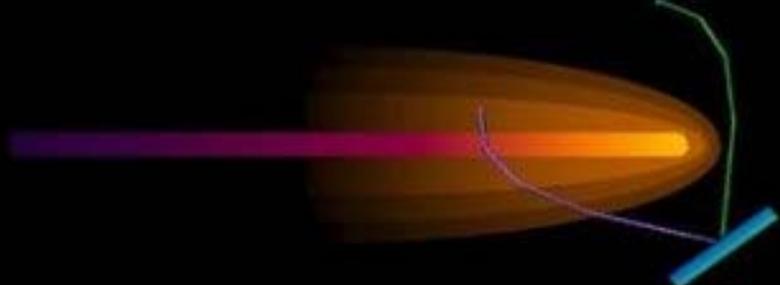
Cavités : 808 - Nb RRR 300 - $E_{acc} = 23.6 \text{ MV/m} - Q_0 > 10^{10}$
Cryomodules : 101 - 11.9912 m = 52 λ .

XF.E.L.



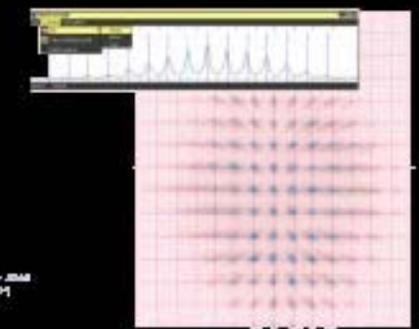
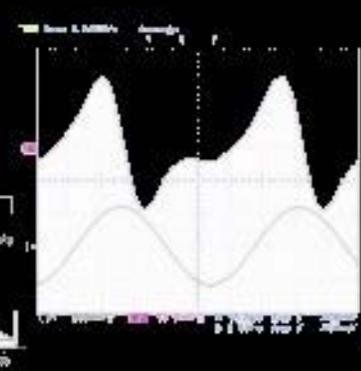
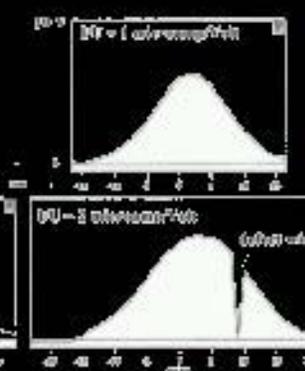
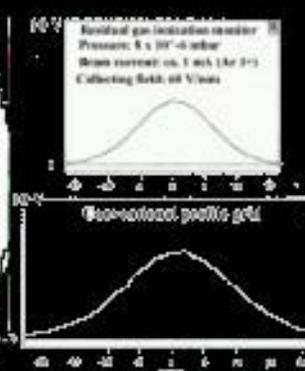
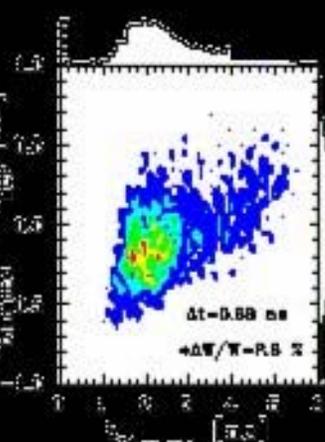
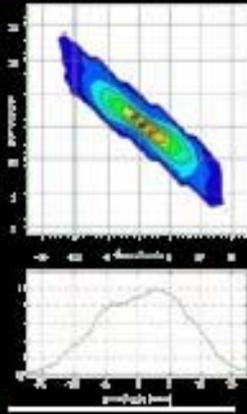
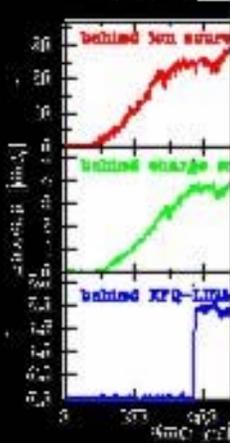
Laser in plasma displaces electrons
Wake velocity = Group velocity of light





**ECOLE INTERNATIONALE
JOLIOT CURIE
Seignosse - 22-27/09/08**

**INSTRUMENTATION &
DIAGNOSTICS DE FAISCEAU**



Sommaire



GENERALITES SUR L'INSTRUMENTATION DES FAISCEAUX

LES CAPTEURS ASSOCIES AUX MESURES FONDAMENTALES

Intensité

Position

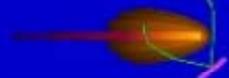
Profils transverses

LES CAPTEURS ASSOCIES AUX MESURES COMPLEMENTAIRES

Phase, énergie, longueur de bunch, émittance & pertes

AUTRES ASPECTS DE L'INSTRUMENTATION

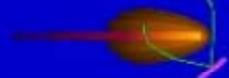
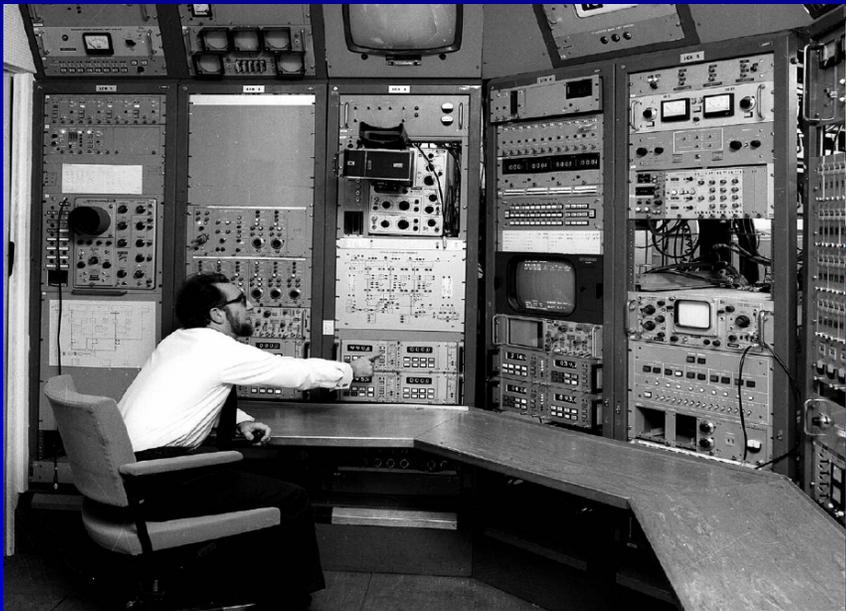
CONCLUSION



Pourquoi toujours plus de diagnostics?

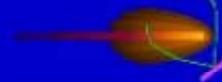
De par la complexité croissante des systèmes accélérateurs, qui doivent être mieux optimisés, plus vite et avoir un fonctionnement plus fiable et plus reproductible.

La conséquence est aussi une complexité croissante des difficultés de conduite.

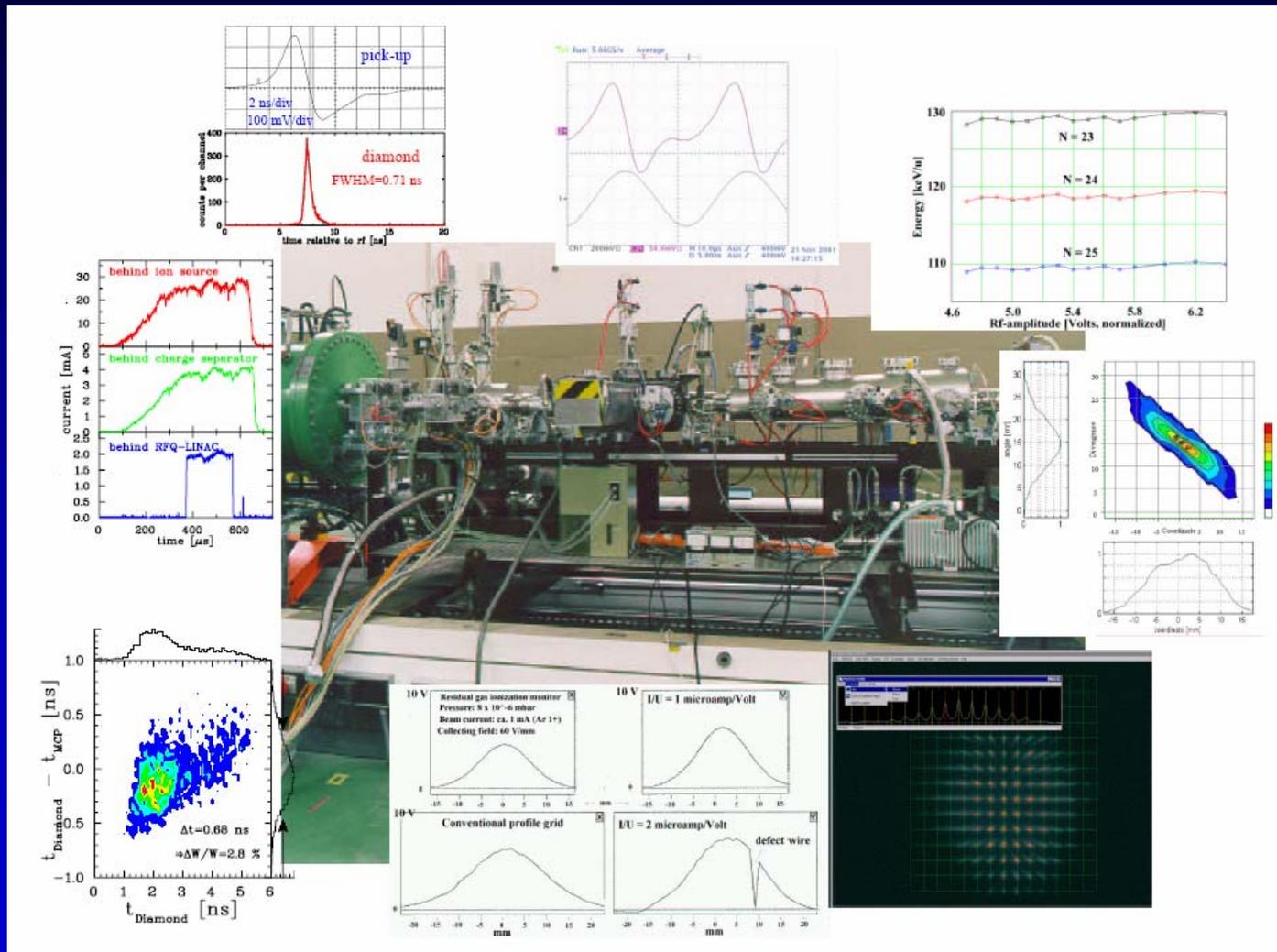


Que mesurent-ils?

Beam quantity		LINAC, transfer line	Synchrotron
current I	<i>general</i>	transformer (dc, pulsed) Faraday cup	transformer (dc)
	<i>special</i>	particle detector (Scint. IC, SEM)	normalized pick-up signal
position x_{cms}	<i>general</i>	pick-up	pick-up
	<i>special</i>	using profile meas.	cavity excitation (e^-)
profile x_{width}	<i>general</i>	SEM-grid, wire scanner viewing screen, OTR-screen	residual gas monitor synch. radiation (e^-) wire scanner
	<i>special</i>	grid with ampl. (MWPC)	
trans. emittance ϵ_{trans}	<i>general</i>	slit grid	residual gas monitor
	<i>special</i>	quadrupole scan pepper-pot	wire scanner transverse Schottky pick-up wire scanner
momentum p and $\Delta p/p$	<i>general</i>	pick-up (TOF)	pick-up
	<i>special</i>	magn. spectrometer	Schottky noise pick-up
bunch width $\Delta\varphi$	<i>general</i>	pick-up	pick-up
	<i>special</i>	particle detector secondary electrons	wall current monitor streak camera (e^-)
long. emittance ϵ_{long}	<i>general</i>	magn. spectrometer	
	<i>special</i>	buncher scan TOF application	pick-up + tomography
tune, chromaticity Q, ξ	<i>general</i>	—	exciter + pick-up (BTF)
	<i>special</i>	—	transverse Schottky pick-up
beam loss r_{loss}	<i>general</i>		particle detector
polarization P	<i>general</i>		particle detector
	<i>special</i>		Compton scattering with laser
luminosity \mathcal{L}	<i>general</i>		particle detector

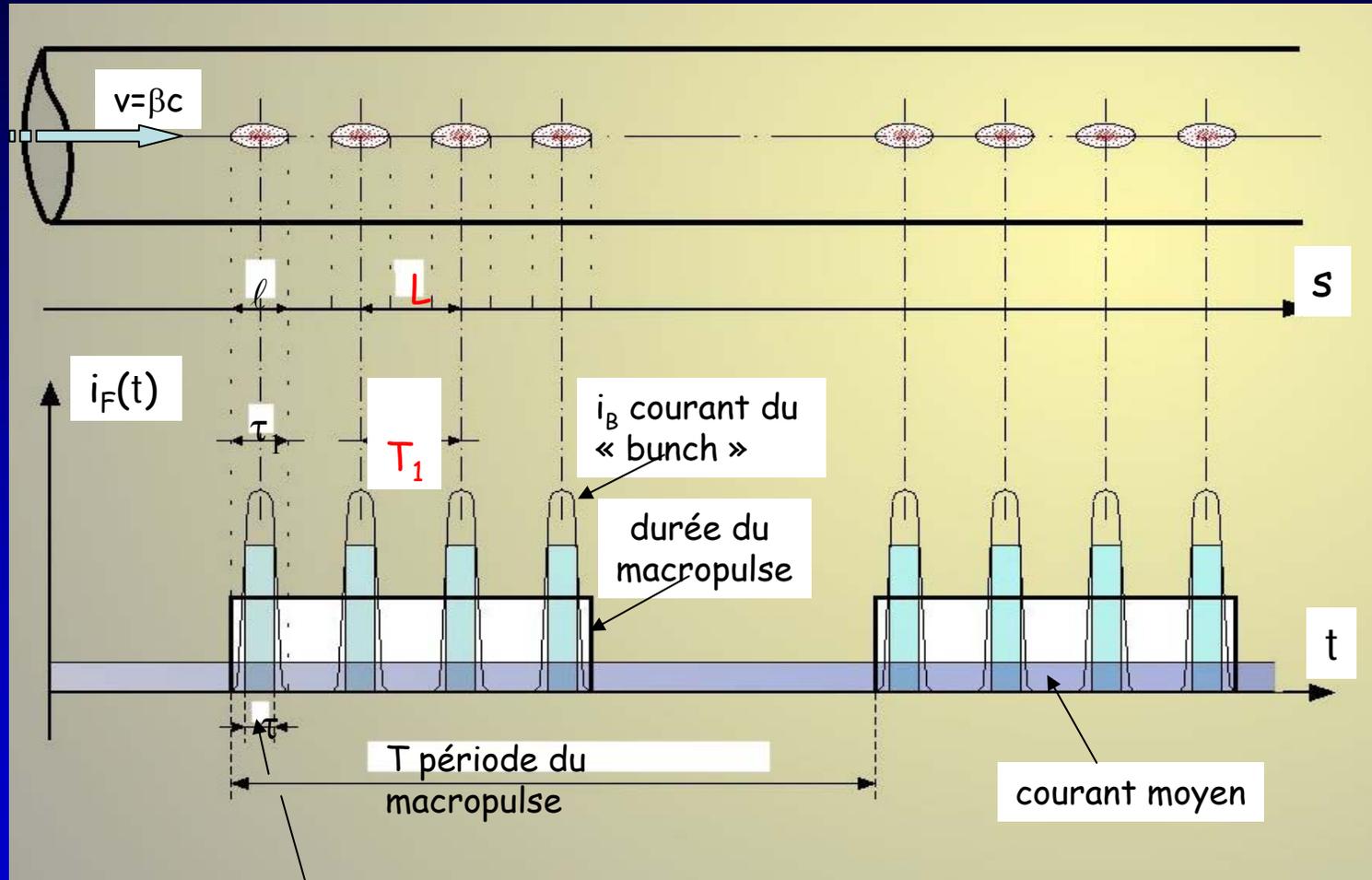


Sous quelle forme?

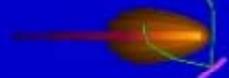


La structure temporelle du faisceau

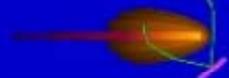
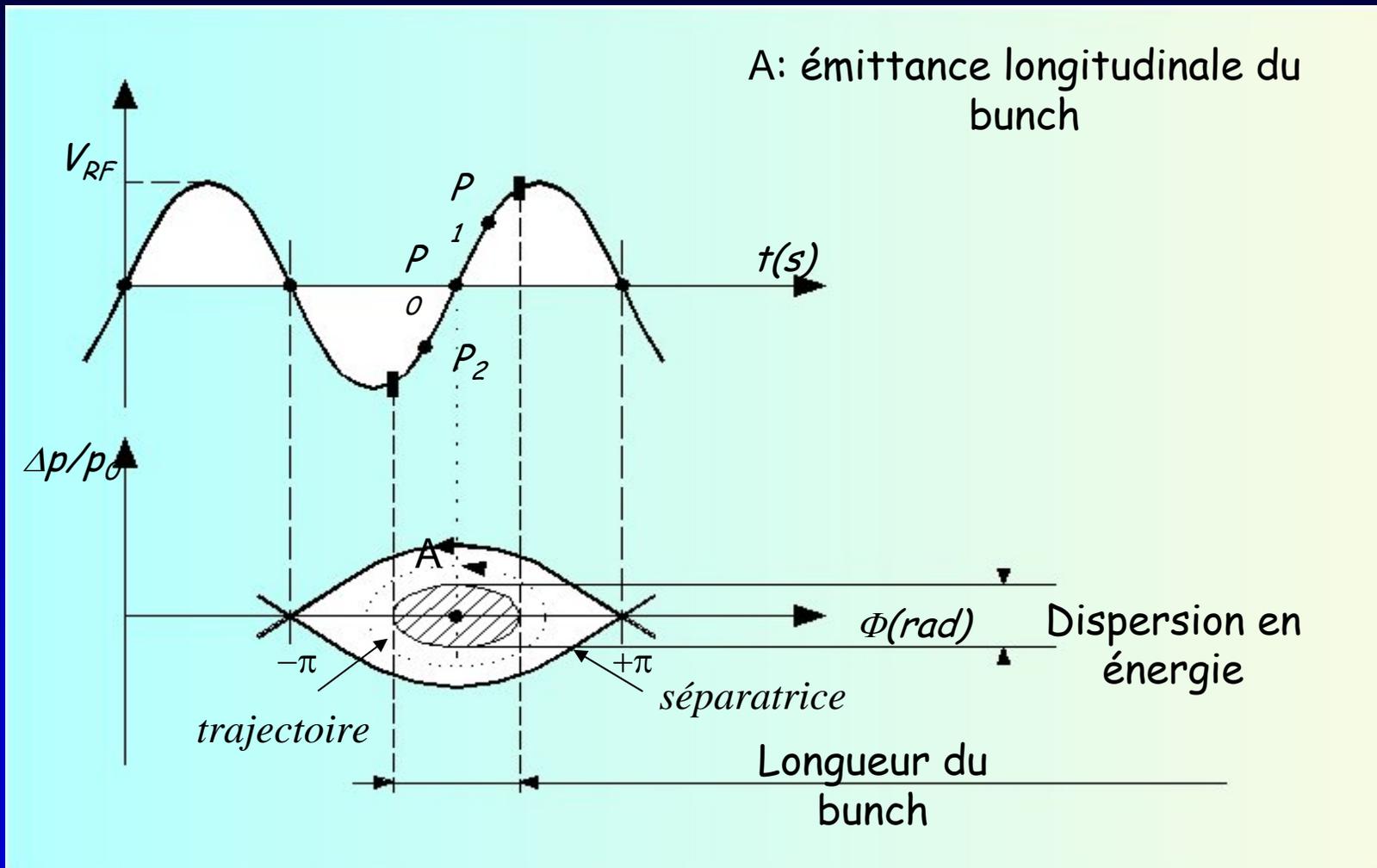
Faisceau?



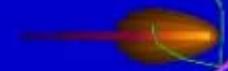
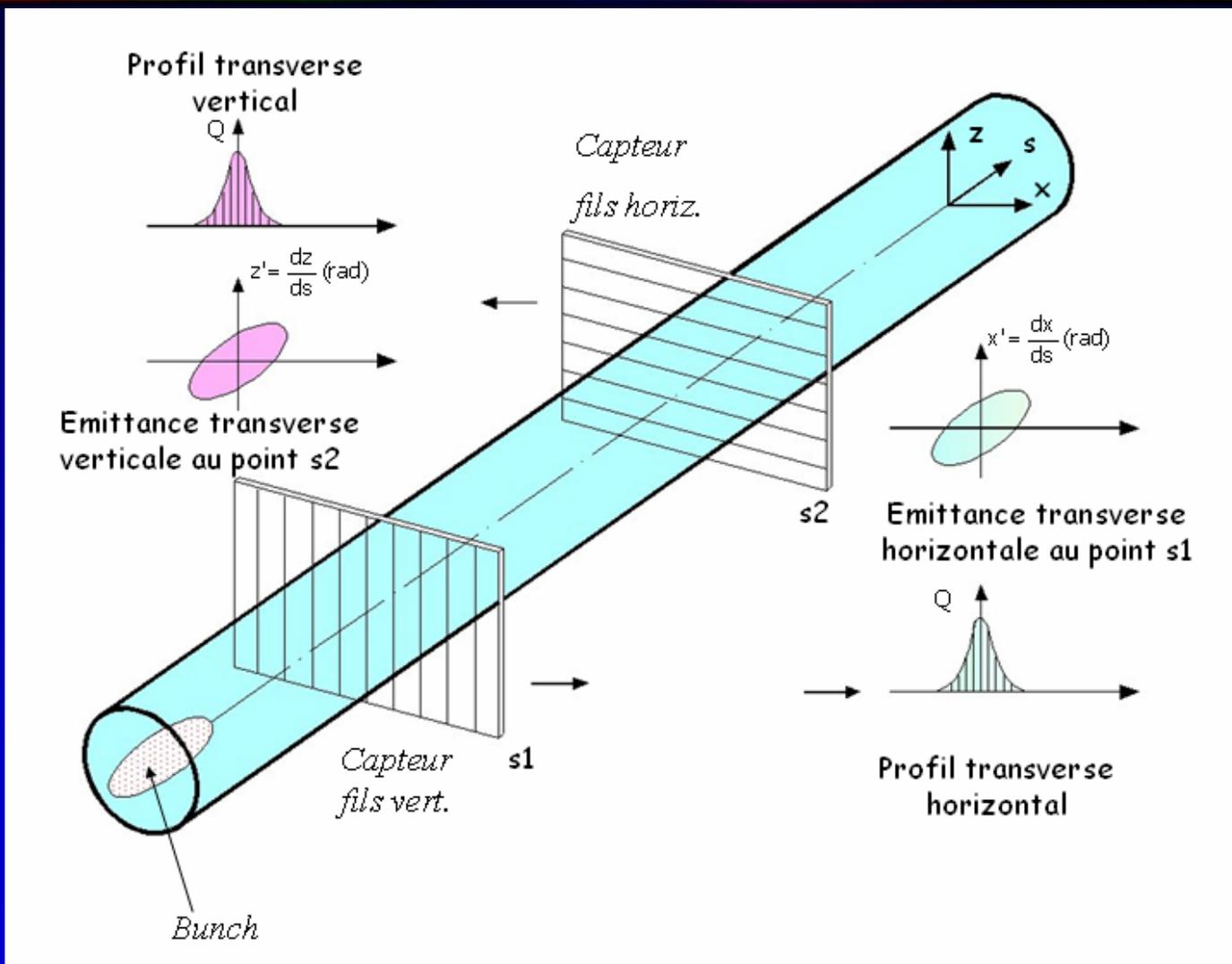
τ durée du bunch (équivalent rectangulaire)



Sa structure temporelle

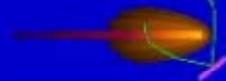


Sa structure transverse

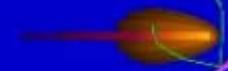
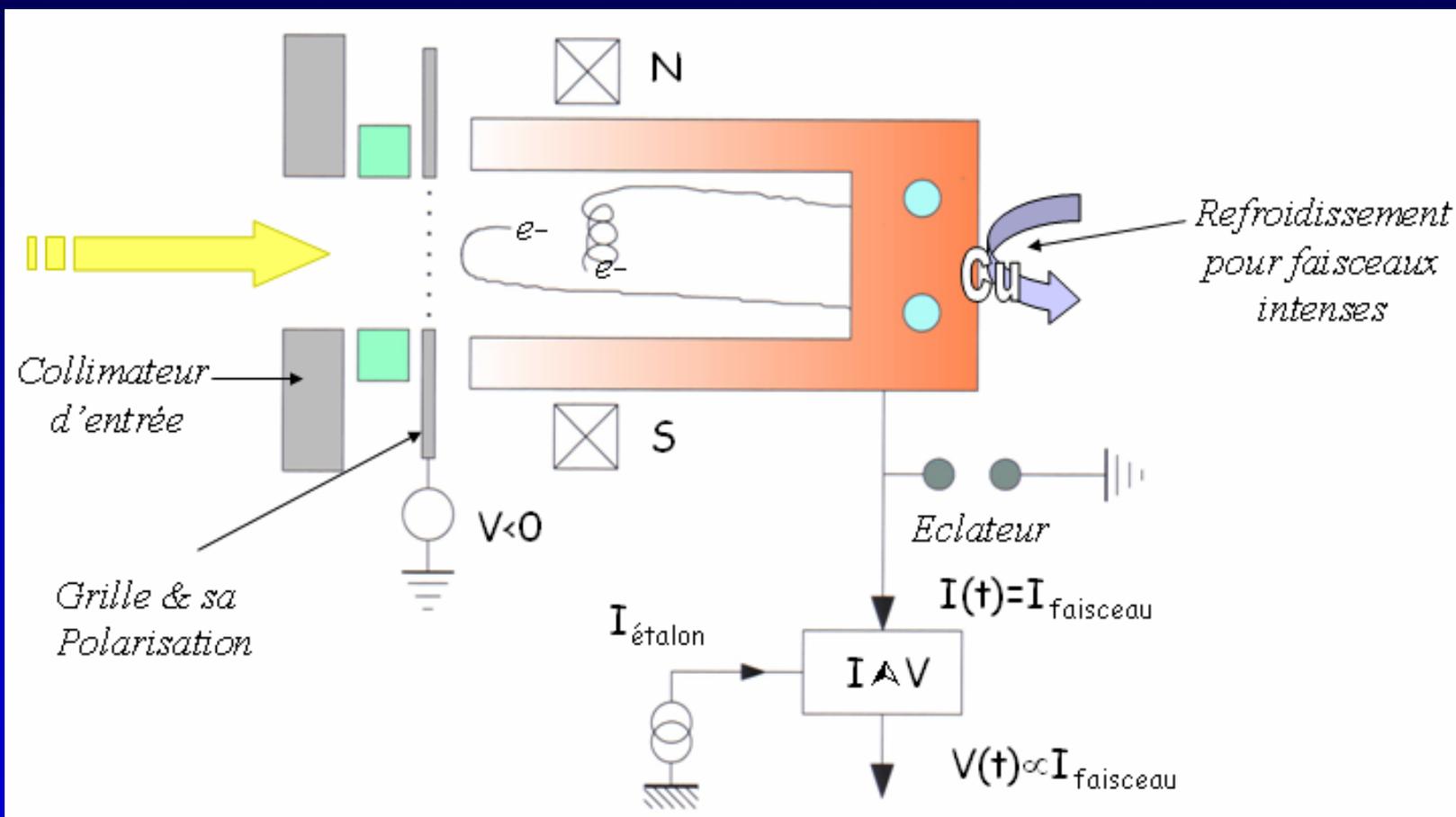


Diagnostiquer en milieu hostile!

- Champs électromagnétiques et perturbations lumineuses parasites quand il s'agit d'acquérir, de transmettre et de traiter des signaux faibles.
- Rayonnements nucléaires.
- Perturbations mécaniques: défauts et modifications d'alignement, vibrations mécaniques.
- Echauffement du capteur et de l'électronique.



Les mesures d'intensité: la cage de Faraday

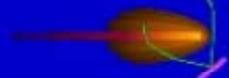
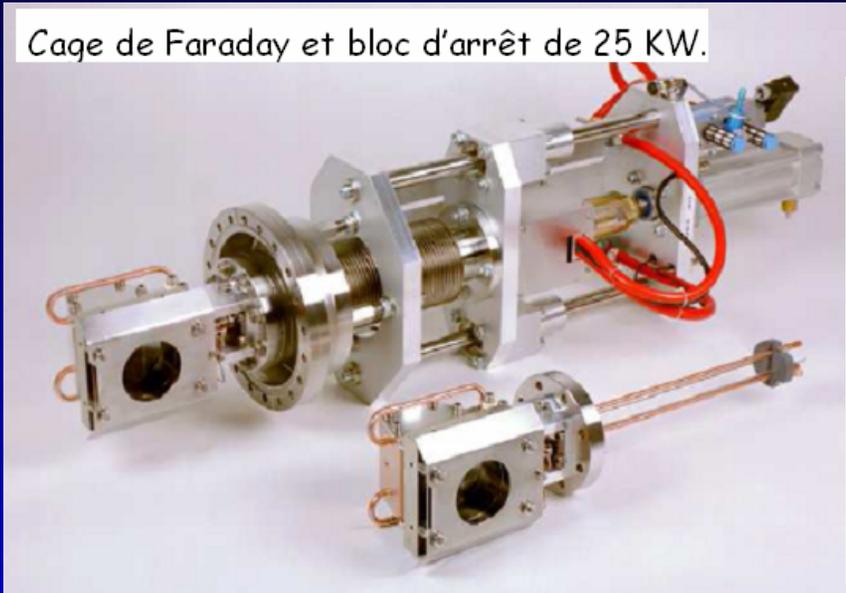


Ses déclinaisons

fortes intensités

coaxiales

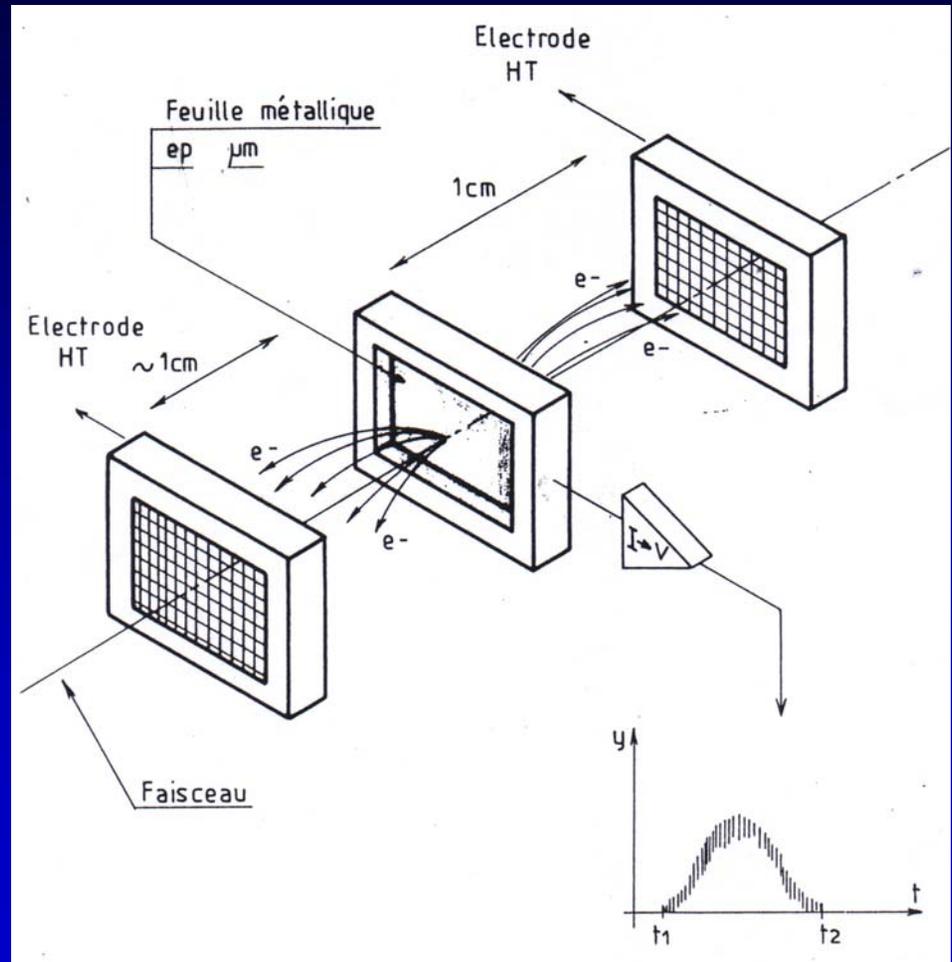
Cage de Faraday et bloc d'arrêt de 25 KW.



Les détecteurs à émission secondaire

Propriétés:

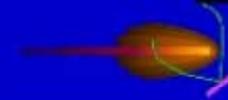
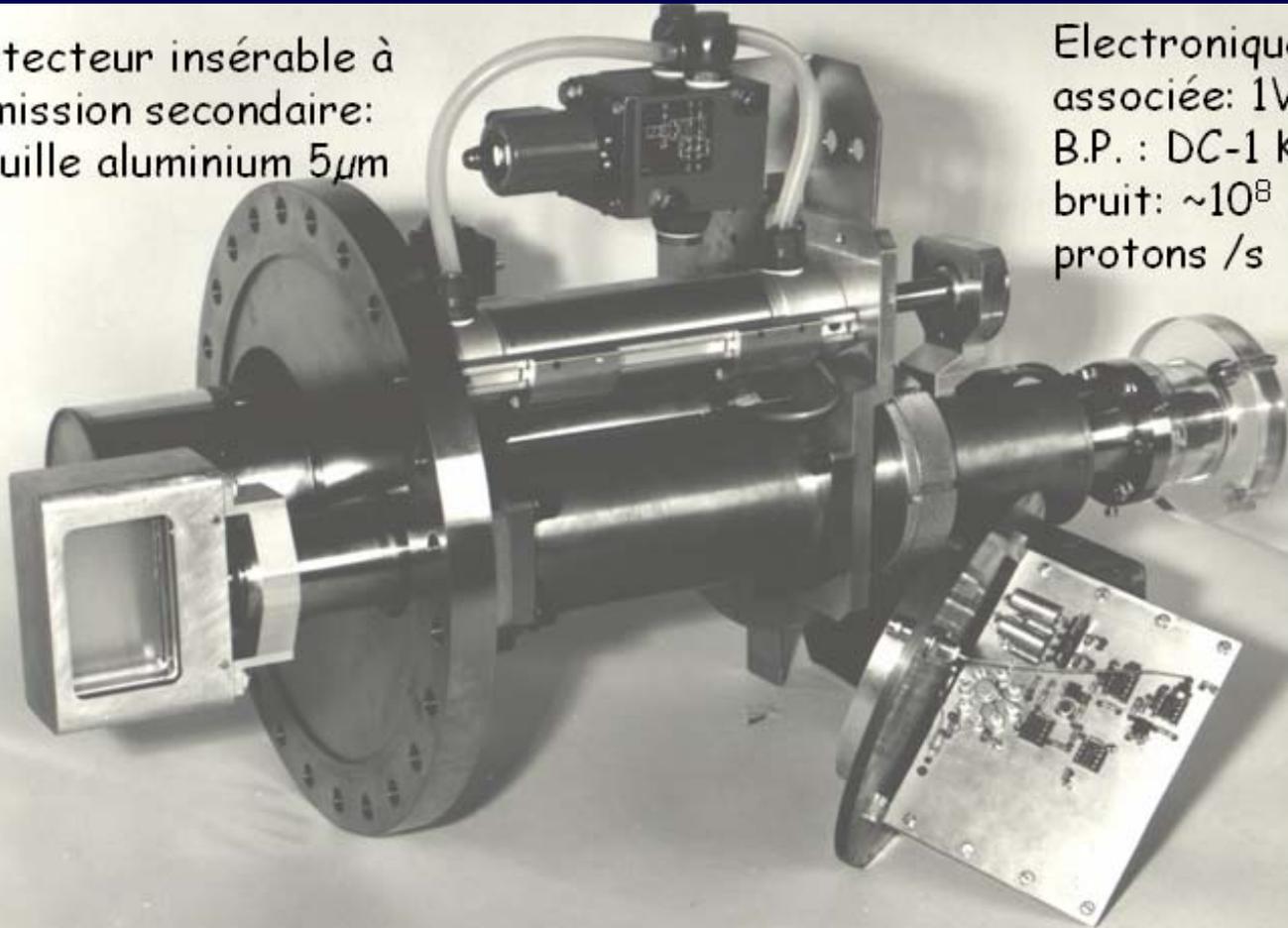
- Détecteur (peu) interceptif.
- Nécessite un étalonnage.
- \forall les natures de faisceau.
- Bande passante étendue pouvant dépasser le GHz.
- Moniteur utilisé dans les lignes de transfert de faisceau.



Exemple

Détecteur insérable à
émission secondaire:
Feuille aluminium $5\mu\text{m}$

Electronique
associée: 1V/nA
B.P. : DC-1 KHz;
bruit: $\sim 10^8$
protons /s

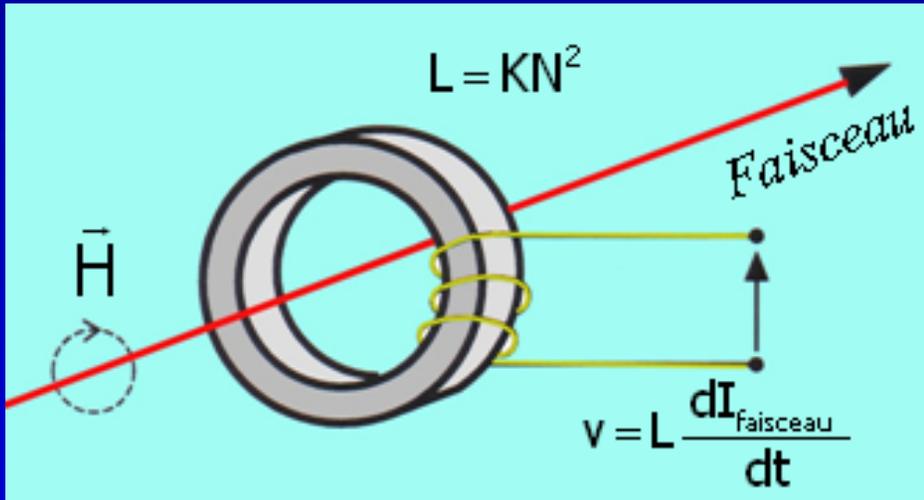
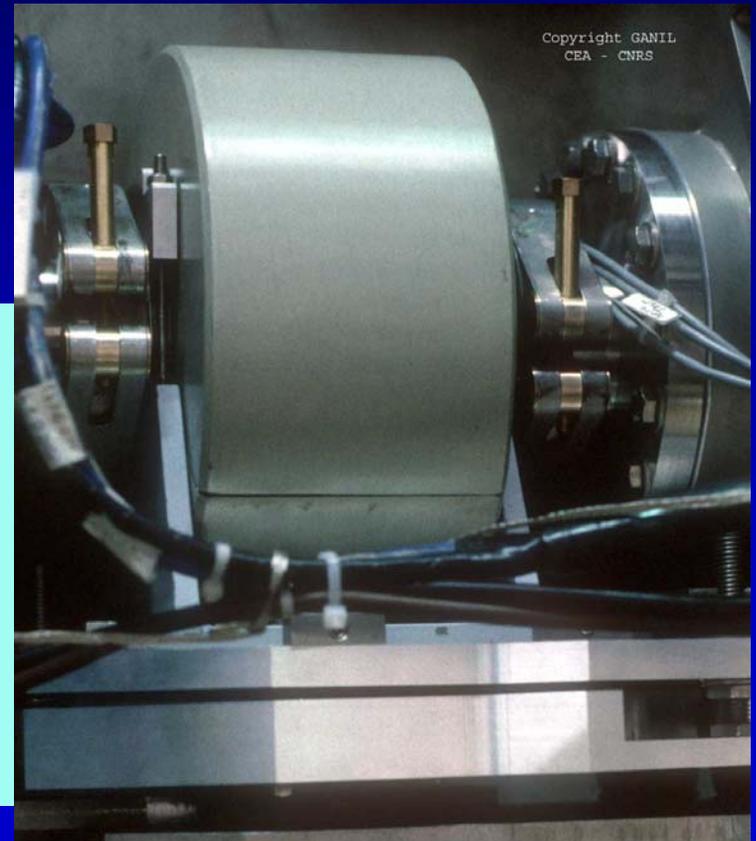


Les transformateurs d'intensité

Propriétés:

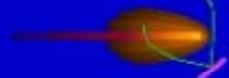
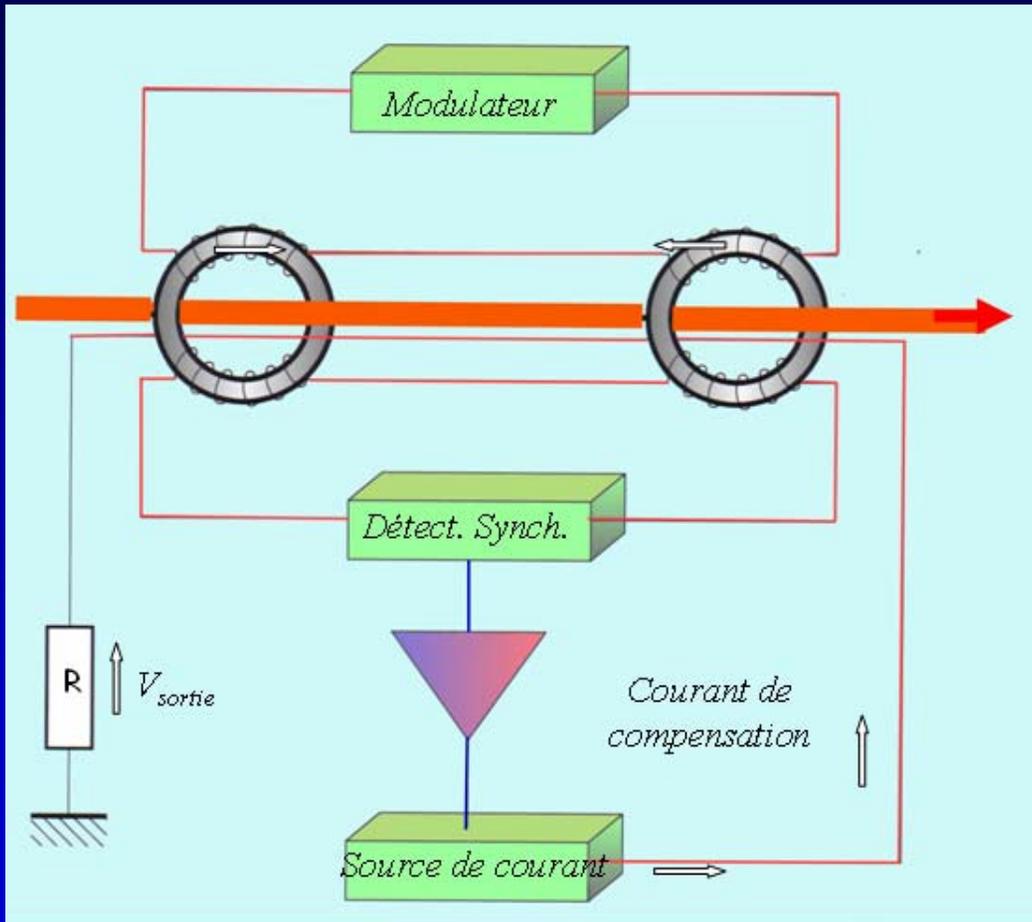
Faisceau pulsé

- Utilise le champ H associé au faisceau.
- Non destructif du faisceau.
- Moniteur absolu.
- Large bande passante ~ 1 GHz.
- \forall les particules.
- Disponibles commercialement.



Les transformateurs d'intensité

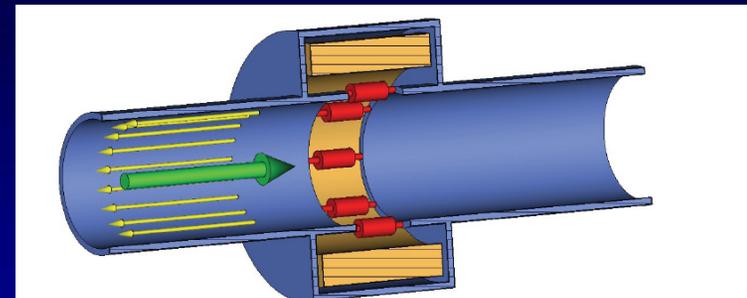
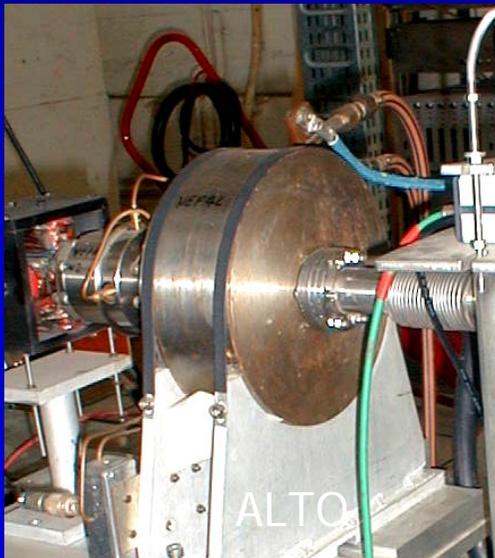
Faisceau continu: le DCCT



« The wall current monitor »

Propriétés:

- Utilise le courant de paroi.
- Non destructif du faisceau
- Large bande passante possible: plusieurs GHz.
- Possibilité d'obtenir la position du faisceau



The **BEAM** current is accompanied by its **IMAGE**
 A voltage proportional to the beam current develops on the **RESISTORS** in the beam pipe gap
 The gap must be closed by a box to avoid floating sections of the beam pipe
 The box is filled with the **FERRITE** to force the image current to go over the resistors
 The ferrite works up to a given frequency and lower frequency components flow over the box wall

50th CERN

WCM as a Beam Position Monitor

$$f_{\Sigma} = \frac{R}{2\pi L_{\Sigma}}$$

$$f_{\Delta} = \frac{R}{2\pi L_{\Delta}}$$

- For a centered **BEAM** the **IMAGE** current is evenly distributed on the circumference
- The image current distribution on the circumference changes with the beam position
- Intensity signal (Σ) = resistor voltages summed
- Position dependent signal (Δ) = voltages from opposite resistors subtracted
- The Δ signal is also proportional to the intensity, so the position is calculated according to Δ/Σ
- Low cut-offs depend on the gap resistance and box wall (for Σ) and the pipe wall (for Δ) inductances

U. Raich CERN Accelerator School 2005 76

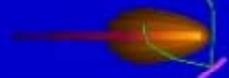
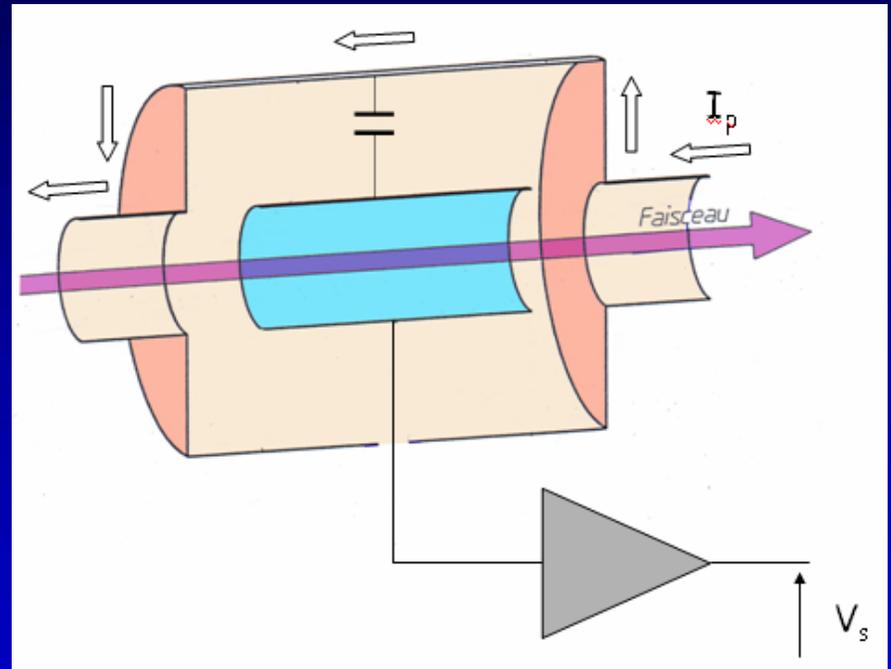
CAS

Slide by M. Gasior THE CERN ACCELERATOR SCHOOL

L'électrode capacitive

Propriétés:

- Non interceptif.
- \forall les particules.
- Nécessite un étalonnage.
- Utilise le champ électrique associé au faisceau.
- Destinée aux machines à protons (longueur du bunch \gg longueur de l'électrode)
- Contrôle de la forme des bunches,
- Mesure de la phase faisceau / H.F.



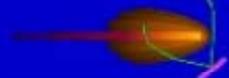
Les mesures longitudinales: l'électrode capacitive

Forme du bunch et phase

Haute fréquence



Mesure de longueur de bunch
Electrode capacitive 50 Ω
Diamètre utile: 35 mm
Linac de GSI à 108 MHz



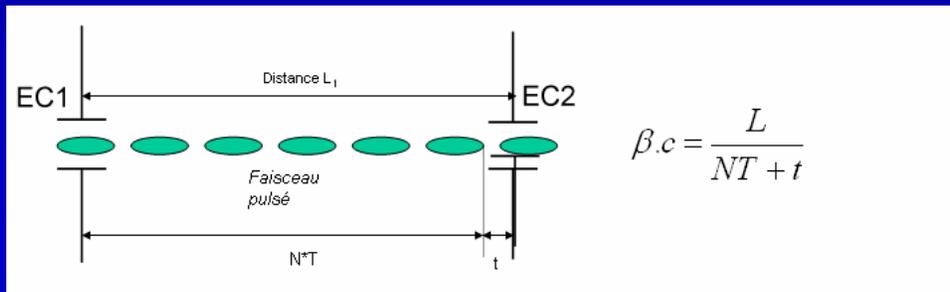
Phase et énergie

La sonde de phase

Utilisation :
mesure de la phase des paquets d'ions par rapport à la tension HF afin de régler l'isochronisme.

Performances :
- résolution : $0,1^\circ$ rms (BP=10Hz) pour $2nAe$

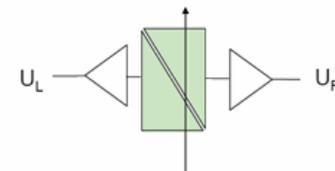
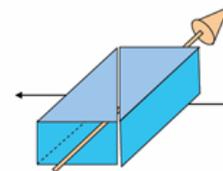
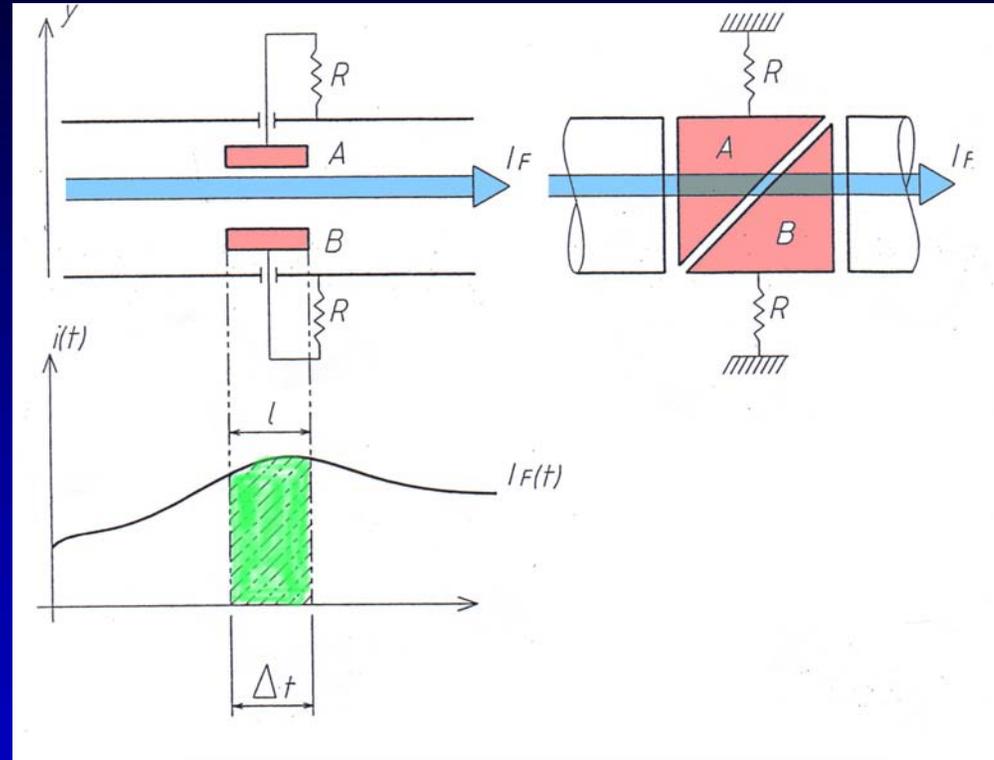
La mesure d'énergie par TV



La détection de position: l'EC@« pick-up »

Propriétés:

- Non interceptif.
- \forall les particules.
- Utilise le champ électrique associé au faisceau.
- Destinée aux machines à protons (longueur du bunch \gg longueur de l'électrode)
- Coupe diagonale pour linéariser la réponse en position.



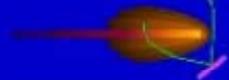
$$x \propto \frac{U_L - U_R}{U_L + U_R} = \frac{\Delta}{\Sigma}$$

Exemple

Fréquence H.F.:

- 850 kHz – 8.8 MHz
 - Précision absolue: 1mm
 - Résolution: 0.1mm
- Gamme de mesure:
- 10^9 à $2 \cdot 10^{12}$ p/ bunch

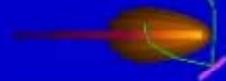
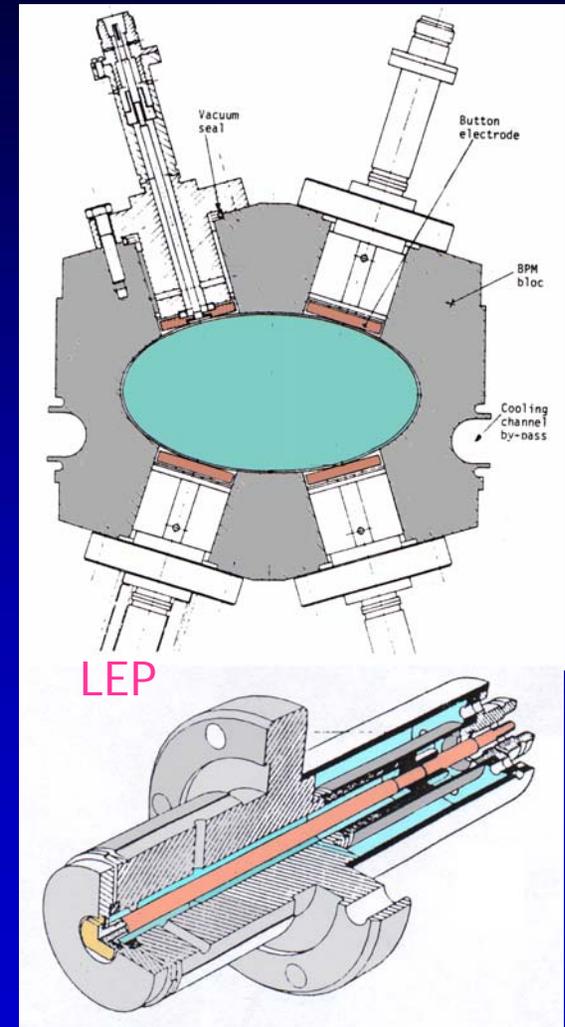
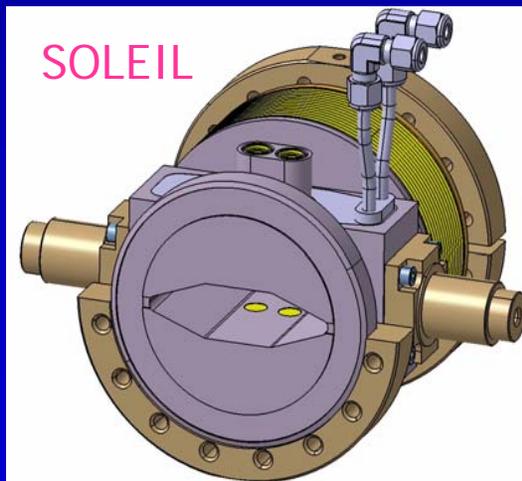
SATURNE



L'EC « bouton »

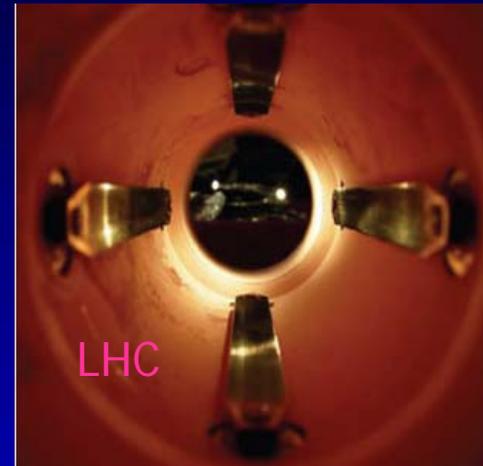
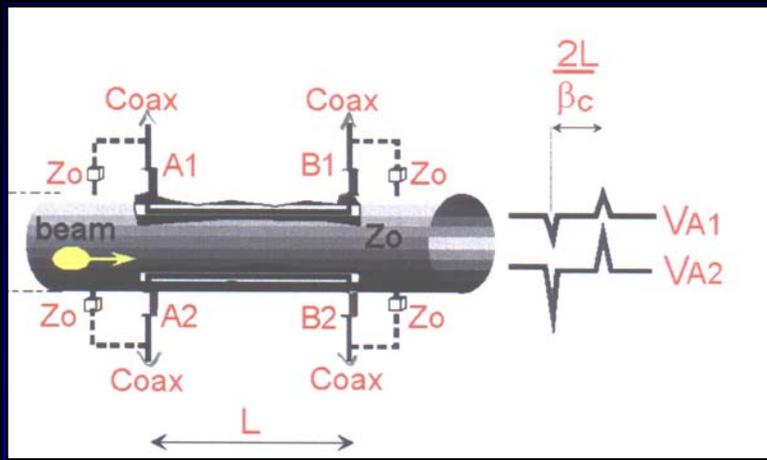
Propriétés:

- Non interceptif.
- \forall les particules..
- Utilise le champ électrique associé au faisceau.
- Destinée généralement aux machines à e- et RS.
- Contrôle de l'orbite fermée du faisceau et asservissement de position du faisceau
- Réponse non linéaire : nécessite un étalonnage.

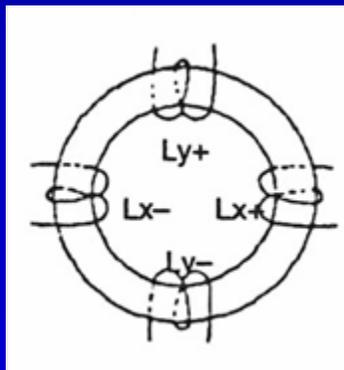


Le coupleur directionnel

Propriétés: les mêmes que l'EC bouton, on l'appelle aussi « stripline »

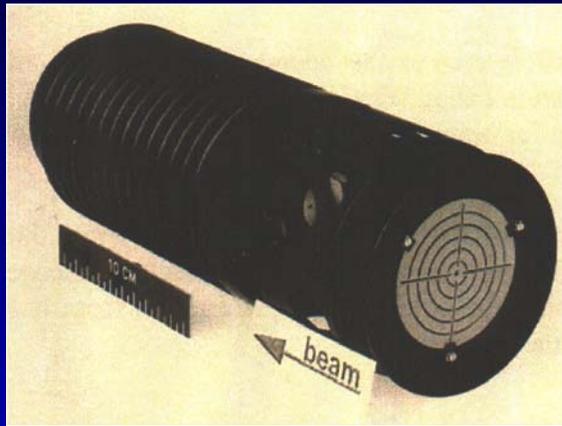


Il existe une version magnétique

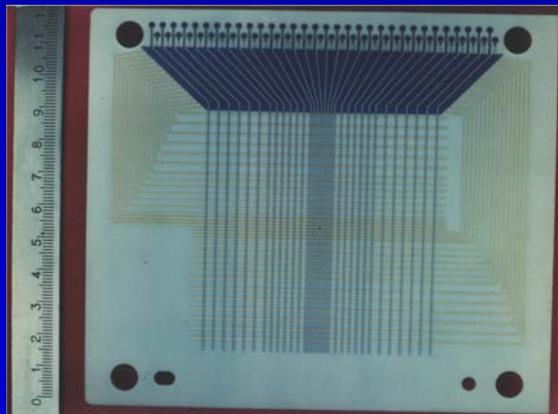


Les profils transverses: par interception

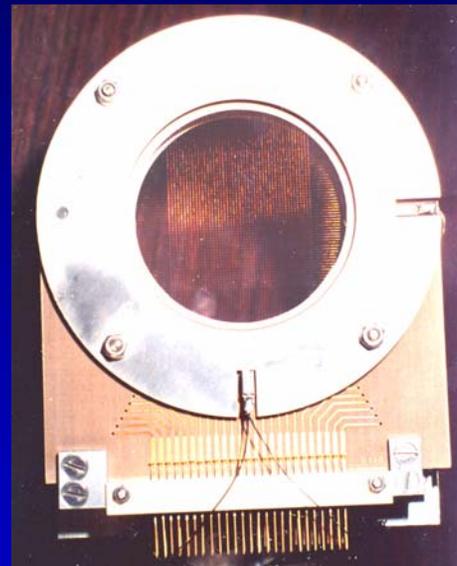
Les scintillants



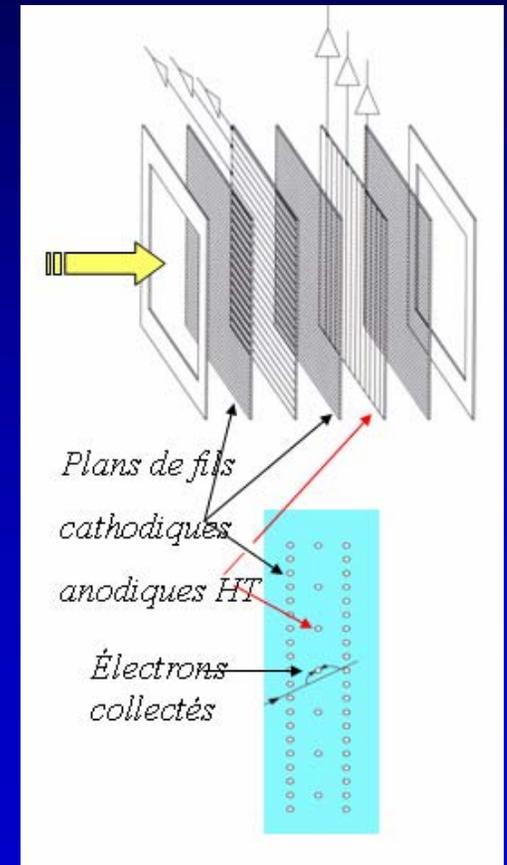
Les grilles



La chambre à ionisation

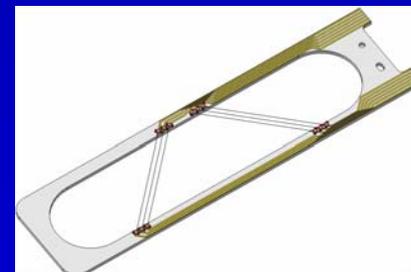
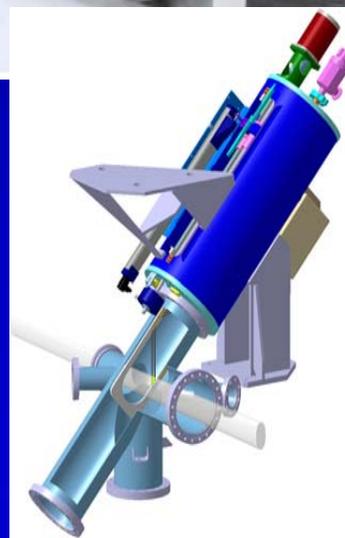
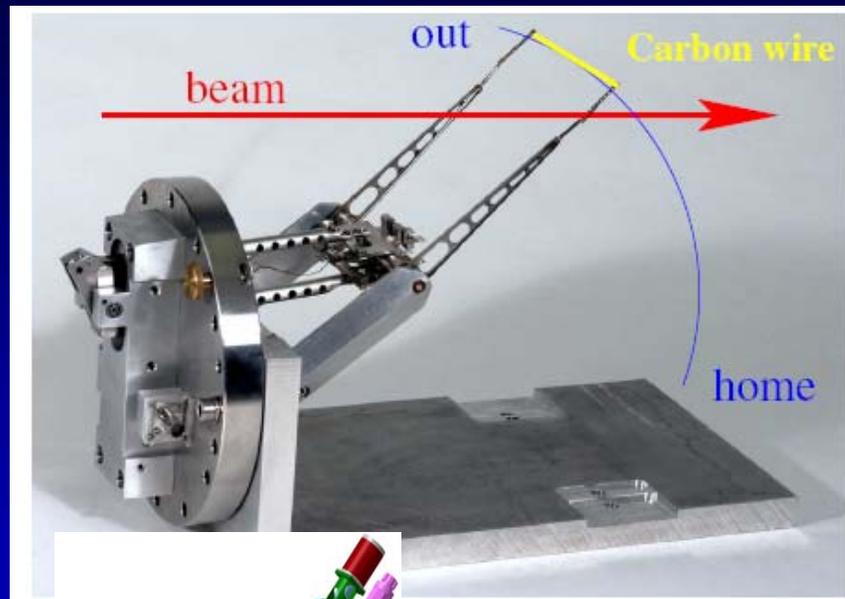
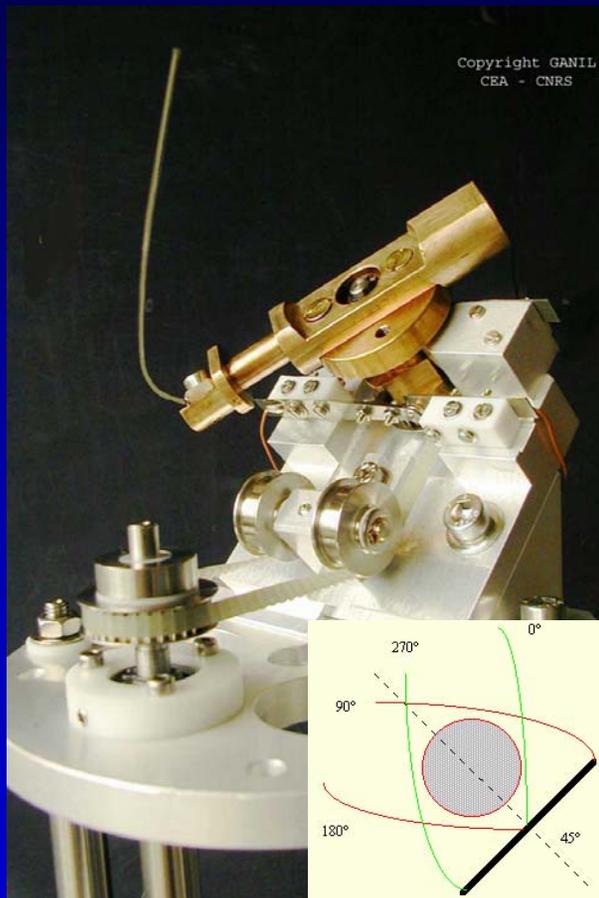


Les plans de fils

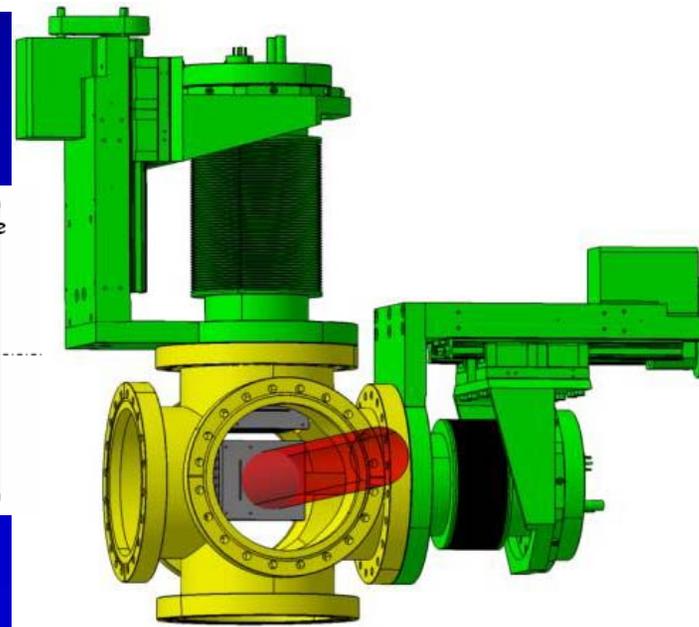
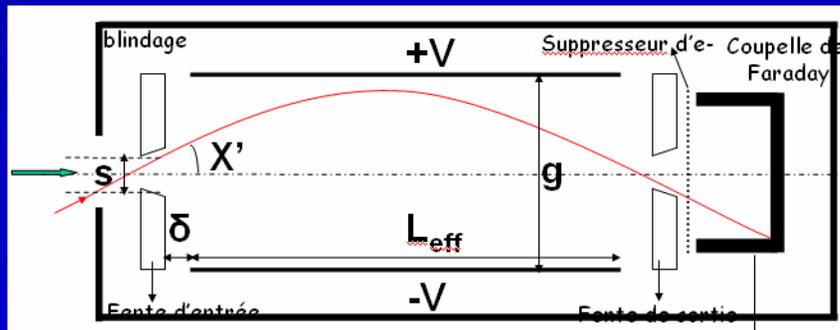
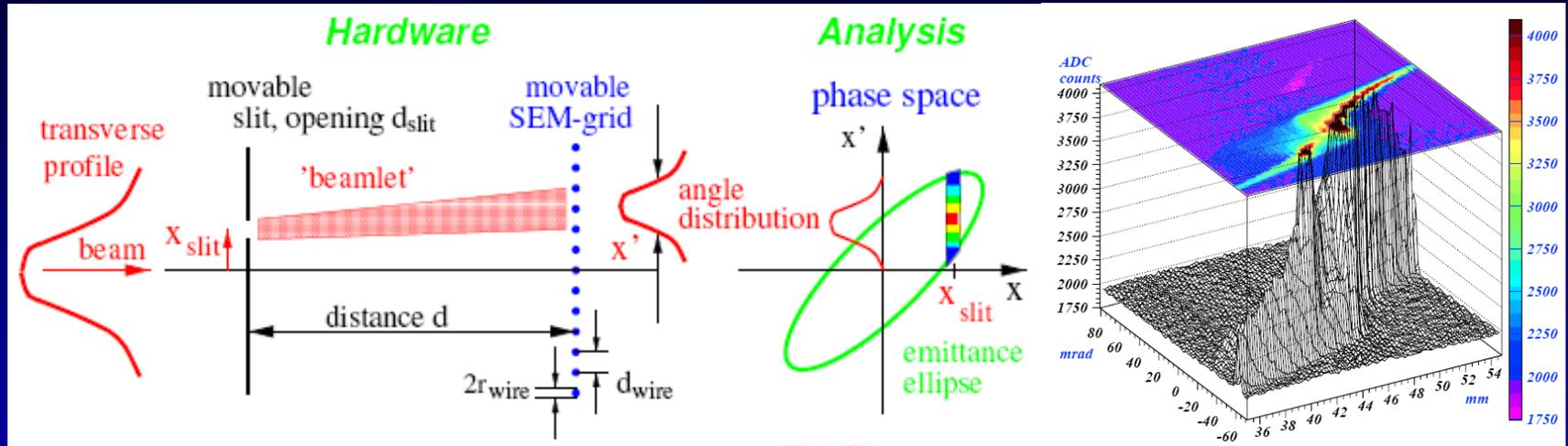


Les scanners à fil

Propriétés: moins interceptifs

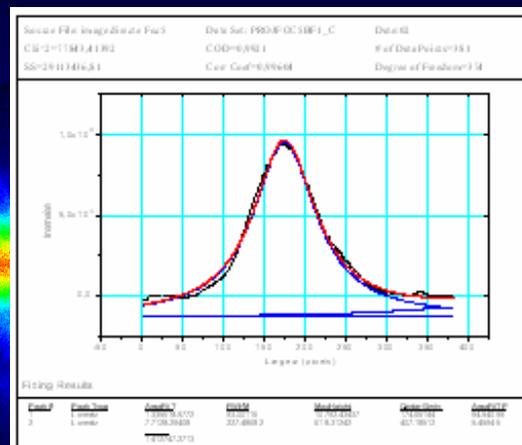
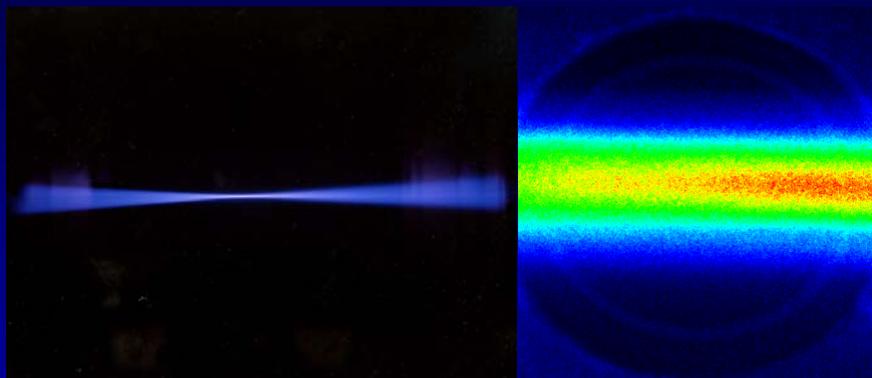


La mesure de l'émittance transverse

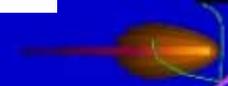
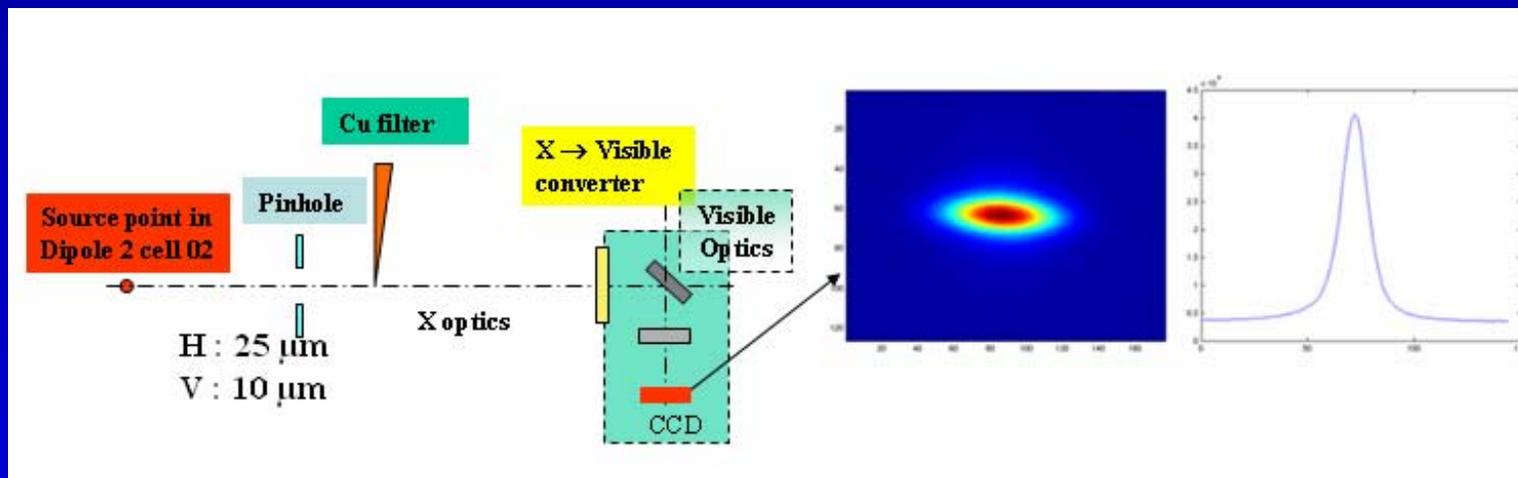


Profils@méthodes optiques

Fluorescence H⁺/gaz résiduel

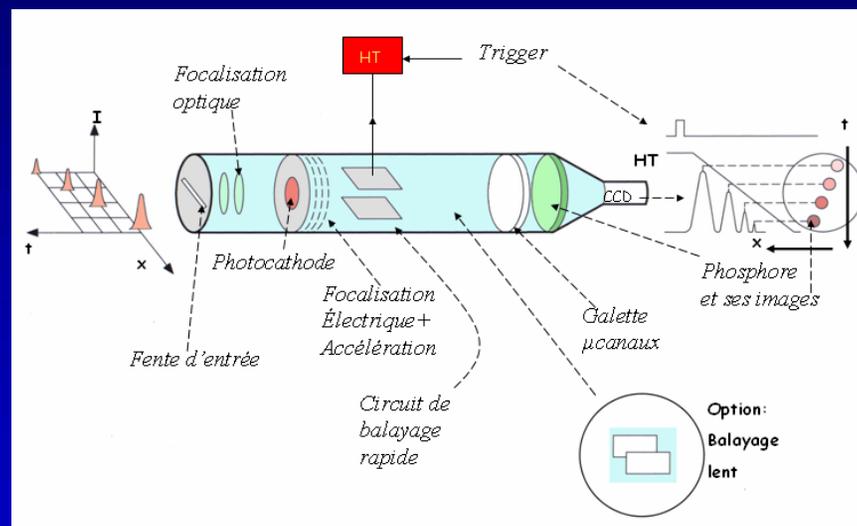
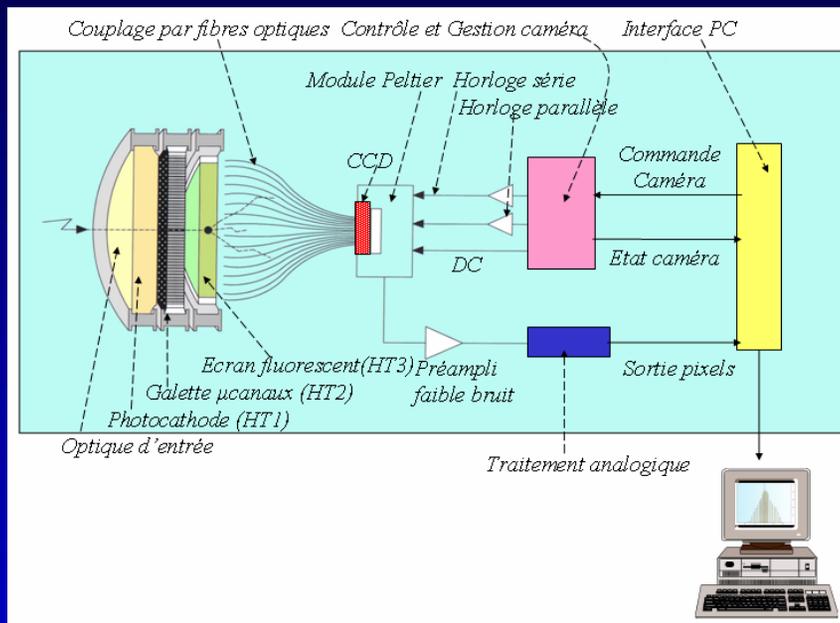


Rayonnement synchrotron



Profils@méthodes optiques

La caméra à CCD intensifiée



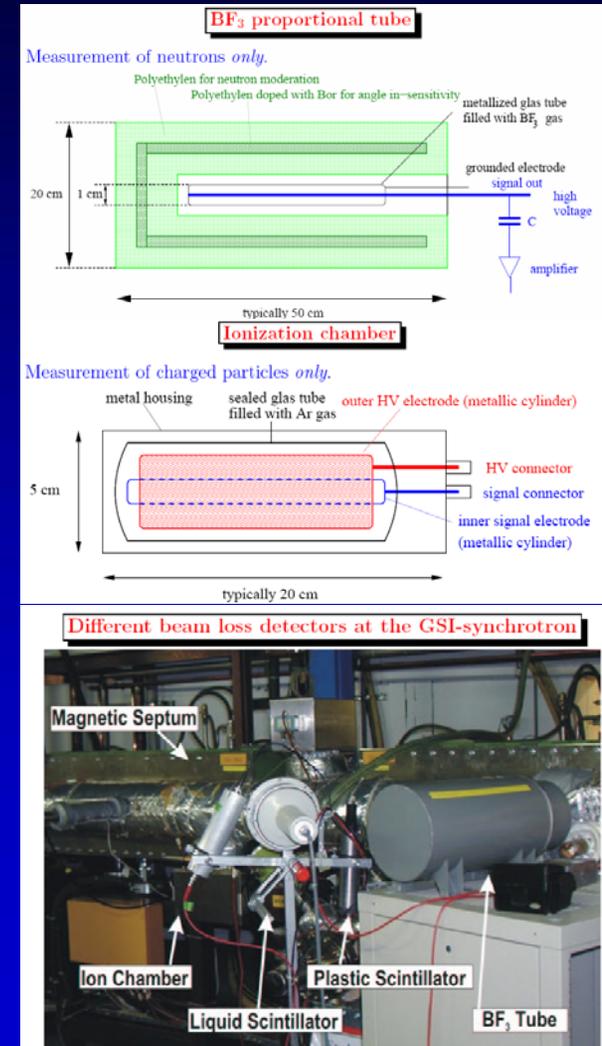
La caméra à balayage de fente

La mesure des pertes de faisceau

- Mesure sur un intervalle de temps déterminé.
- Localisation du nombre de particules perdues

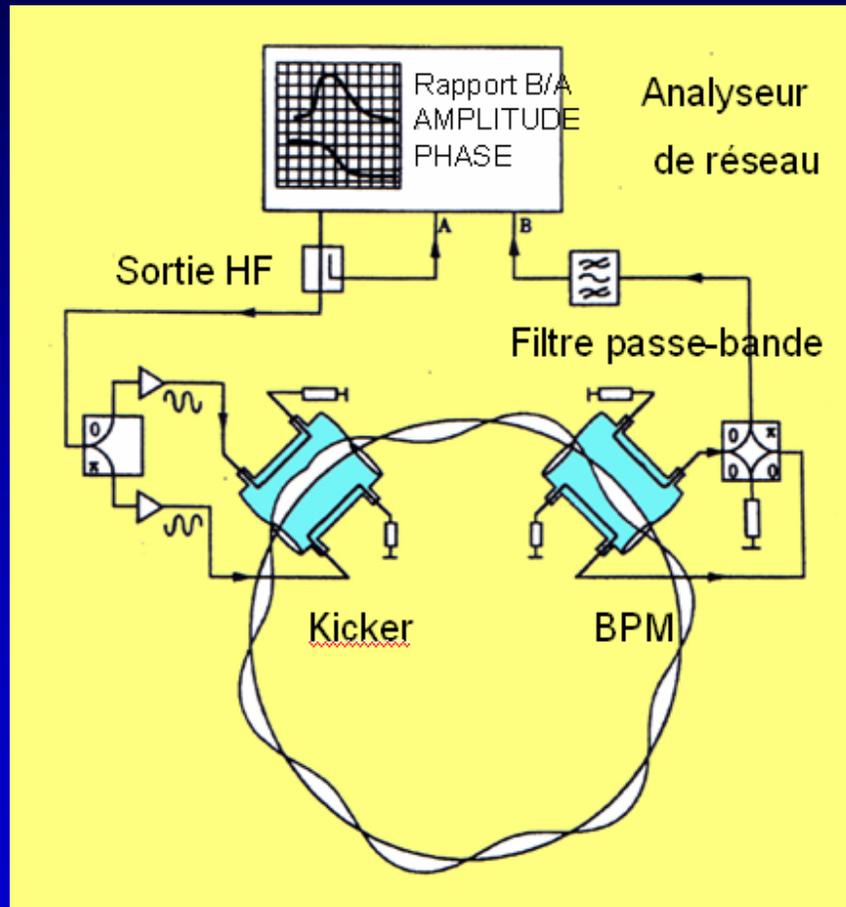
- Pertes rapides de faisceau:
Détection du niveau de perte nécessaire.
En général localisation des pertes non nécessaires
(cause: alimentation, pompe à vide, kicker..)

- Pertes lentes de faisceau:
Détecteur placé à l'extérieur du tube à vide:
Utilisation des principes physiques déjà vus
Autre méthode: Mesure différentielle entre les diagnostics de faisceau de l'accélérateur.



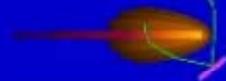
Applications des « pick-up »

Fonction de transfert du faisceau



Nombre d'ondes
Excitation du faisceau:
Impulsion $\tau \ll F_{\text{rev}}$

Fonction de transfert
Excitation faisceau:
1) Sinusoidale C.W.
2) Bruit blanc



L'avenir

What are the present challenges for beam instrumentation ?

Ever higher beam brightness



Comes with ever stronger focusing

Stronger focusing only beneficial and feasible if orbit, tune and chromaticity can be controlled with high resolution

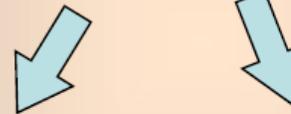
Needs instruments to resolve beams with sub-micron size in all 3 dimensions

SR sources
SASE FEL's
ERL's
Linear collider

Ever higher beam intensity

Higher stored beam energy in storage rings

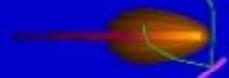
Higher beam power in synchrotrons and linear accelerators



Beam loss monitoring with very good coverage and reliability

Low noise, large bandwidth beam signals for feedbacks to fight collective instabilities

LHC
spallation neutron sources
 ν -beam facilities
ERL linacs
Rare Isotope production
Linear collider





**Ce fut un plaisir!
Merci de votre
courageuse
attention!!**

