

Les accélérateurs au service de la science et de la société

15000 accélérateurs (si on ne compte pas les écrans cathodiques) dans le monde dont 99% utilisés hors physique subatomique

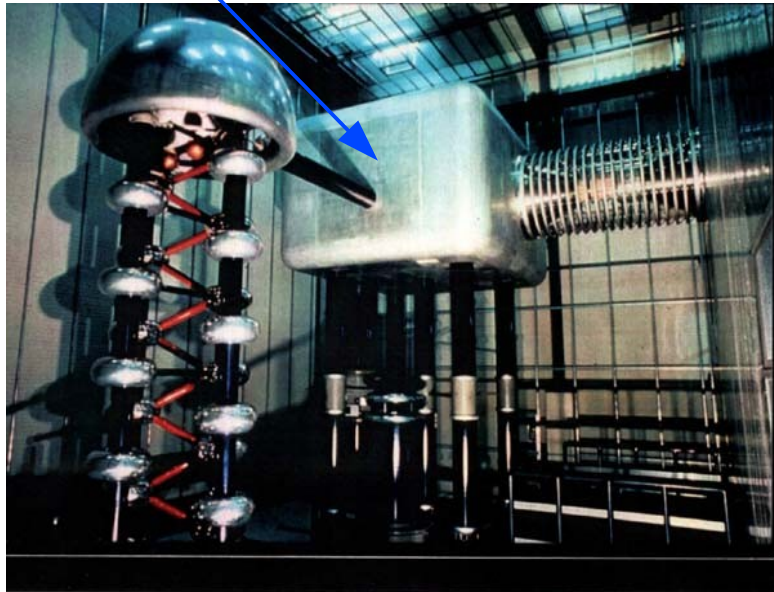
Catégorie	Nombre	
haute énergie , $E > 1 \text{ GeV}$	100	●
radiothérapie	7500	●
recherche biomédicale	800	
production de radioisotopes médicaux	200	●
industrie	1500	●
Implanteurs ioniques	2000	
traitement de surface	1000	
Sources synchrotron	50	

Science (1%) : Quelques exemples

- ESRF
- Large Hadron Collider (CERN) : LHC
- International Linear Collider : ILC
- Compact Linear Collider : CLIC

générateurs de Cockroft-Walton

source de protons



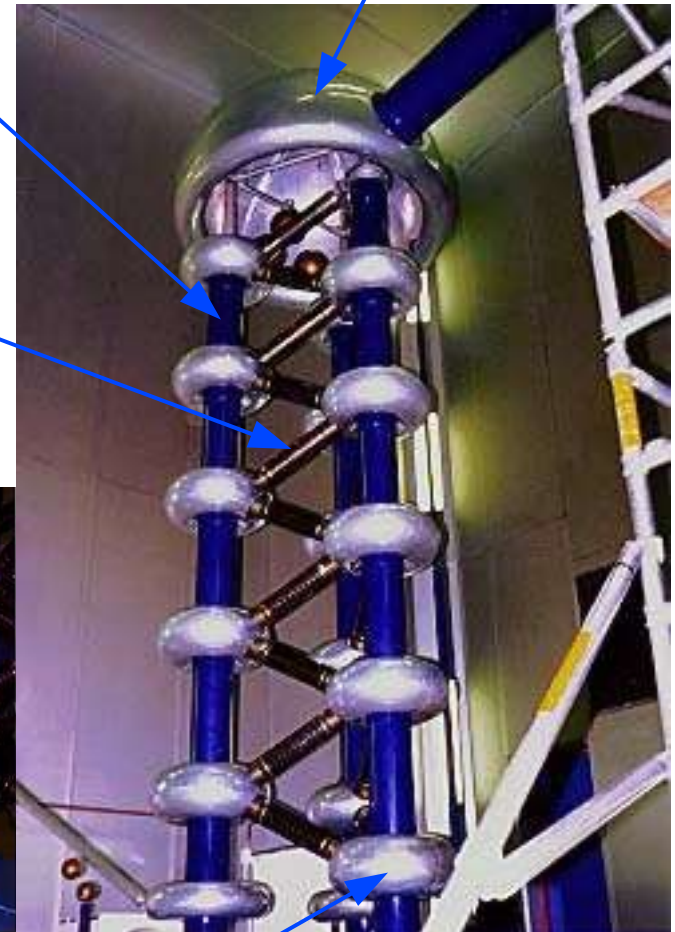
terminal HT

Condensateur

Fermilab
Chicago

Diode

Transfo
tension alternative

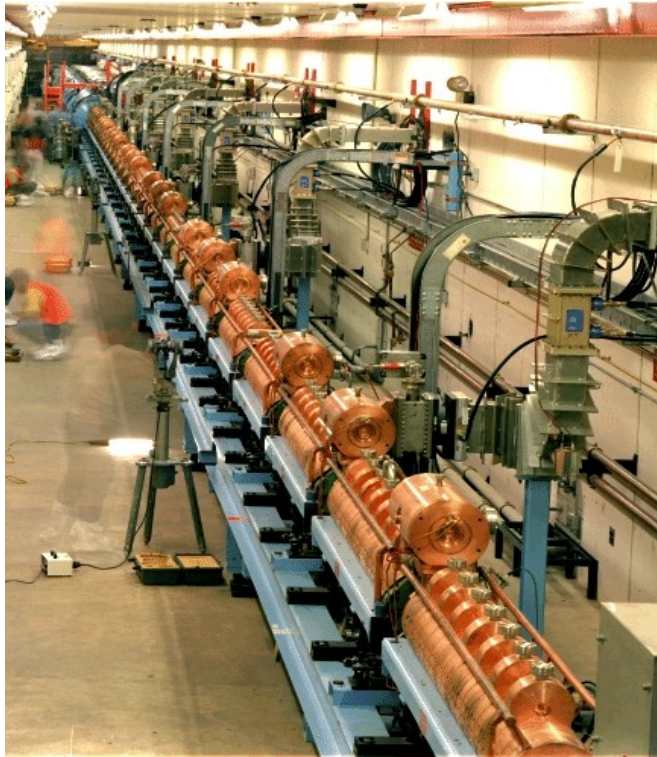


Anneau de répartition du champ

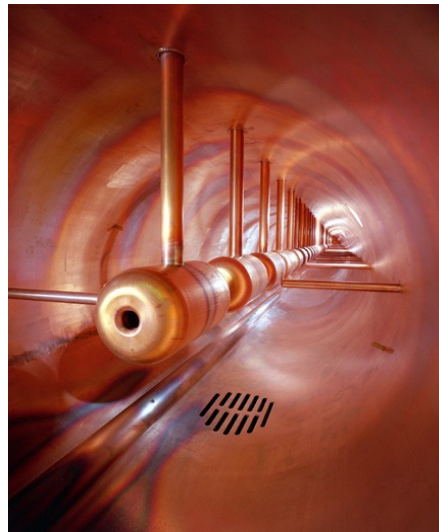
Paul Scherrer
Institute : Zurich
800 kV

Linacs d'Alvarez et à cavités latéralement couplées

Fermilab



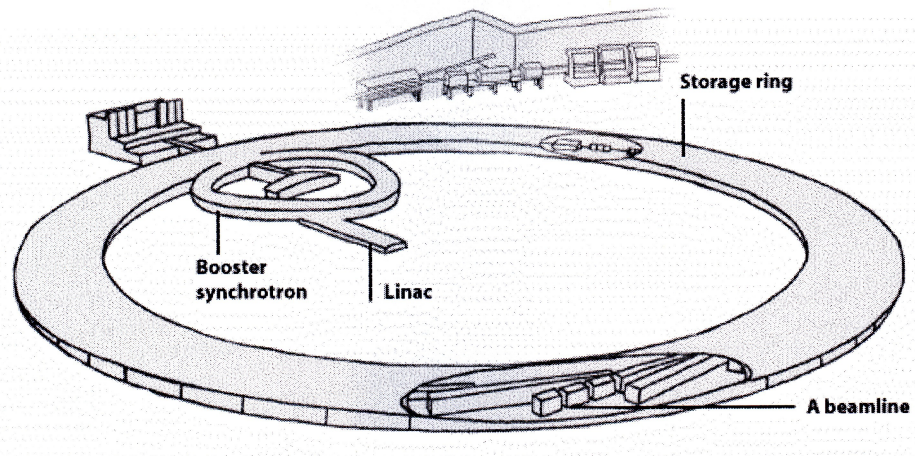
linac d'Alvarez
protons
0,750 MeV - 116 MeV
200 MHz



linac à cavités latéralement couplées
protons
116 MeV - 400 MeV
805 MHz

ESRF

<http://www.esrf.fr/Accelerators>



Anneau de stockage :

- circonférence : 844,4 m
- courant : 200 mA
- émittance : $4 \cdot 10^{-9}$ m . rad
- 16 secteurs identiques (type Chasman -Green) :
 - 1 section droite pour les sources
 - 4 Dipôles (0,8 T x 2,45 m – 0,4 T x 0,2 m)
 - 20 Quadripôles
 - 14 Sextupôles

Linac : e^-

énergie : 200 MeV

courant : 25 - 250 mA

train d' e^- : 1000 - 2 ns (paquet unique ou multi-paquets)

taux de répétition : 1-10 Hz

guides accélérateur : 2 x 6 m ($\lambda/3$ - 18 MV/m)

Booster = synchrotron

-énergie : 6 GeV

-émittance : $1,2 \cdot 10^{-7}$ m . rad

-circonférence : 300 m

-taux de répétition : 10 Hz

-3 arcs et 3 sections droites

-13 cellules (FODO) / arcs

-2 cavités RF (type LEP) dans 1 section droite fonctionnant à 352,2 MHz , 3,65 MV max

-rayon de courbure des dipôles : 22 m

-Champ des dipôles : 0,03 - 0,9 T

- $\beta_{\max} = 13,5$ m $\Rightarrow x_{\max} = 1,2$ mm

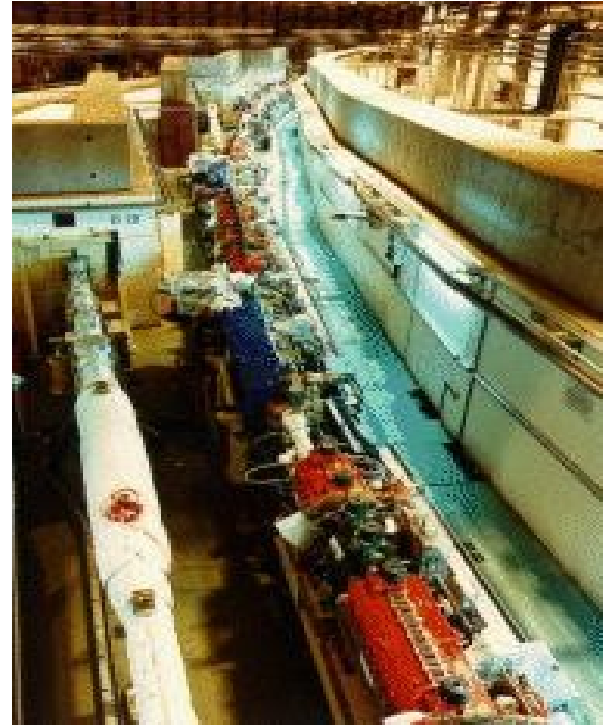
- $D_x = 3$ à 80 cm

ESRF

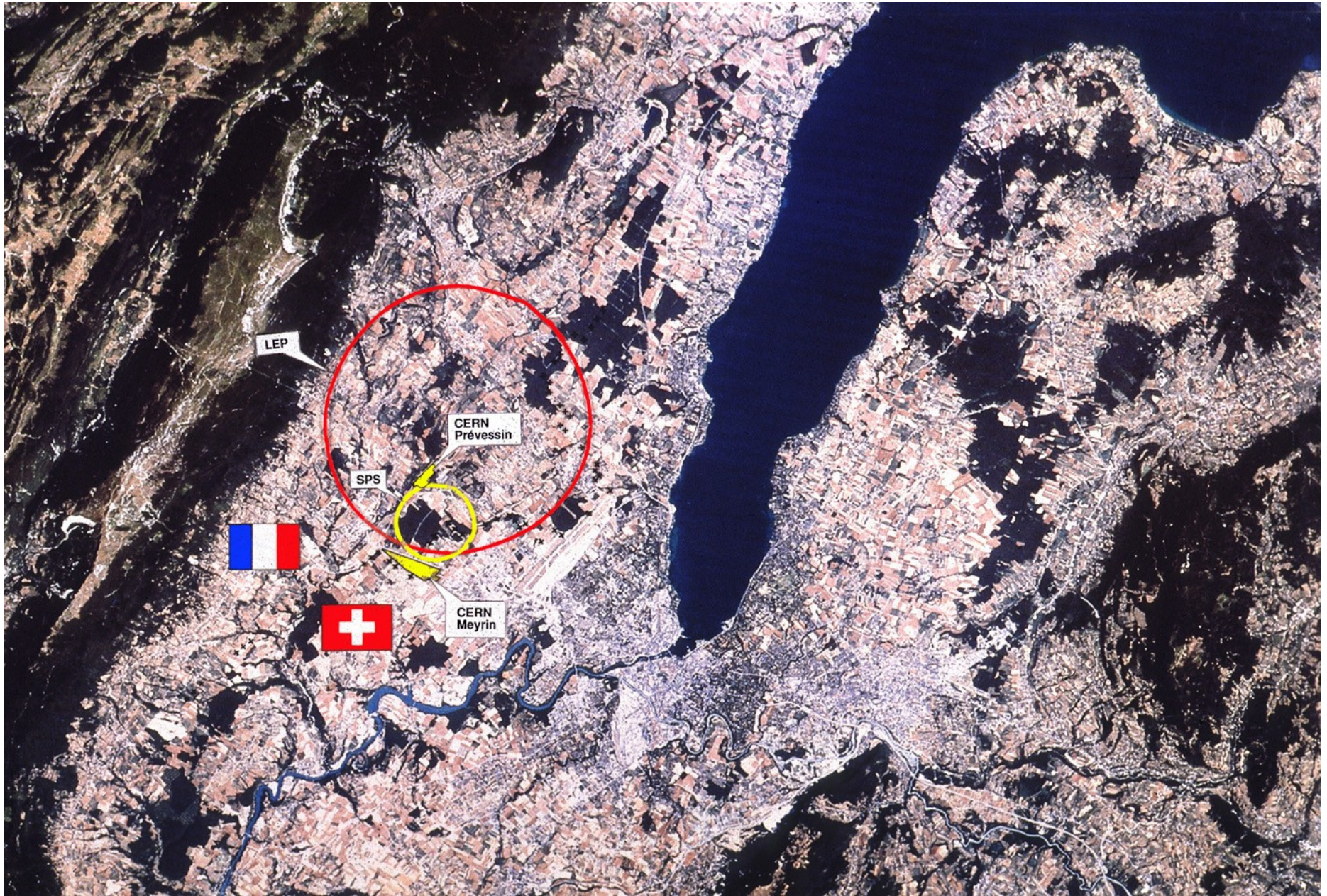


Linac

Anneau de stockage



Booster



Paramètres principaux du LHC

Energie	0,45 – 7 TeV
Champ dipolaire	0,54 – 8,4 T
Luminosité	$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Courant par faisceau	0,54 A
période des paquets	25 ns
Nbre de paquets	2808
nbre de particules / paquet	$1,15 \cdot 10^{11}$
Energie stockée par faisceau	362 MJ
Fréquence de révolution	11,24 kHz
Fréquence HF	400,8 MHz
Harmonique de la HF	35640
Tension d'accélération par tour	8-16 MV
Émittance transverse normalisée	$3,75 \mu\text{m}\cdot\text{rad}$
longueur rms des paquets	7,55 cm
nbre d'ondes bêatron horizontal	63,28
nbre d'ondes bêatron vertical	63,31
fonction bêatron aux croisements	0,5 m
fonction bêatron max. dans les arcs	182,7 m
fréquence synchrotron	62 – 21 Hz
Puissance synchrotron totale dissipée par faisceau	3,6 kW
Durée de vie du faisceau	22 h
Temps d'accélération	20 mn

Construction en cours
démarrage prévu dans
la seconde moitié de 2007

Paramètres ions lourds (Pb – Pb)	
Energie dans le centre de masse	1150 TeV
Luminosité	$1-2 \cdot 10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
émittance normalisée transverse	$1,5 \mu\text{m} \cdot \text{rad}$
fonction bêatron aux croisements	0,5 m
nombre de paquets	608

Structure du LHC

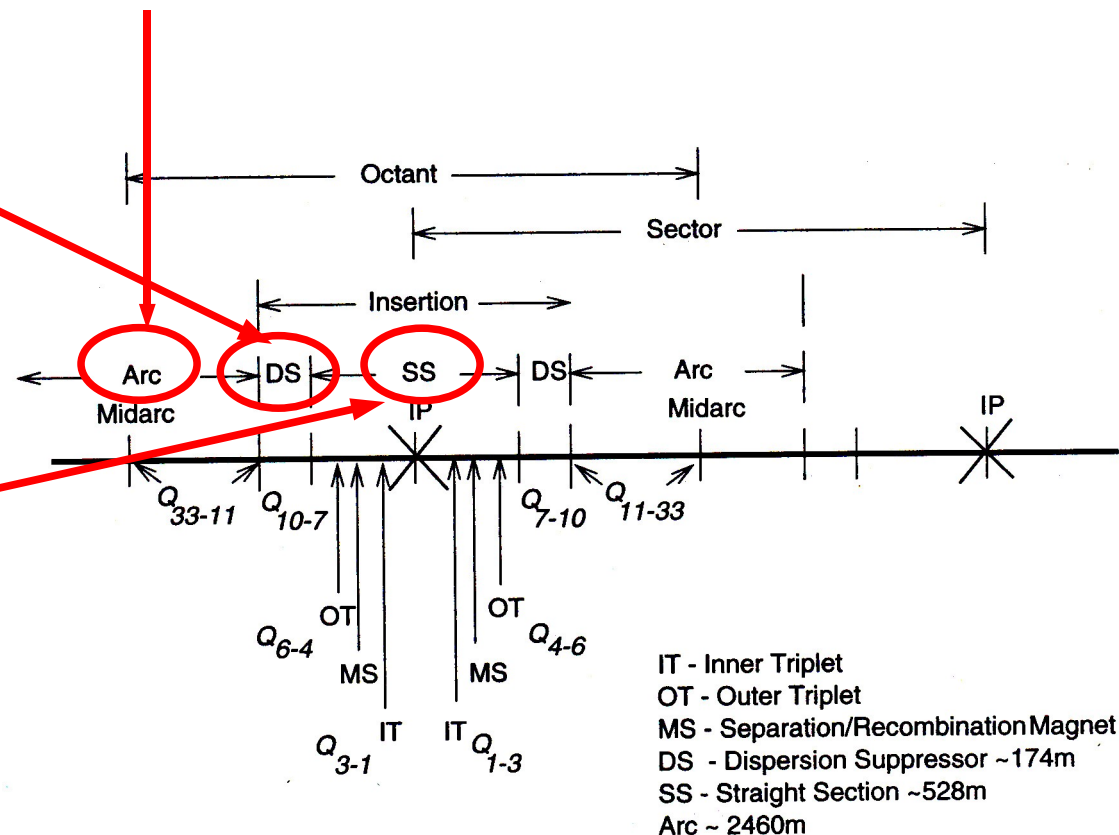
8 octants identiques : 8 arcs, 8 sections droites, 16 supresseurs de dispersion

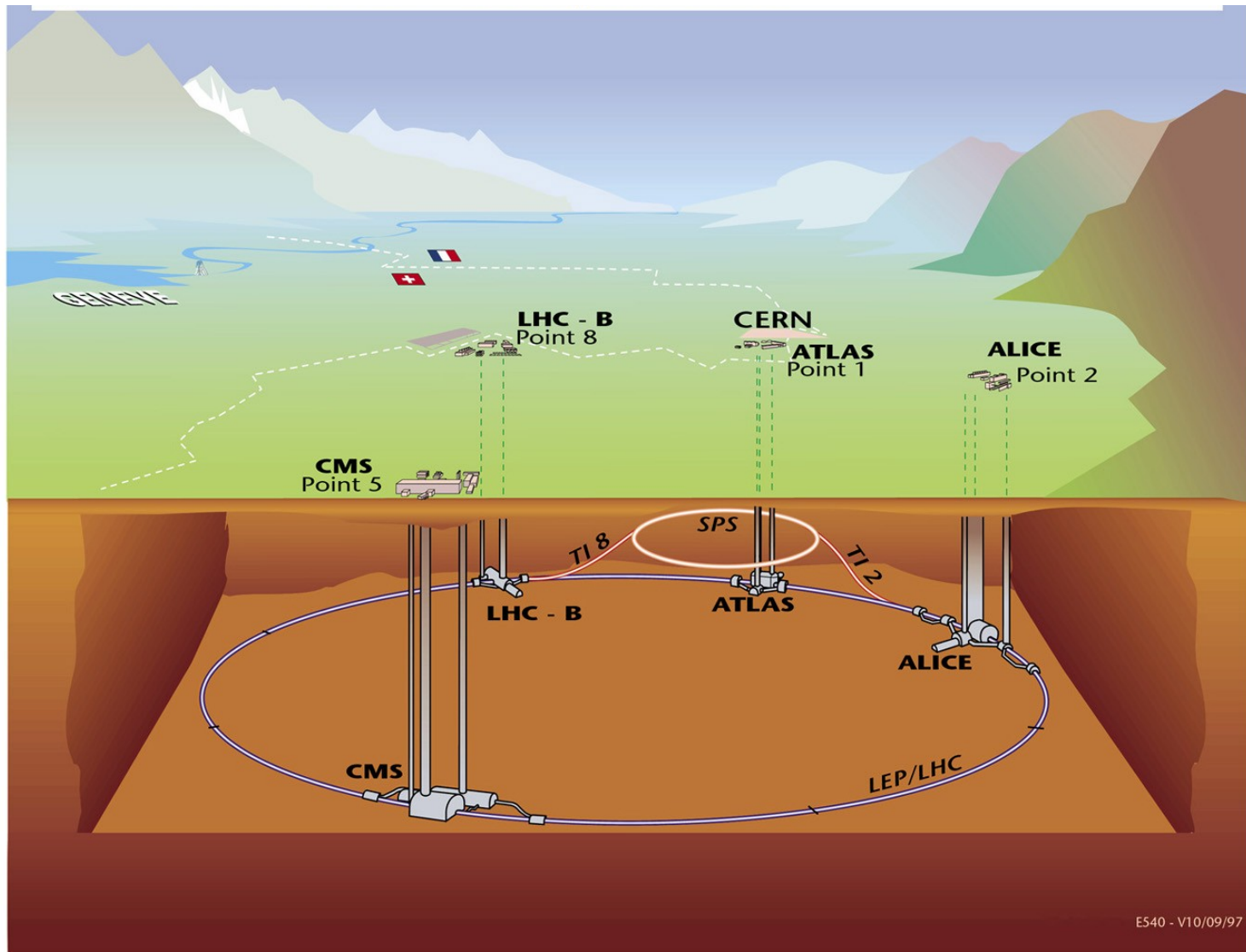
arc : 23 cellules (FODO) de 2 quadripôles et 6 dipôles
+ aimants de correction (Sextupôles, octupôles ...)

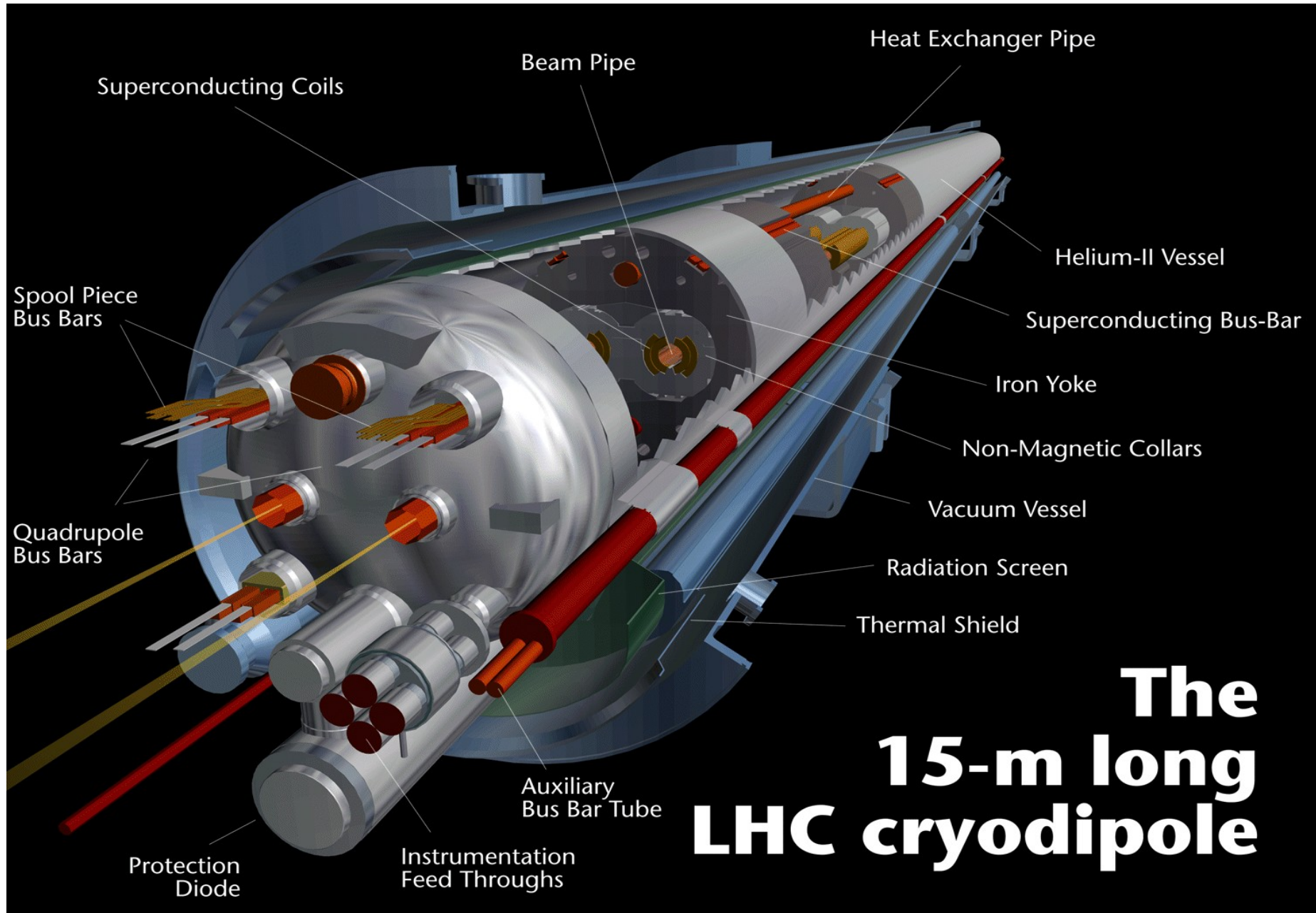
suppresseur de dispersion :
8 dipôles + 4 quadripôles

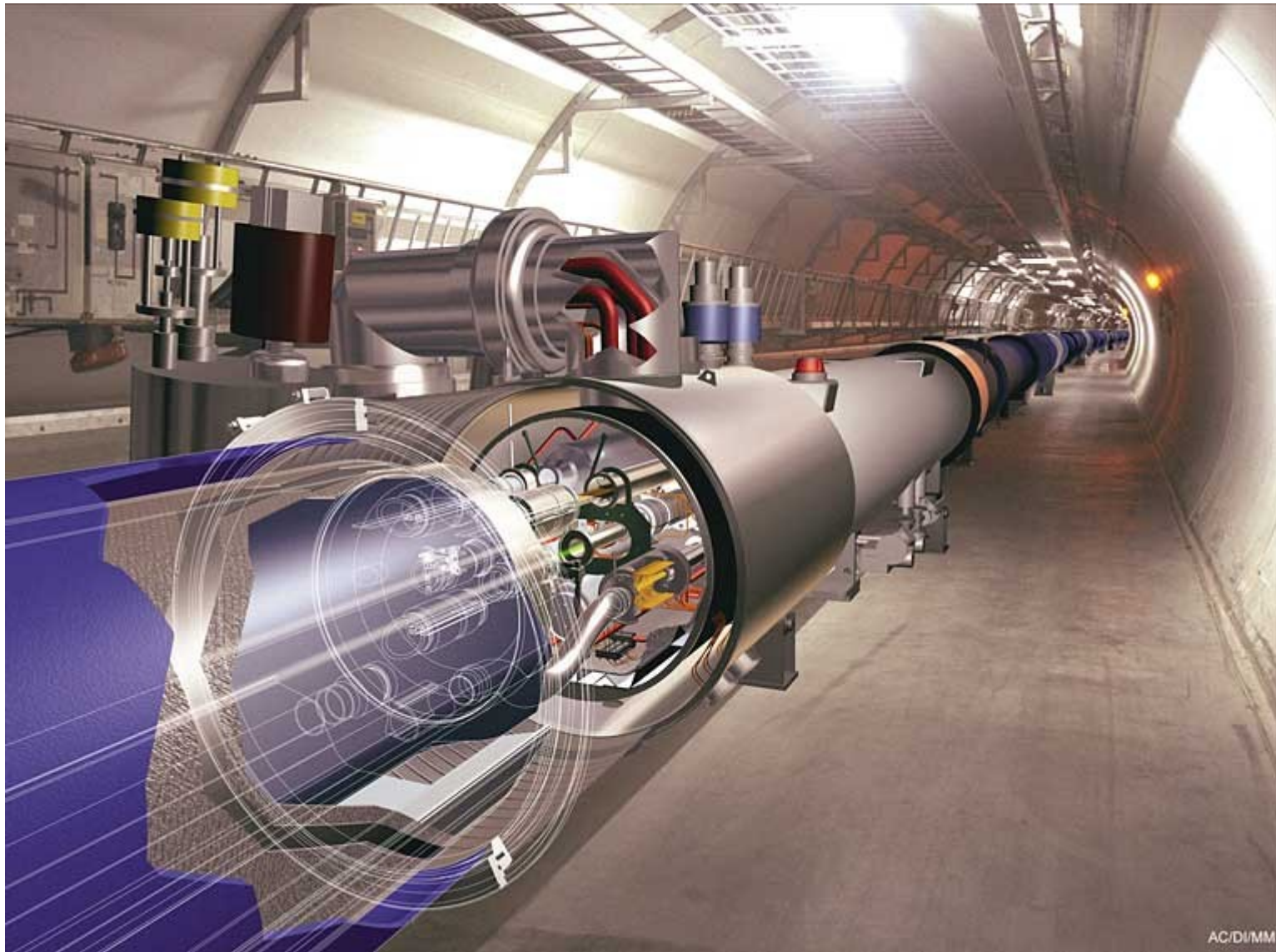
section droite :
12 quadripôles (4 x 3)
de focalisation +
aimants de séparation
et recombinaison

8 cavités accélératrices supra
dans l'une des sections droites

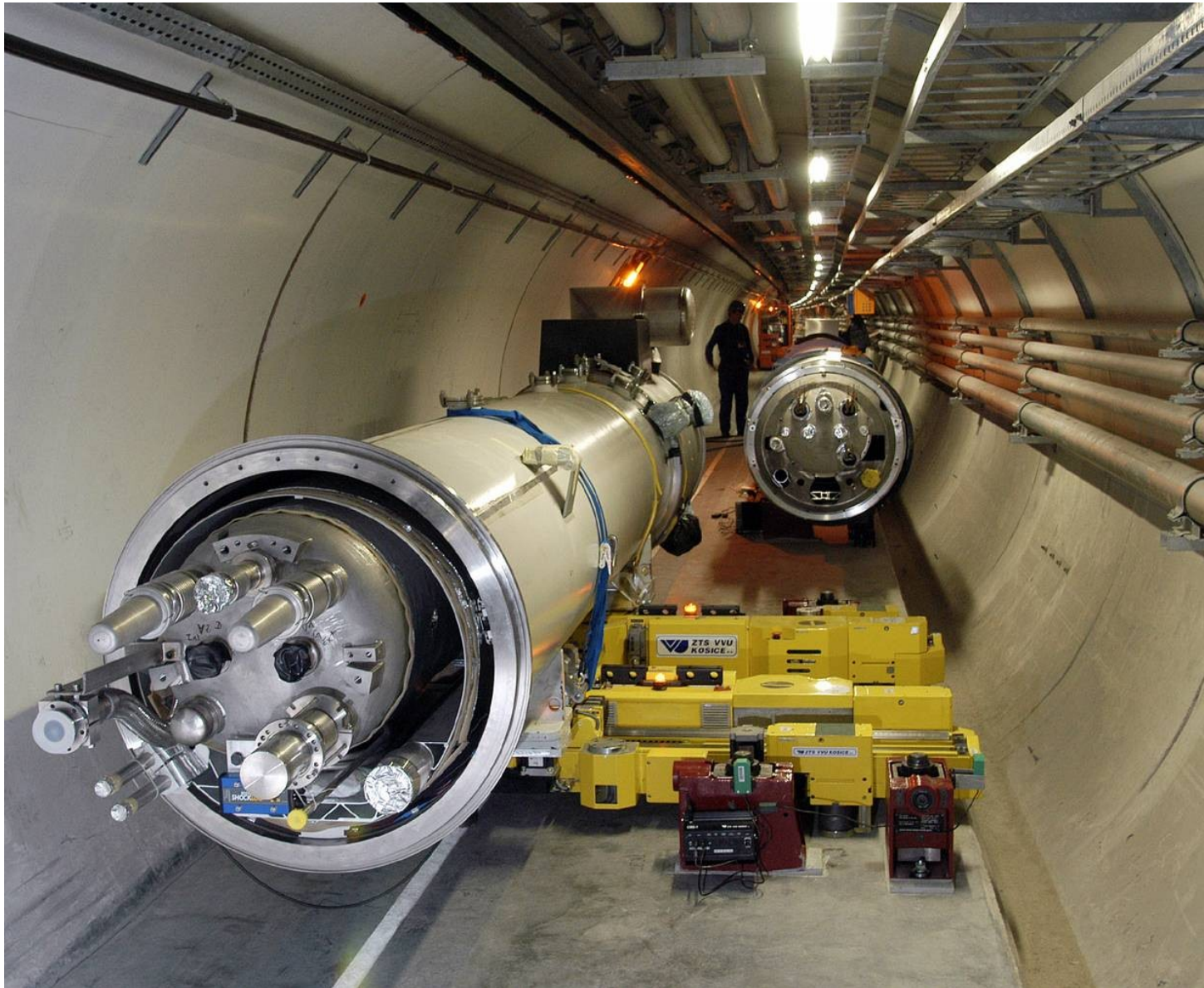




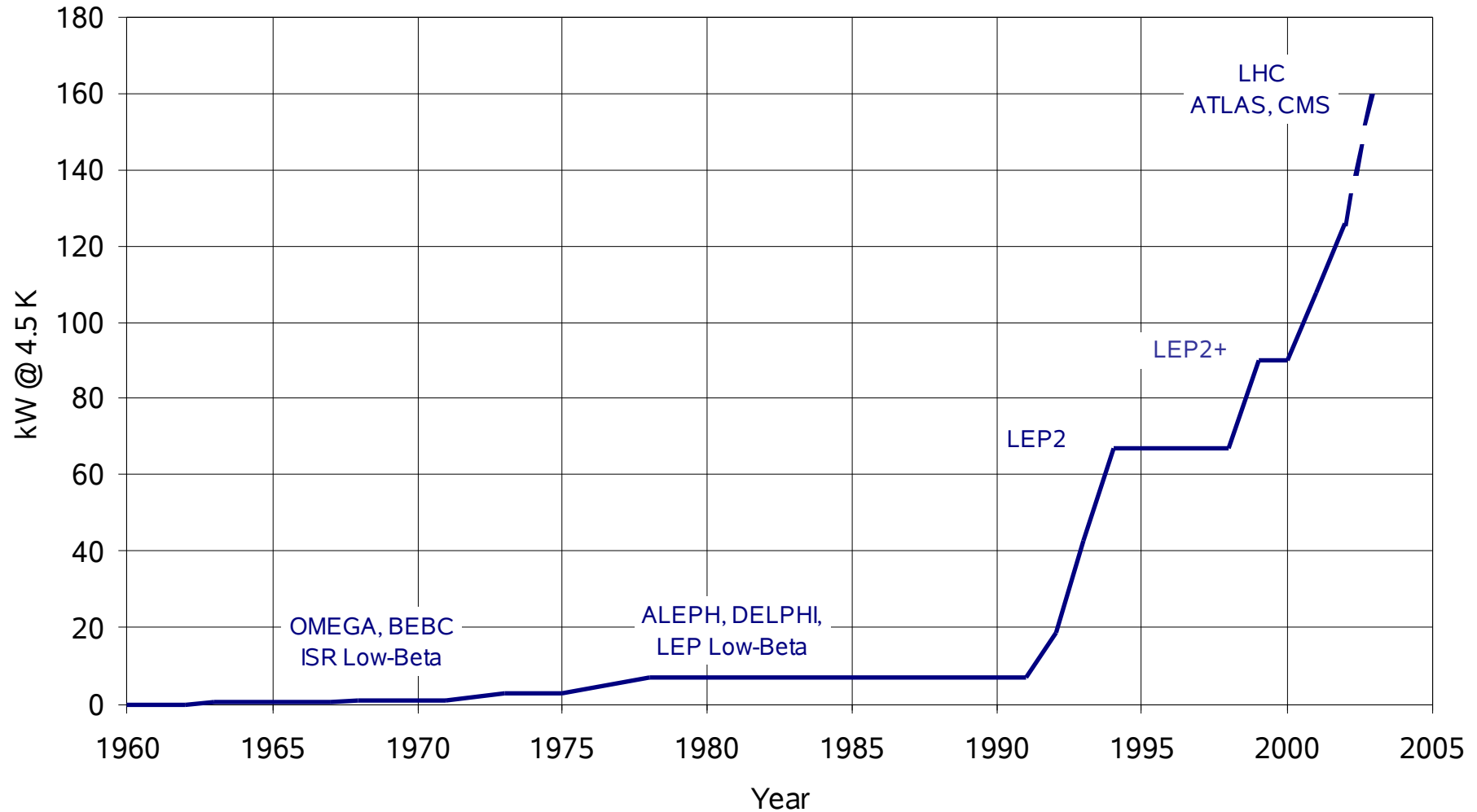




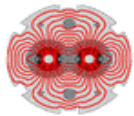
AC/D/MM



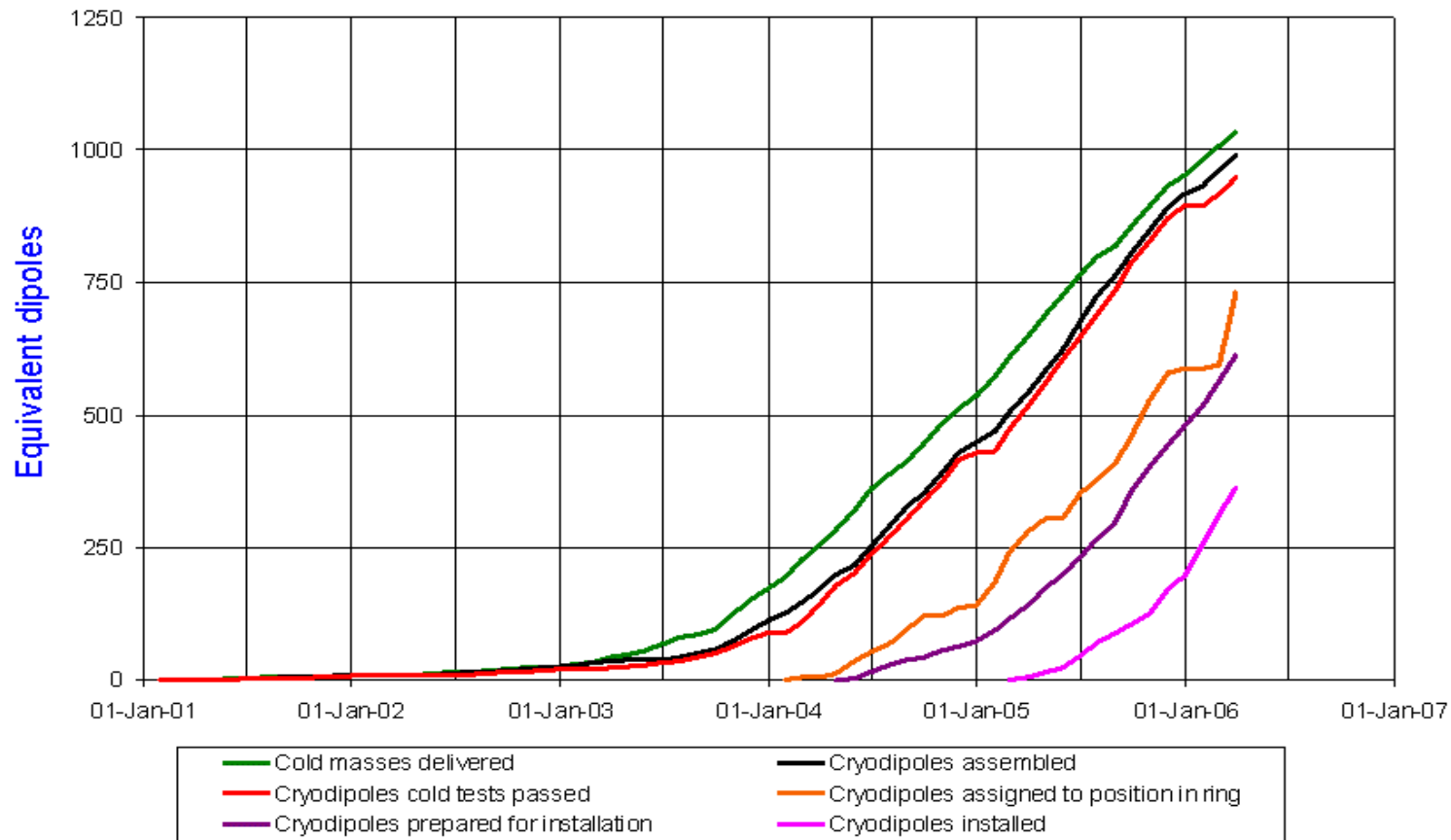
Puissance cryogénique pour le LHC







Cryodipole overview



Updated 31 Mar 2006

Data provided by D. Tommasini AT-MAS, L. Bottura AT-MTM

Stanford Linear Collider

1989 – 1998

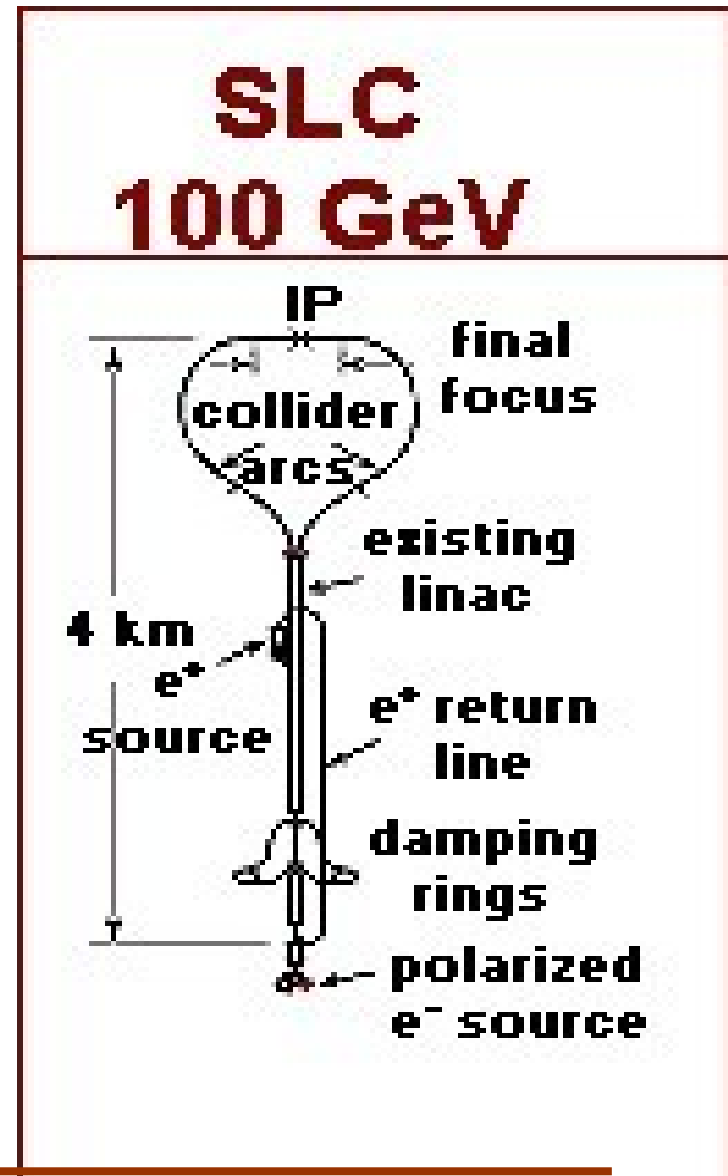
A prouvé la faisabilité
d'un collisionneur
linéaire

100 GeV (2 x 50)

$$\mathcal{L} = 3.10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

(~50% de la valeur prévue !)
réduction et maîtrise de la taille
des faisceaux !

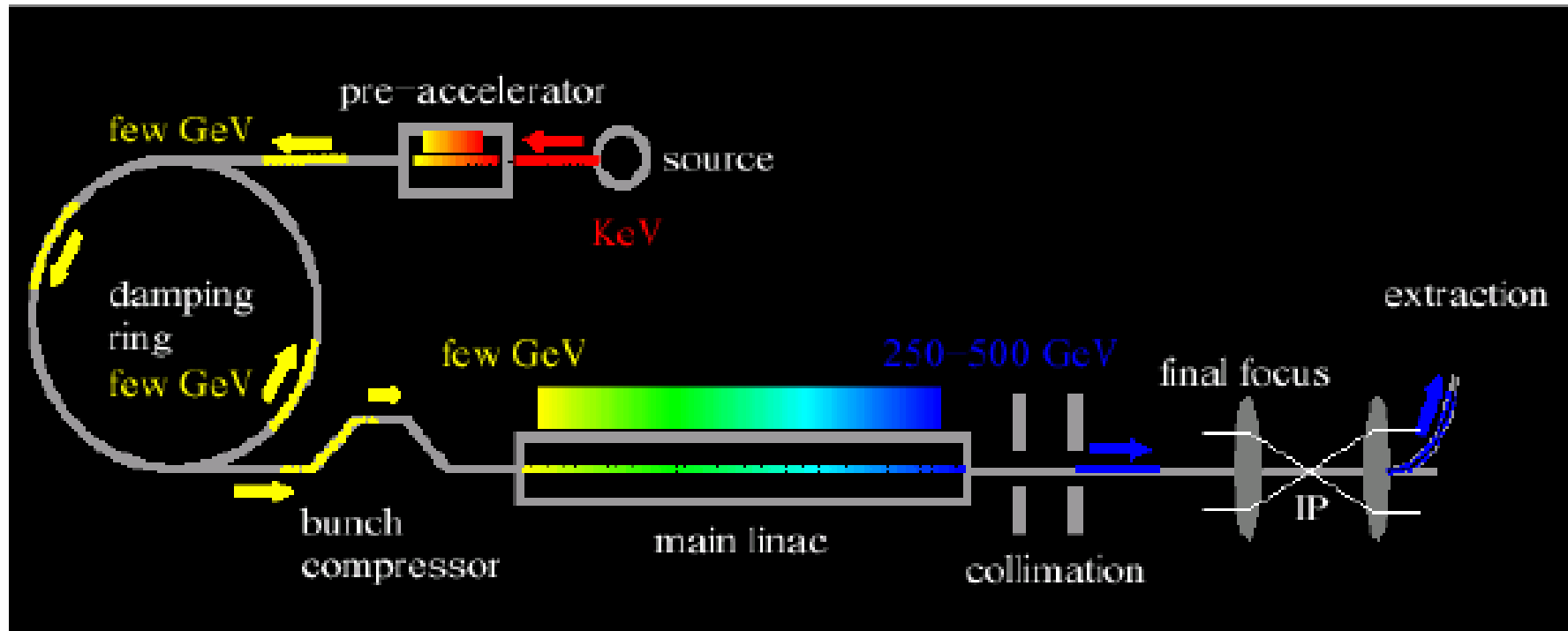
[SLAC, S-band, 2.84GHz]



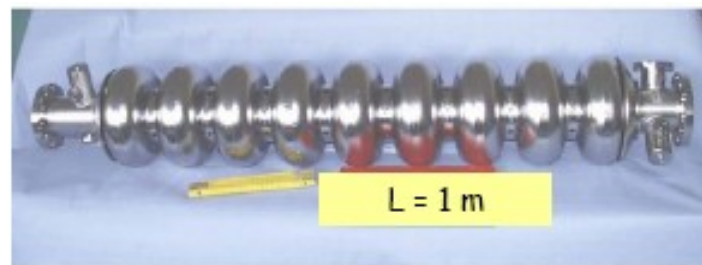
Paramètres de l'ILC

	TESLA (supra)		NLC/JLC(X) Cu	
c.m energy <i>GeV</i>	500	800	500	1000
RF frequency <i>GHz</i>	1.3		11.4	
Luminosity $10^{34}/\text{cm}^2/\text{s}$	3.4	5.8	2.5	
nb bunches/pulse	2820	4500	192	
N_{\pm} /bunch (10^{10})	2	4	0.75	
Bunch separation <i>ns</i>	337	176	1.4	
Repetition rate <i>Hz</i>	5	4	150	100
σ_y at Xing point <i>nm</i>	5	2.8	3	2.1
$\Delta E/E$ beamstrahlung	3.2%	4.3%	4.6%	7.5%
Accel. Gradient <i>MV/m</i>	23.4	35	65/52*	
Total AC power <i>MW</i>	140	200	243	292
Site length <i>km</i>	33		32	

* en charge par le faisceau



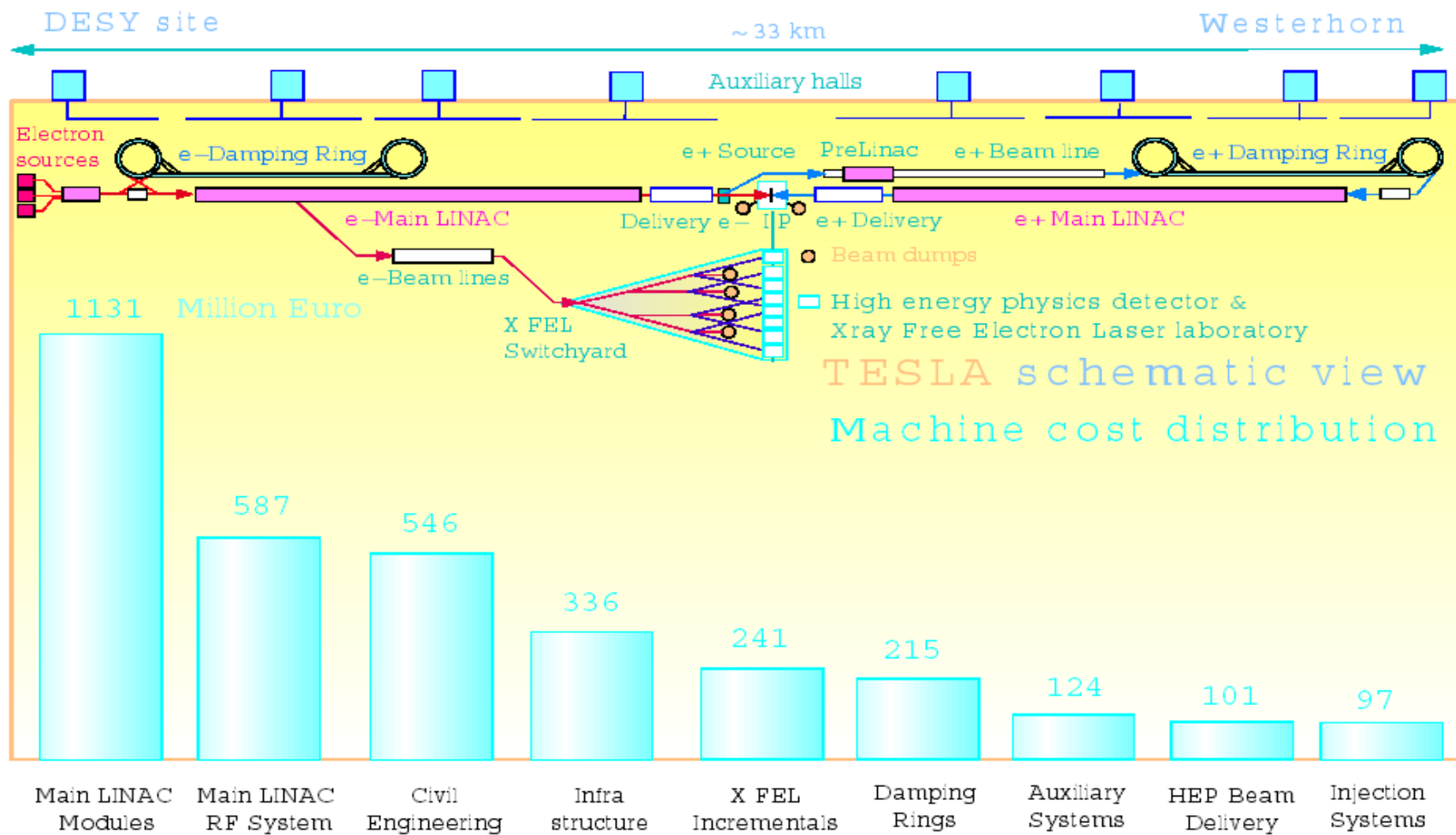
1.3 GHz , $d = 3,7$ cm



Nb
Supra

TESLA (DESY)

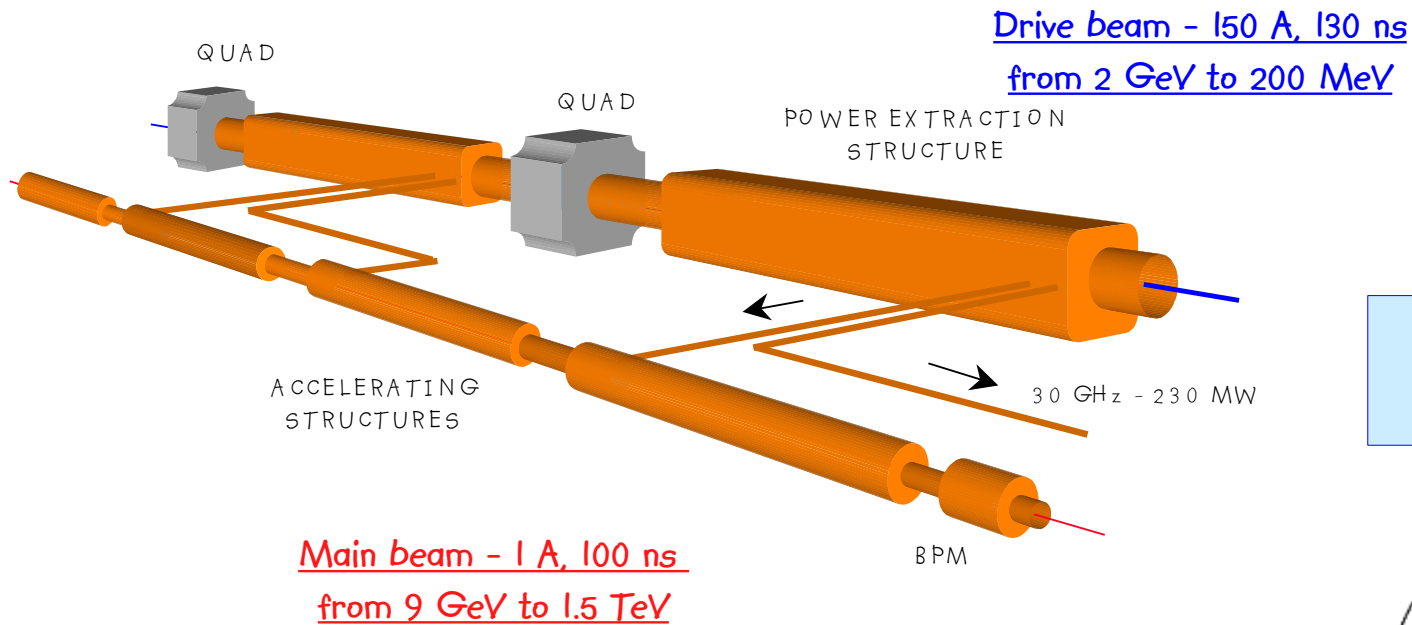
Figure 4.1.2: Overview of the accelerator investment costs.



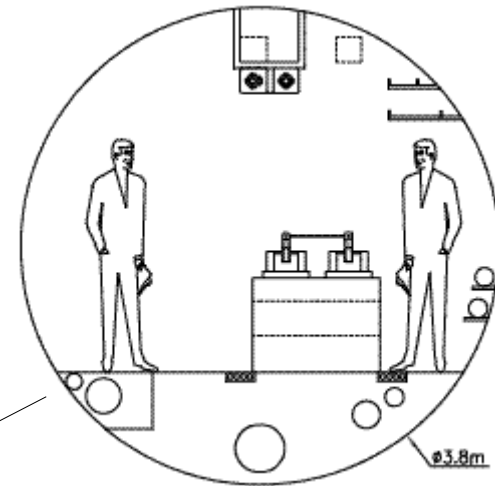
CLIC

Center of mass Energy (TeV)	0.5 TeV	3 TeV
Luminosity ($10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	2.1	8.0
Rep. Rate (Hz)	200	100
$10^9 \text{ e}^\pm / \text{ bunch}$	4	4
Bunches / pulse	154	154
Bunch spacing (cm)	20	20
H/V ϵ_n (10^{-8} rad.m)	200/1	68/1
Beam size (H/V) (nm)	202/1.2	60/0.7
Bunch length (μm)	35	35
Accelerating gradient (MV/m)	150	150
Overall length (km)	7.7	33.2
Power / section (MW)	230	230
RF to beam efficiency (%)	23.1	23.1
AC to beam efficiency (%)	9.3	9.3
Total AC power for RF (MW)	105	319
Total site AC power (MW)	175	410

Accélération à deux faisceaux : transformateur HF



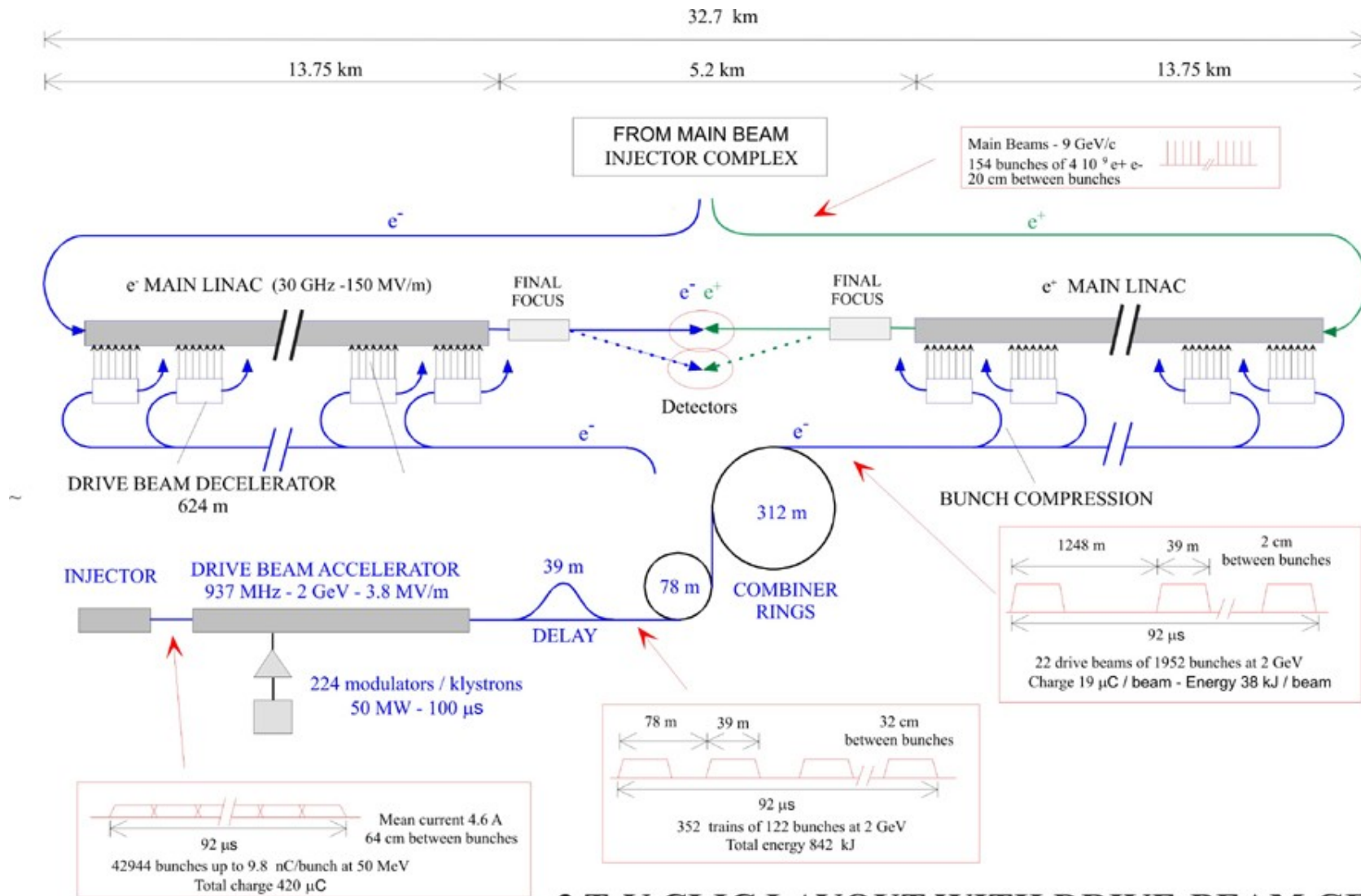
CLIC TUNNEL CROSS-SECTION



CLIC MODULE

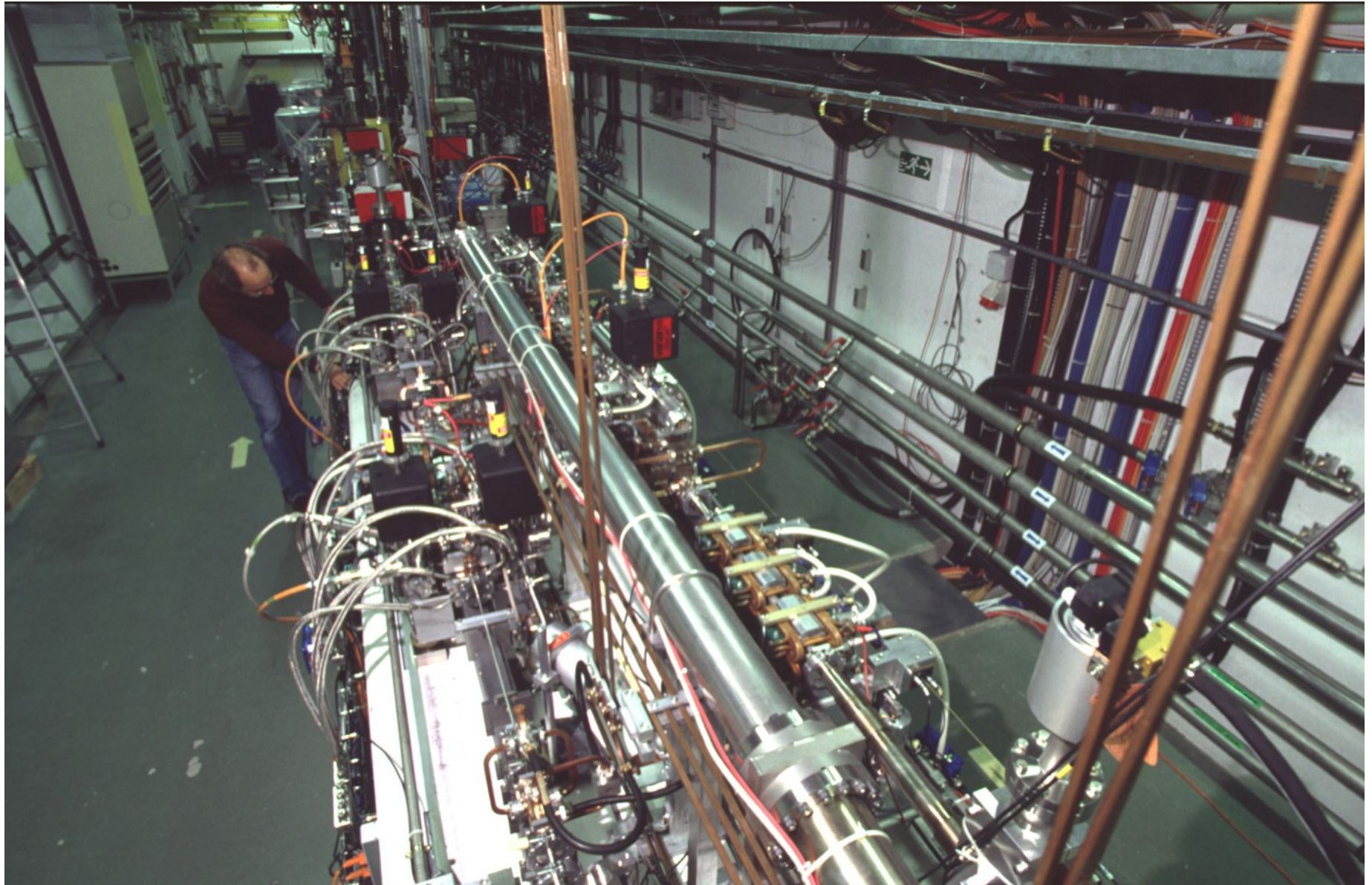
(6000 modules at 3 TeV)

Structure de la machine



3 TeV CLIC LAYOUT WITH DRIVE-BEAM GENERATION

Test au CERN - CTF2



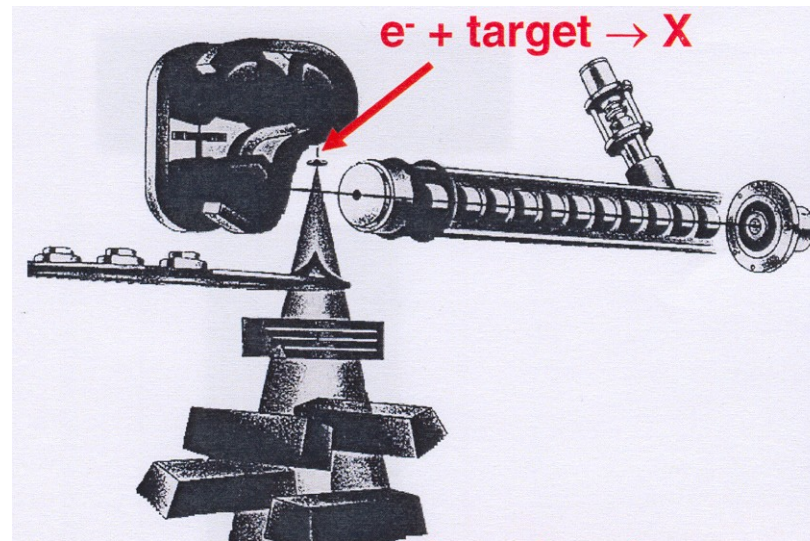
Applications des linacs à électrons de 1-15 MeV

Dose = énergie déposée par unité de masse en Gy (IJ/kg)

	Dose nécessaire (Gy)	
Dose létale humaine	0,4 – 0,5	
Radiographie	0,001 – 0,01	
Inhibition de la germination (pommes de terre – oignons)	100-200	
Purification de l'eau	250-500	
Désinsectisation des denrées	250-500	
Désinfection des eaux usées	500-10 000	
Stérilisation (denrées alimentaires – instruments chirurgicaux)	500 – 30 000	
Polymérisation	10 000 – 50 000	
Modification des polymères	50000 – 250 000	

Pas de risque d'activation avec des électrons de basse énergie

Linac à électrons pour la radiothérapie



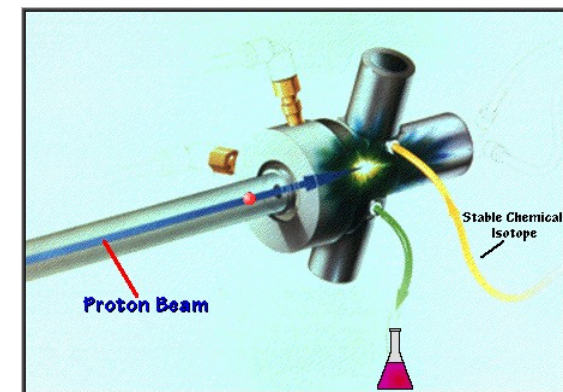
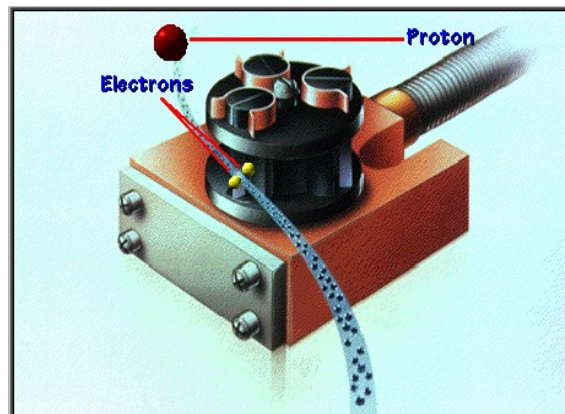
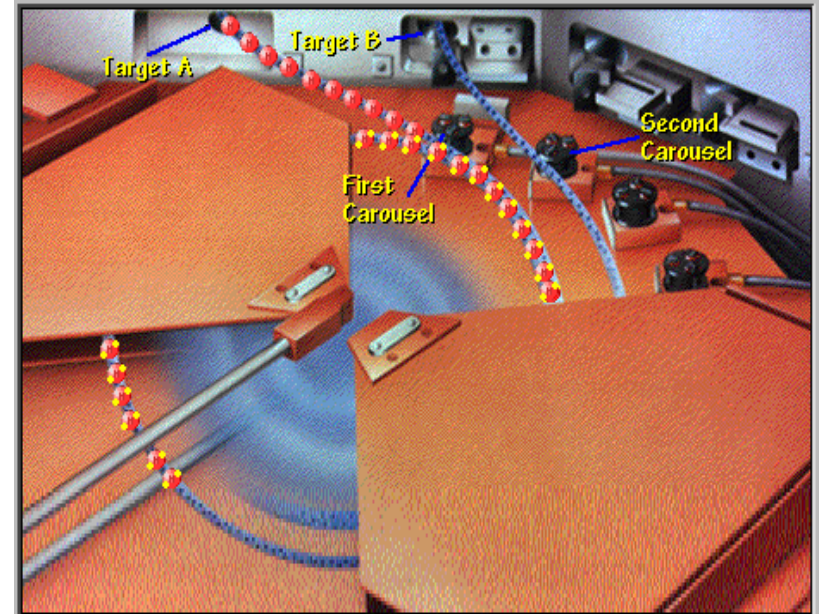
cavités à micro-ondes stationnaires à 3 GHz
énergie des électrons : 5-20 MeV

Production de radioisotopes pour la TEP



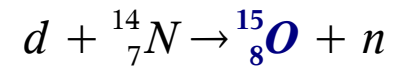
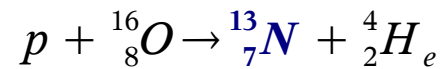
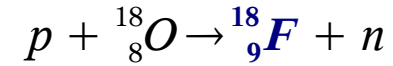
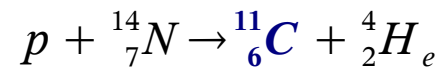
cyclotron IBA

- 18 MeV 80 μ A protons
- 9 MeV 40 μ A deutons



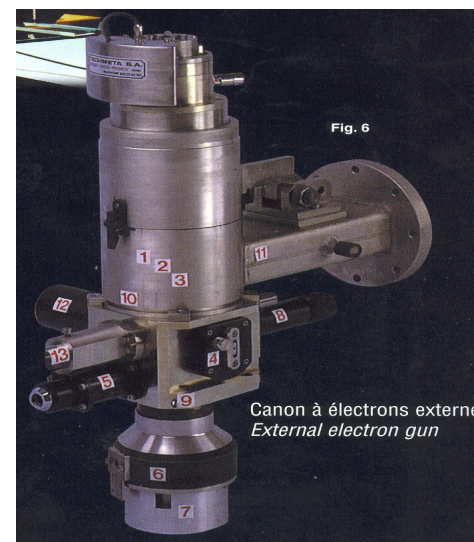
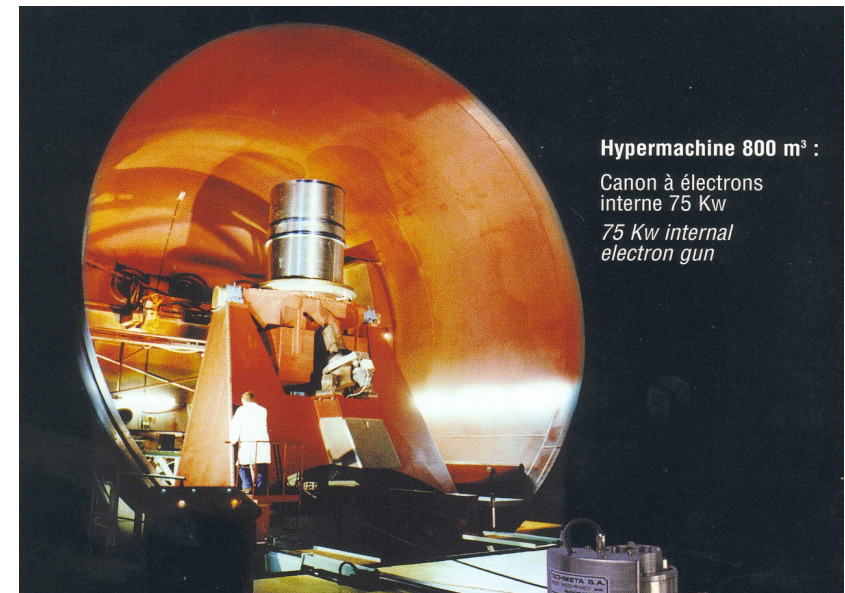
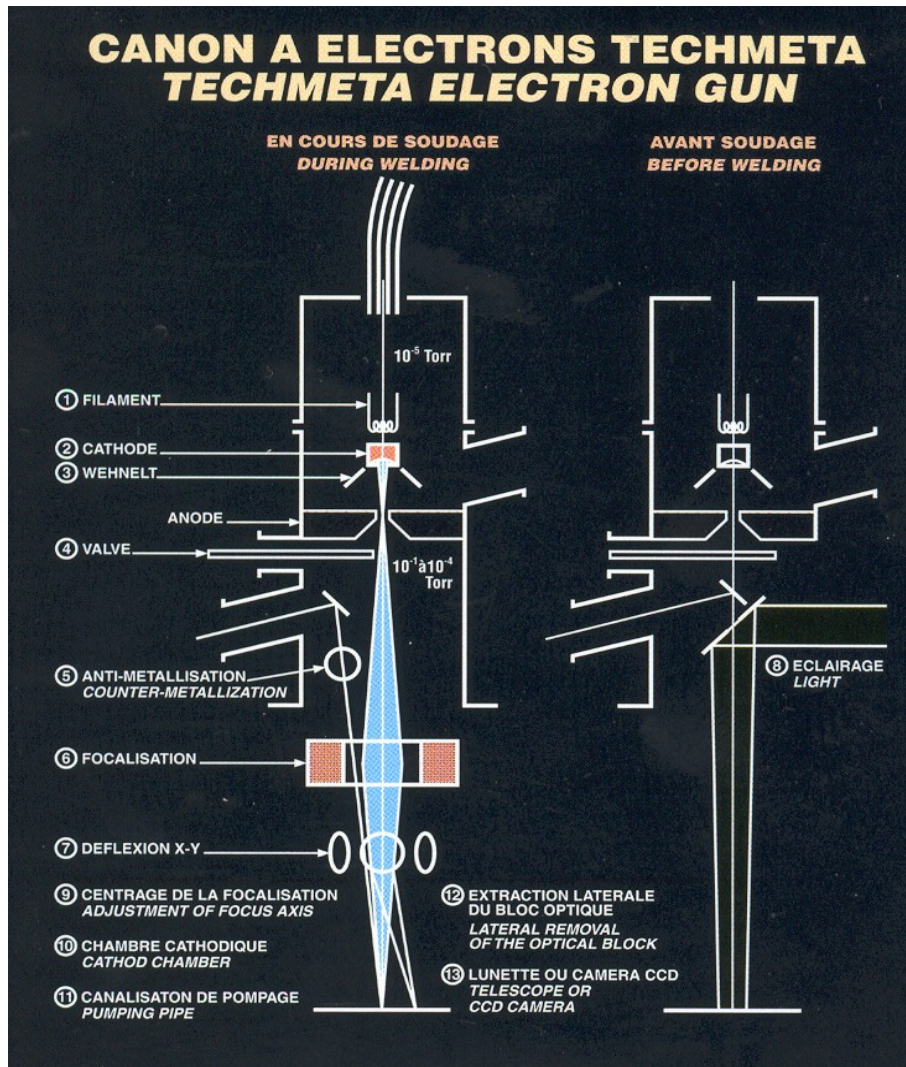
Production de radioisotopes pour la TEP

Cibles : H_2O ou N_2



	Période (mn)
${}^{11}C$	20
${}^{13}N$	10
${}^{15}O$	2
${}^{18}F$	110

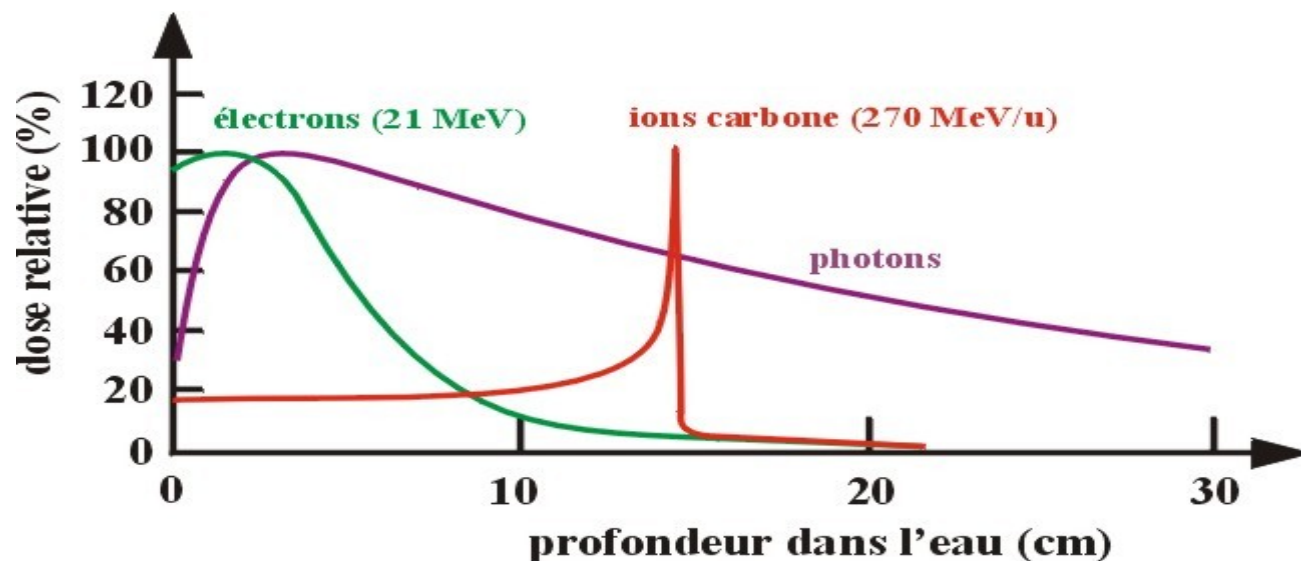
Industrie : TECHMETA à Pringy - soudure à électrons



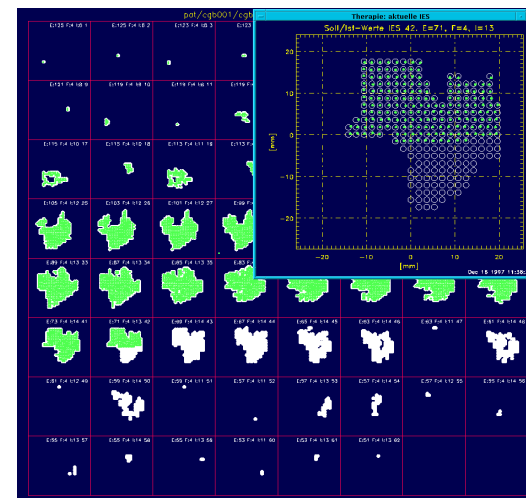
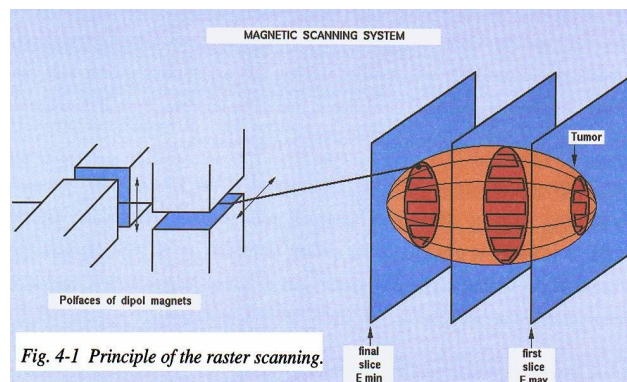
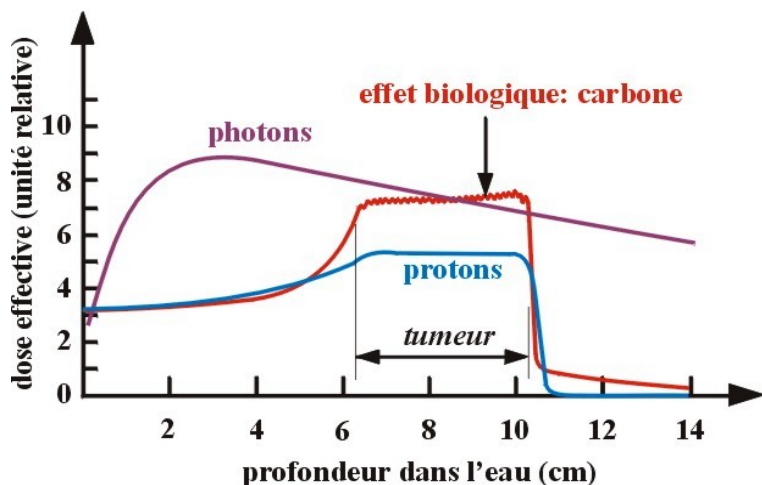
60 kV

100 kW

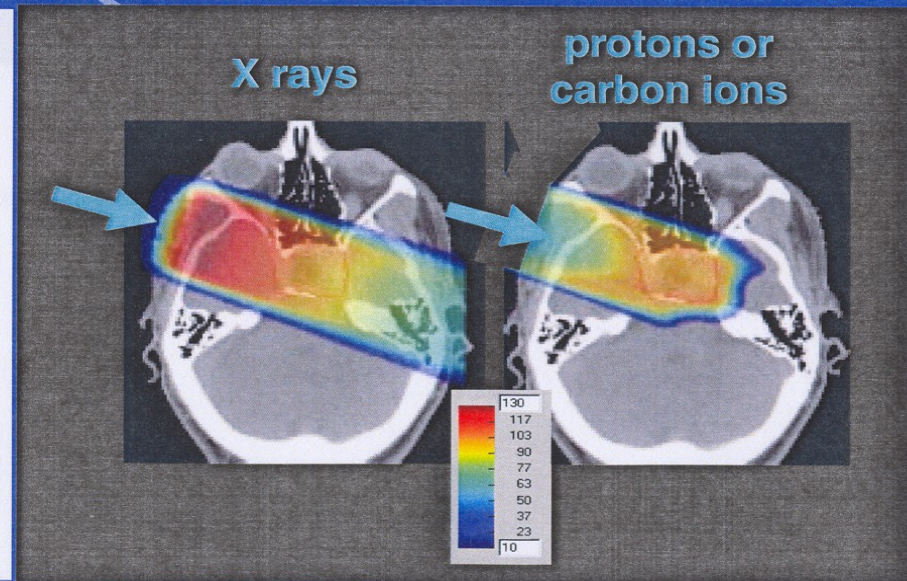
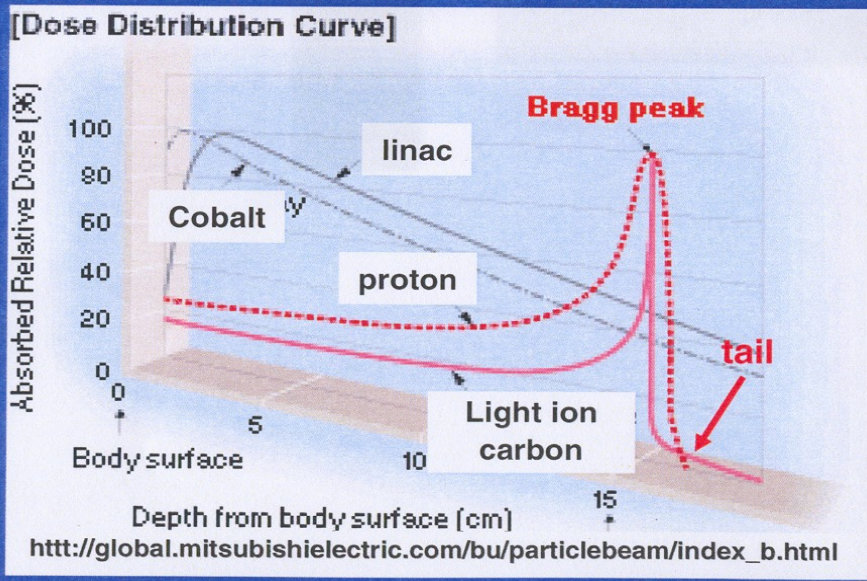
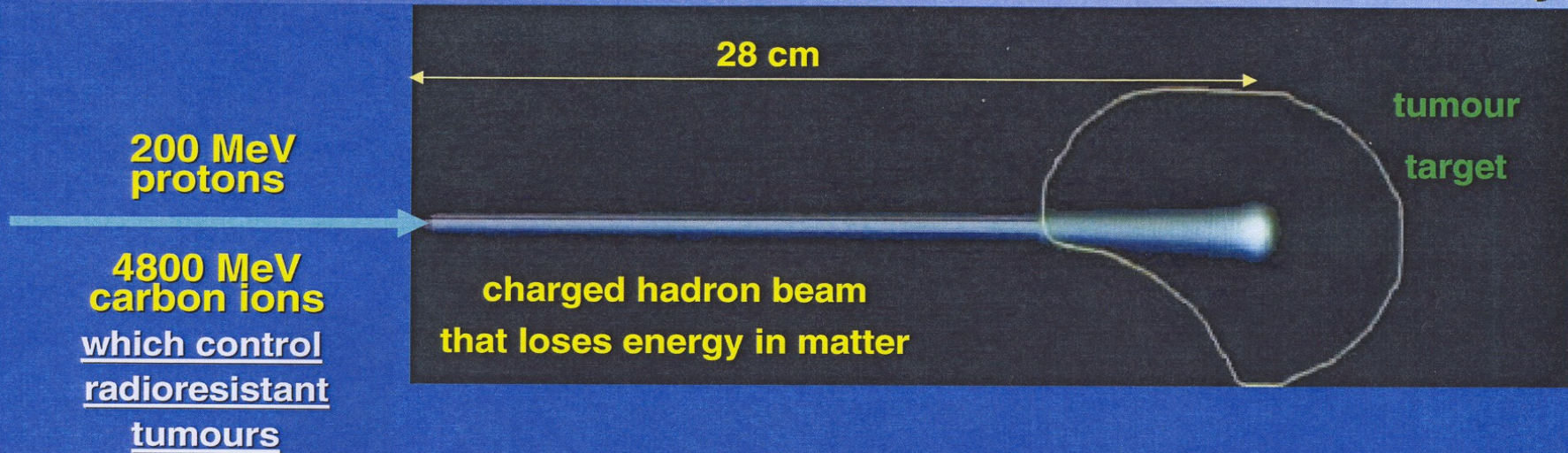
Hadronthérapie

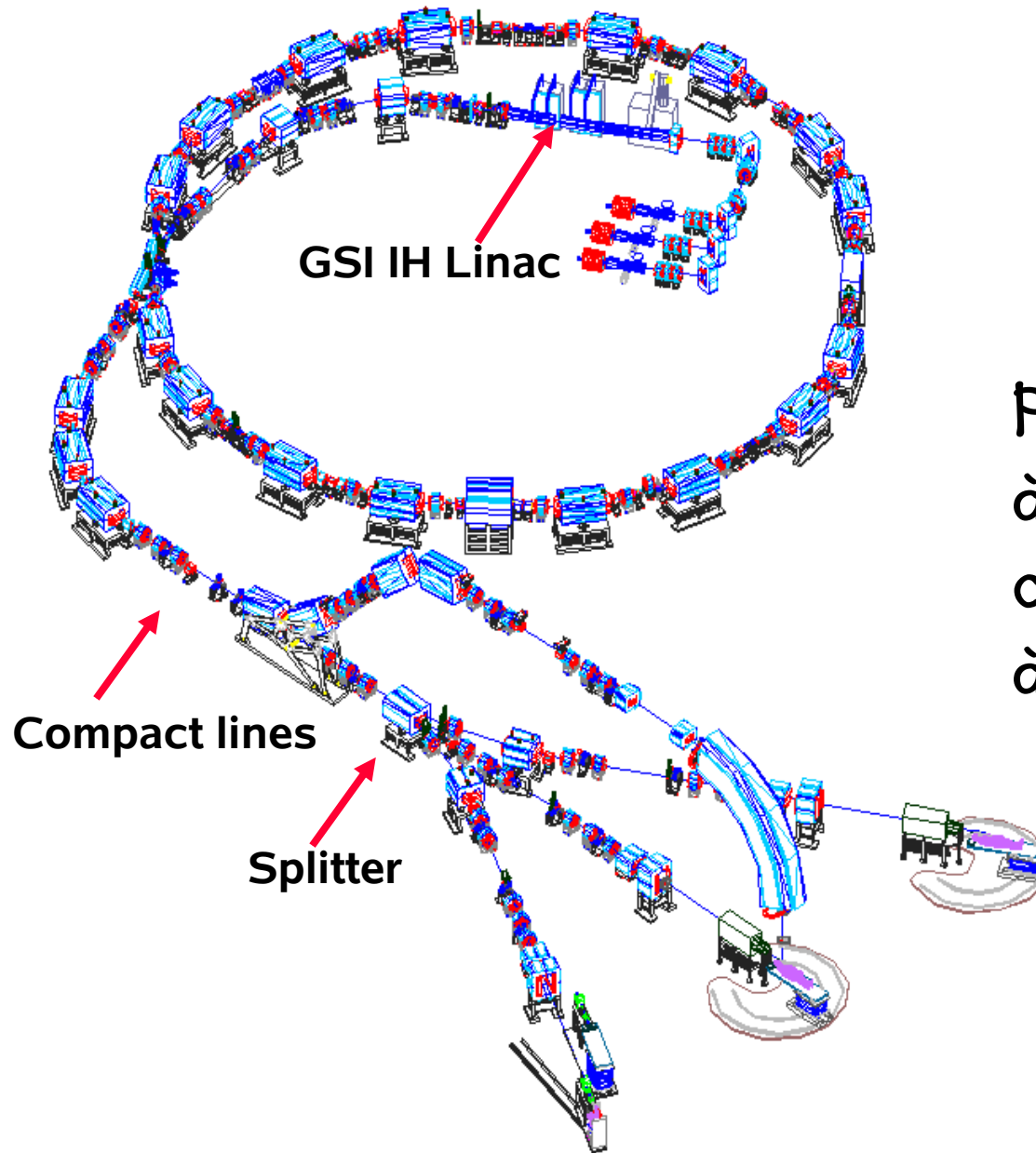


ETOILE
Espace de
Traitement
Oncologique
par Ions LÉgers



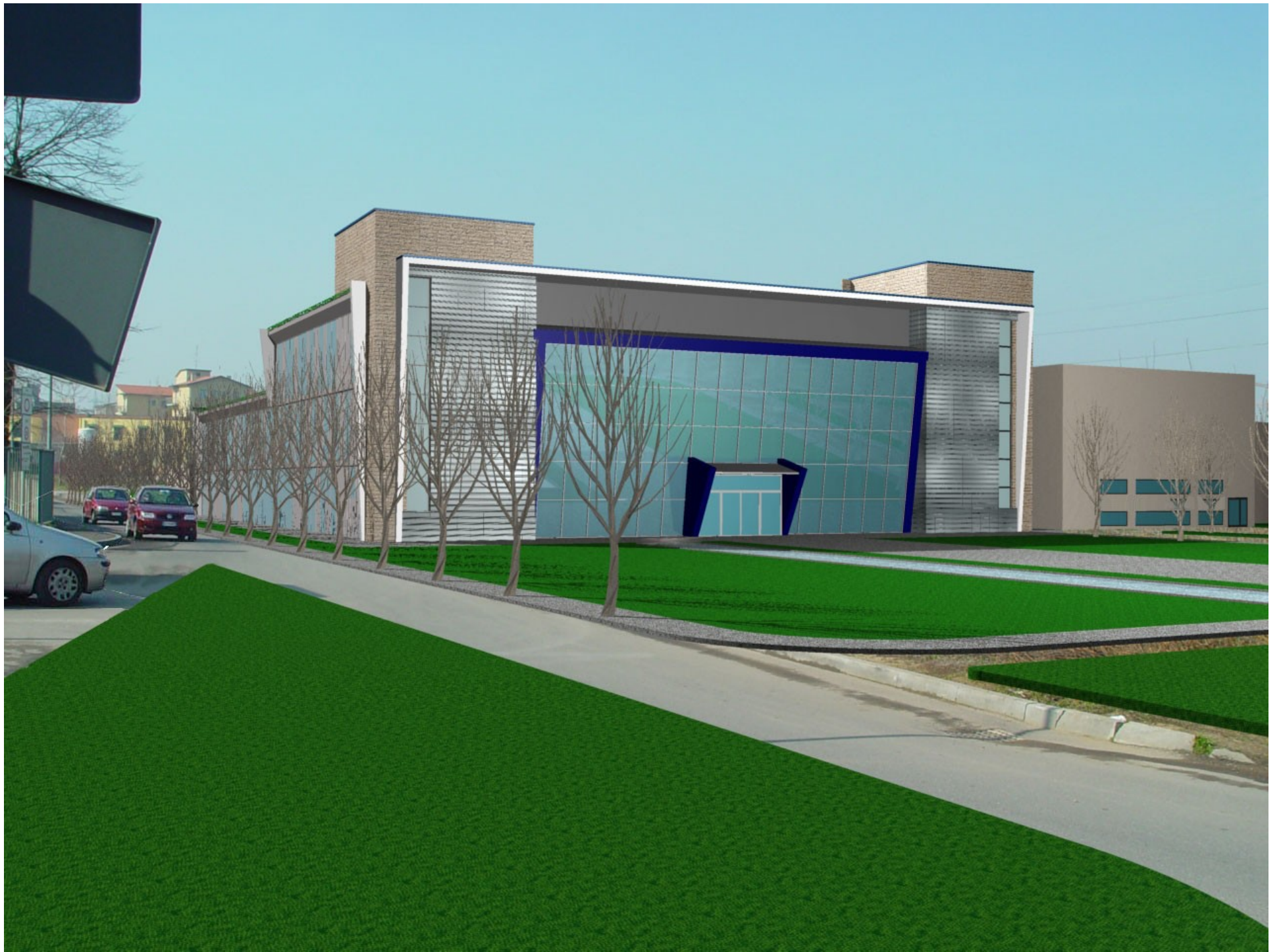
Protons and ions spare healthy tissues better than X-rays



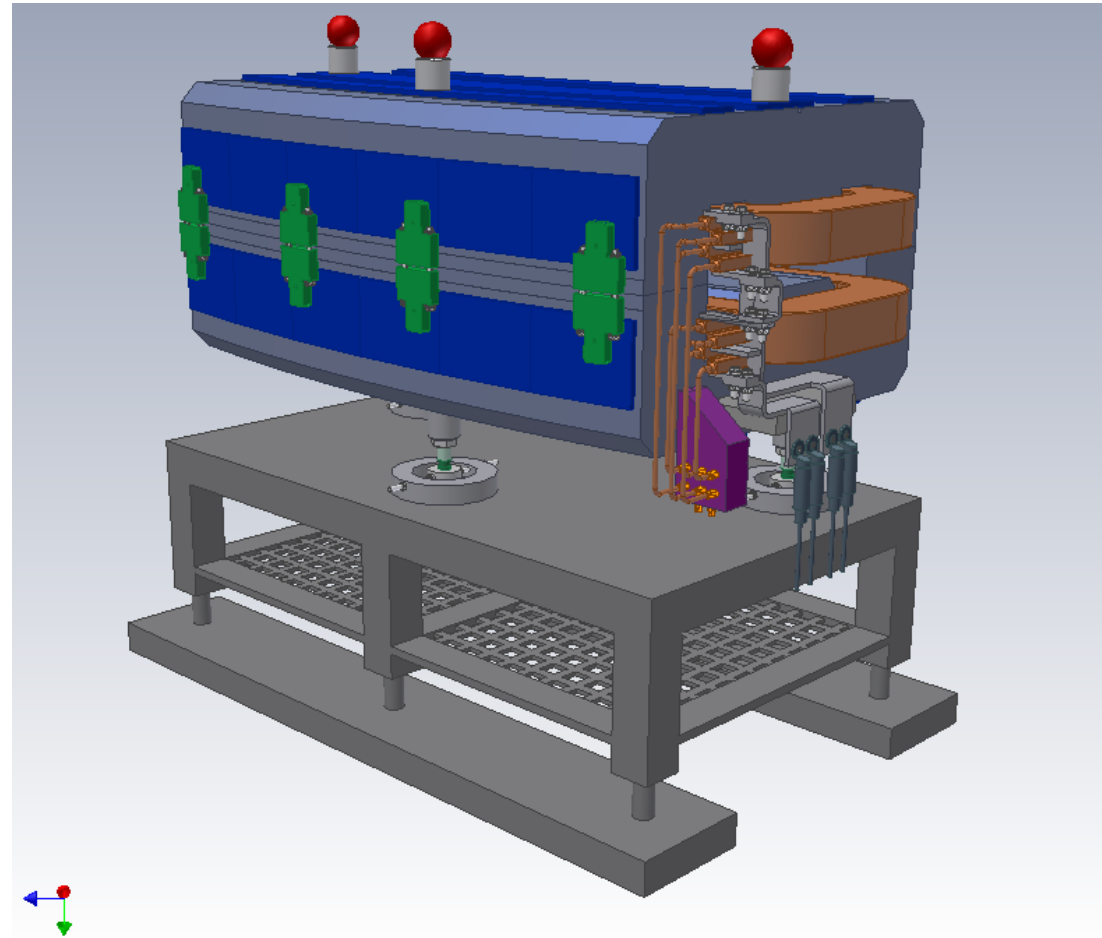


CNAO

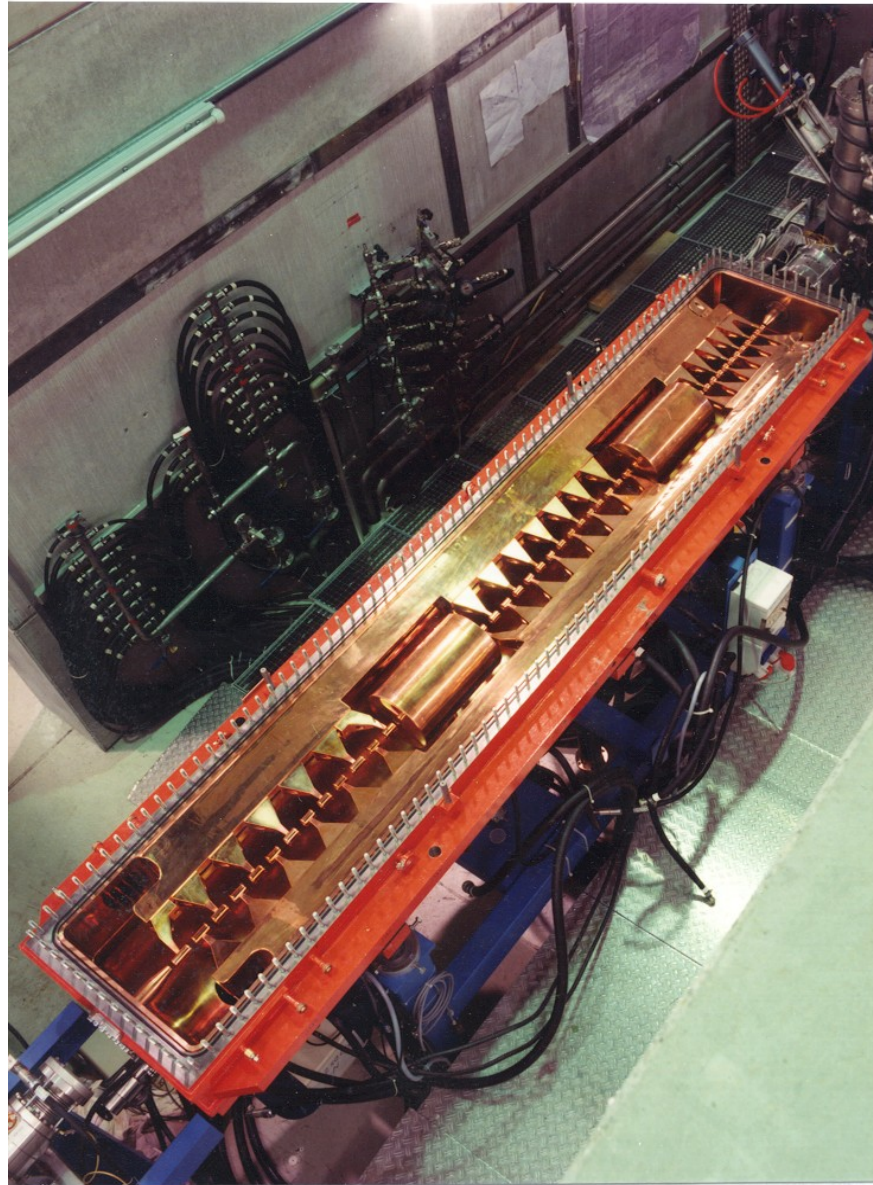
Projet similaire
à ETOILE en
construction
à Pavie en Italie



Dipole

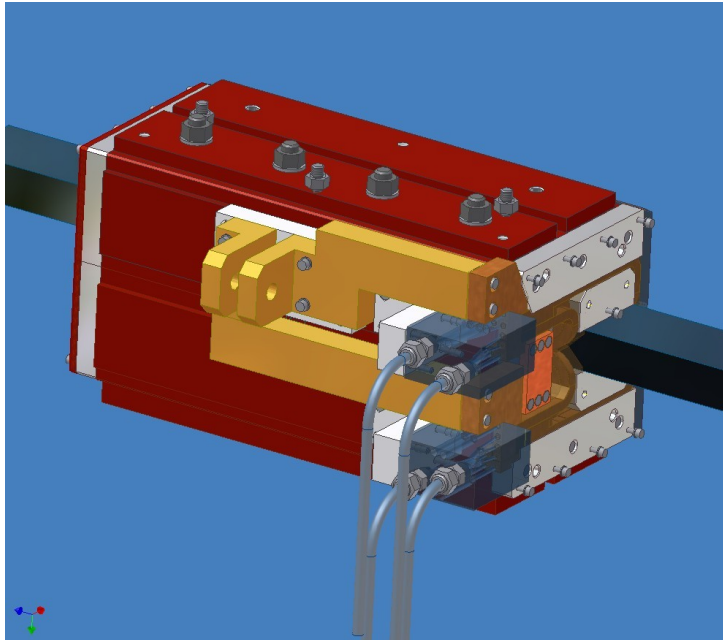
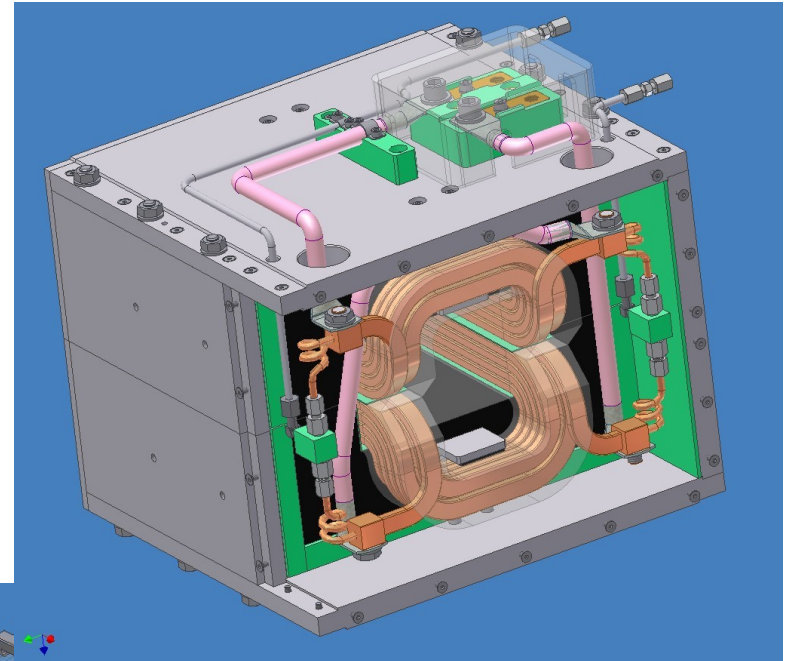


Accélérateur linéaire à protons et ions

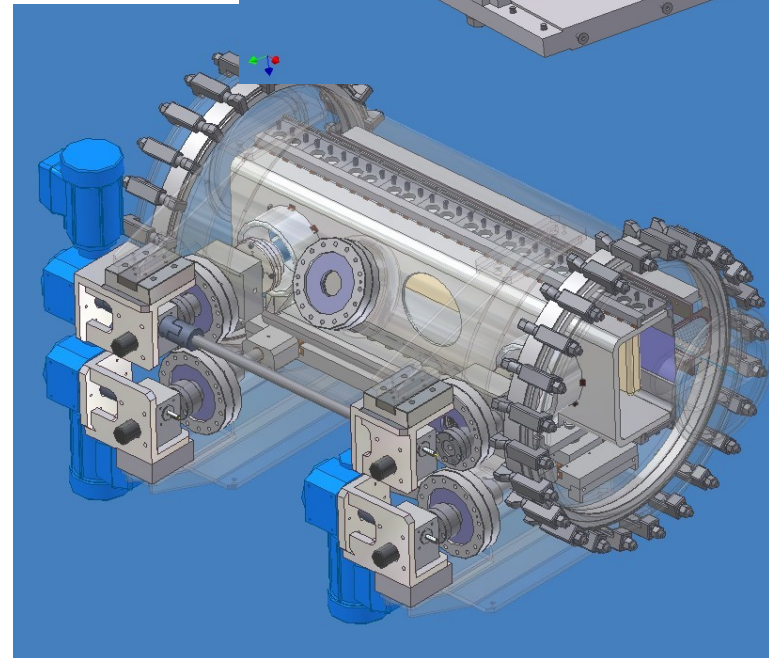


Aimants spéciaux

Chopper dipole



Injection Magnetic Septum



Electrostatic Extraction Septum

Cavité accélératrice

