

Utilité des accélérateurs, types de machines, physique nucléaire et de particules associées

Plan

- 1) Introduction à la physique des particules
Les particules élémentaires et leurs interactions
Les détecteurs de physique des particules
- 2) Les accélérateurs pour la physique des particules
- 3) Collisionneurs ppbar versus collisionneurs e+e- : SPS versus LEP
- 4) 'Overview' de deux installations/projets majeurs
Le LHC
Un grand projet aujourd'hui : ILC
- 5) Applications de l'interaction laser-electron
- 6) Accélération laser-plasma

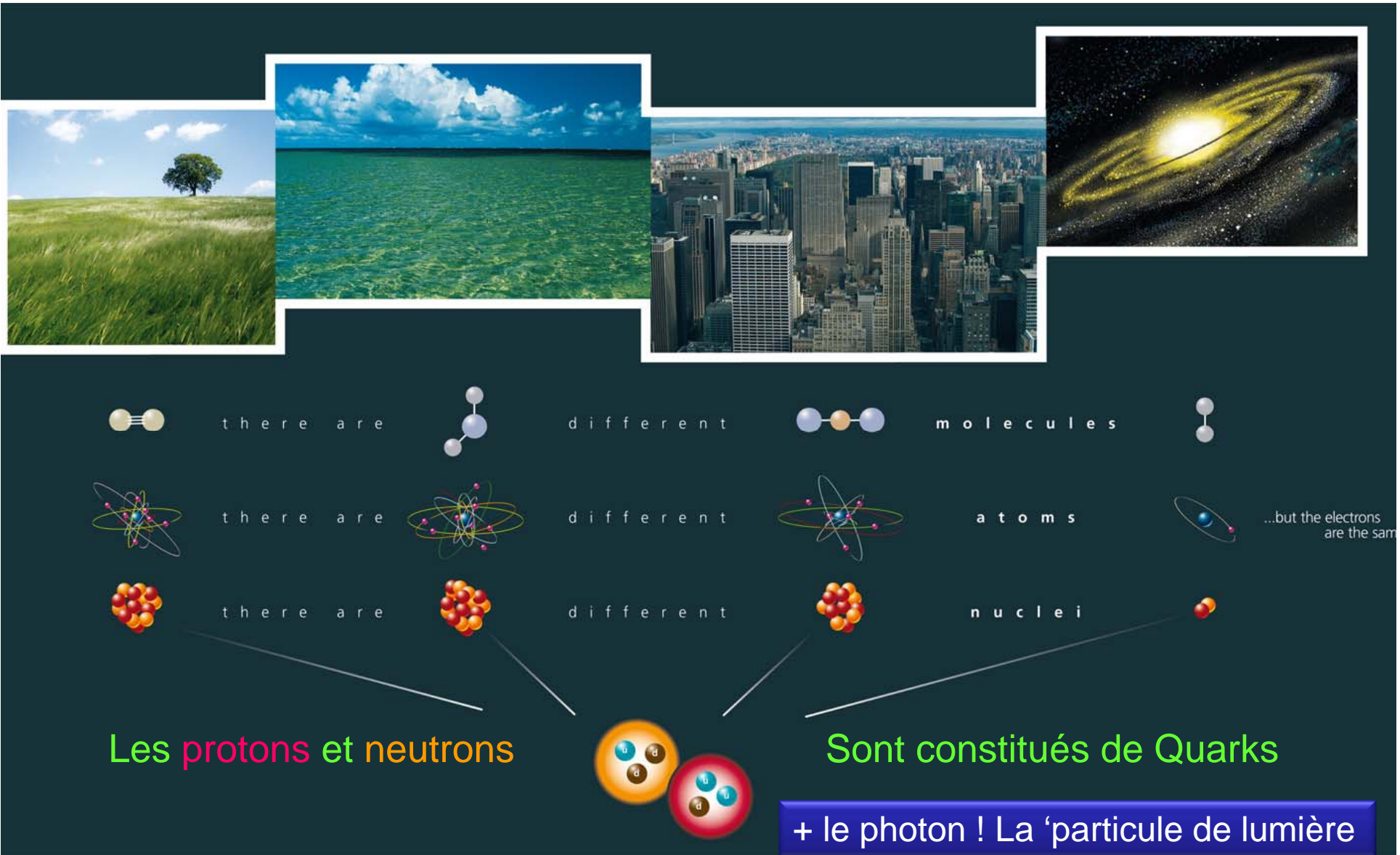
- Sources

- E. Baron (GANIL)
- M. Costa (CMS/Turin)
- A. Mueller (DA IN2P3/IPN)
- R. Poeschel (ILC/LAL)
- F. Richard (ILC/LAL)
- MH Schune (LHCB/LAL)
- L. Serin (ATLAS/LAL)
- D. Rousseau (ATLAS/LAL)
- A. Stocchi (BaBar/SuperB/LAL)
- A. Variola (SERA/LAL)
- I. Wingerter (ATLAS/LAPP)
- Collègues du KEK : T. Omori, H. Shimizu, J. Urakawa

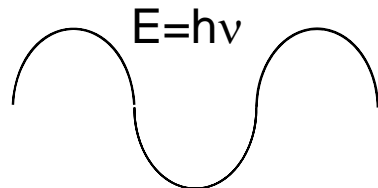
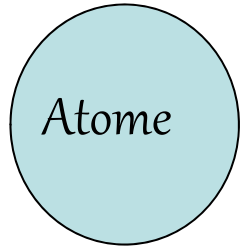
- <http://www.in2p3.fr/actions/formation/DetAMesure-09/SupportDetAMes09.htm>
- <http://elementaire.web.lal.in2p3.fr/>
- Site www du CERN, FERMILAB, ...

Introduction :
Les particules élémentaires
et
leurs interactions

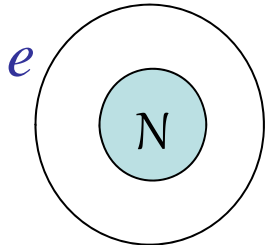
La complexité est reductible



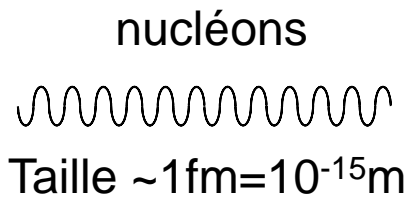
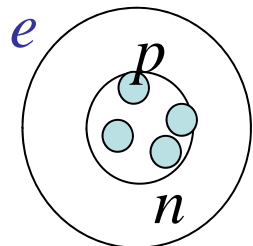
Les particules : les constituants élémentaires de la matière



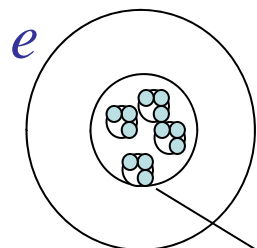
Taille $\sim 10^{-10}m$



Taille $\sim 1fm=10^{-15}m$



Taille $\sim 1fm=10^{-15}m$



Taille $\sim 10^{-19}m$

La matière ordinaire

1	IA																2					
1	H	IIA																2	He			
2	3	Li	4	Be	B												5	6	7	8	9	10
3	11	Na	12	Mg	Al												13	14	15	16	17	18
4	19	20	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	31	32	33	34	35	36		
5	37	38	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	49	50	51	52	53	54		
6	55	56	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	81	82	83	84	85	86		
7	87	88	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	106	107	108	109	110	111	112	Naming conventions of new elements							

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

est composée par trois particules :

Quark up *u*
 Quark down *d*
 Lepton electron *e*

....d'interactions..et de vide !

Si les protons et les neutrons avaient un diamètre de 10 cm, les quarks et les électrons mesureraient moins de 0,1 mm et un atome entier ferait environ 10 km de diamètre.

Un atome est constitué à plus de 99,99 % de vide.

Les particules aujourd'hui: la matière extra..ordinaire

Dans la vie de tous les jours nous expérimentons les particules de la première famille....

Quarks	u up	c charm	t top
	d down	s strange	b bottom
Leptons	ν_e e- Neutrino	ν_μ μ - Neutrino	ν_τ τ - Neutrino
	e electron	μ muon	τ tau
	I	II	III
The Generations of Matter			

+ les antiparticules

Les quarks n'existent pas à l'état libre !

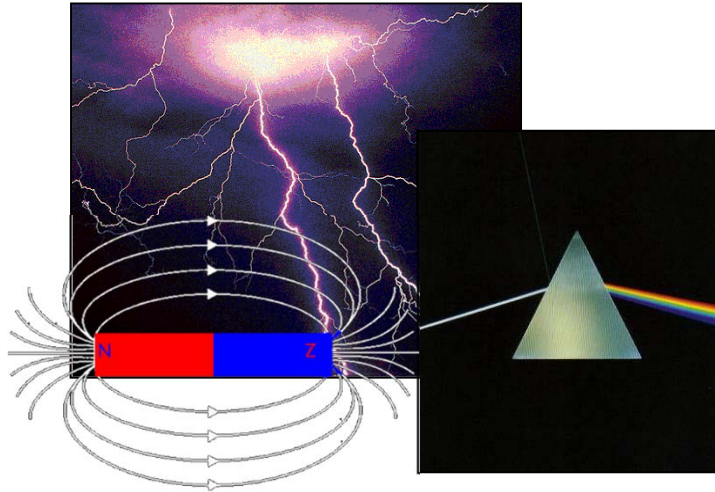
- **Hadrons** : particules constituées de quarks
- **Baryons** : 3 quarks (ex: neutron, proton)
- **Mésons** : 2 quarks (ex. les pions, mésons B)

Petite histoire: lorsque la découverte du muon fût annoncée, le physicien I. Rabi dit :

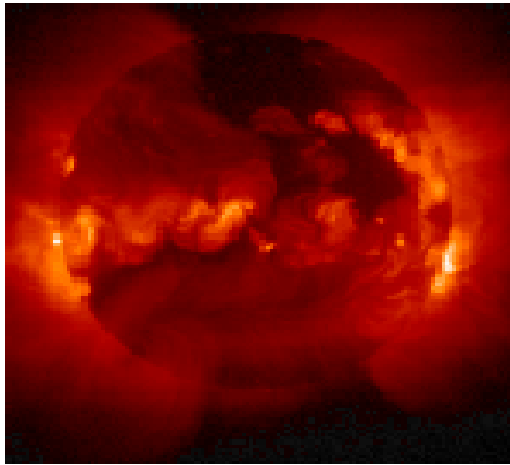


Ça reste une très bonne question.....

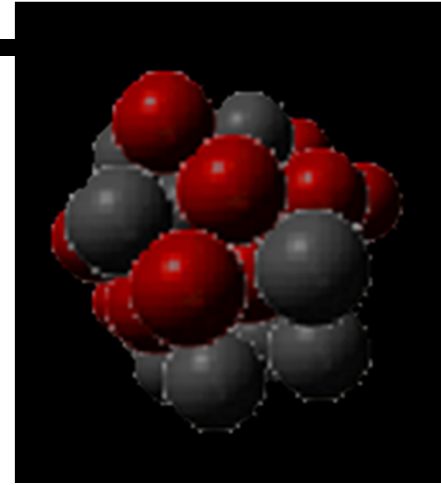
Les quatre forces fondamentales



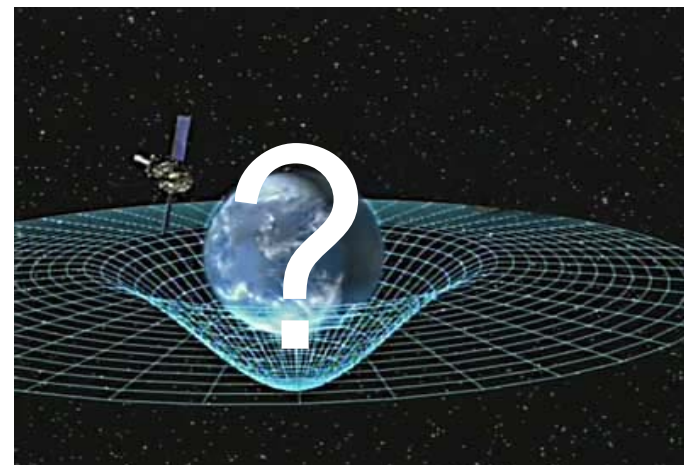
electromagnetique



Force faible

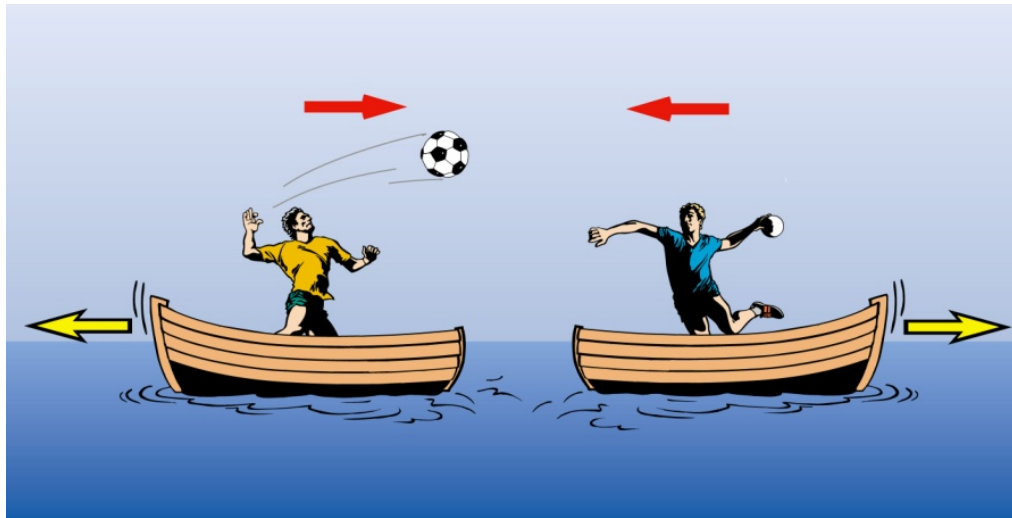


Force forte



Gravite

Les forces vues par les physiciens des particules..



Particule A

Messenger de l'interaction

Particule B

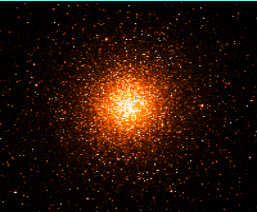
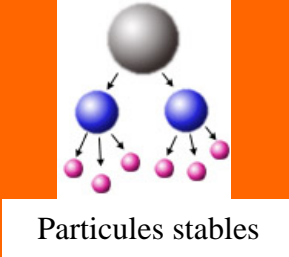
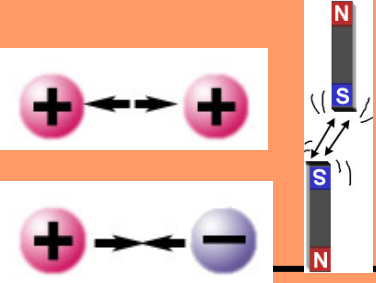

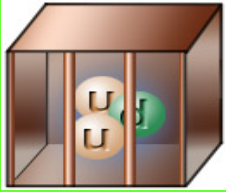
Le messenger de l'interaction est une particule.

Il y a **4 interactions** : elles se différencient par :

- type de messenger (c'est à dire de la particule)

- portée de l'interaction (qui dépend de la masse du messenger)*

* Plus le ballon est lourd, plus les joueurs doivent être proches

FORCE	Gravité	Faible	Electromagnétique	Forte
Portée par	Graviton (non observé)	$W^+W^-Z^0$	Photon (γ)	Gluons (g)
Agit sur	Toutes les particules	Quarks et leptons	Quarks et leptons chargés et W^+W^-	Quarks et gluons
Responsable de	Attraction des objets massifs 	Désintégrations des particules 	Attraction entre particules chargées 	Liasions nucléaires 
Agit à	Distance infinie	Courte distance Masses $W^+W^-Z^0$ 'très très' lourdes	Distance infinie Masse photon=0	Faible à grande distance Forte à courte distance 

Le Modèle Standard:

Les particules élémentaires+leurs interactions

Quarks	<i>u</i> up	<i>c</i> charm	<i>t</i> top
	<i>d</i> down	<i>s</i> strange	<i>b</i> bottom
Leptons	ν_e e- Neutrino	ν_μ μ - Neutrino	ν_τ τ - Neutrino
	<i>e</i> electron	μ muon	τ tau
I II III			
The Generations of Matter			

Charge élect.

+2/3

-1/3

0

-1

Int



électromagnétique γ

faible W^\pm, Z^0

forte gluons

Particules de matière

Particules d'interaction

théorie:

Mécanique quantique + relativité \rightarrow théorie quantique des champs

Le Modèle Standard codifie tout ce que l'on observe :
Matière, Interaction, Unification

Mais le Modèle Standard ne peut pas expliquer pourquoi
les particules ont une masse

On postule donc un nouveau mécanisme ...et
une nouvelle particule !



La particule de Higgs



Détermine les masses des particules de
matière et des particules d'interaction



THE NEW YORK TIMES

Wednesday, July 4, 2012 Last Update: 4:00 AM ET

POPULAR U.S. Edition

MEMBERSHIP: 4 WEEKS FOR 99

Search

OPINION » EDITORIAL
Too Quiet, A Health Care
 The Obama ca
 forcefully cou
 Republican m
 the reform law

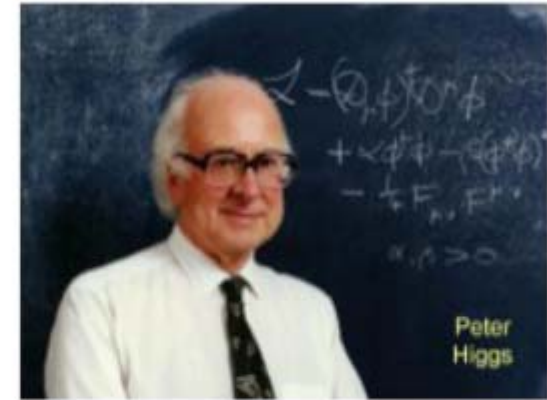
MARKETS »
 Britain | G



Robert Brout 1928-2011



François Englert 1932-

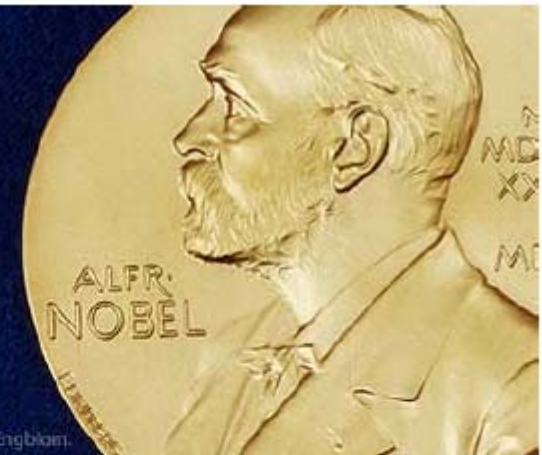


Peter Higgs 1929-

Également : G. S. Guralnik, C. R. Hagen, and T. W. B. Kibble,

2013 NOBEL PRIZE IN PHYSICS

François Englert
Peter W. Higgs



Champ de BEH

« pour la découverte théorique d'un mécanisme qui contribue à notre compréhension de l'origine de la masse des particules subatomiques, qui a récemment été confirmée par la découverte de la particule fondamentale prédite, par les expériences ATLAS et CMS au grand collisionneur de hadrons (LHC) du CERN »

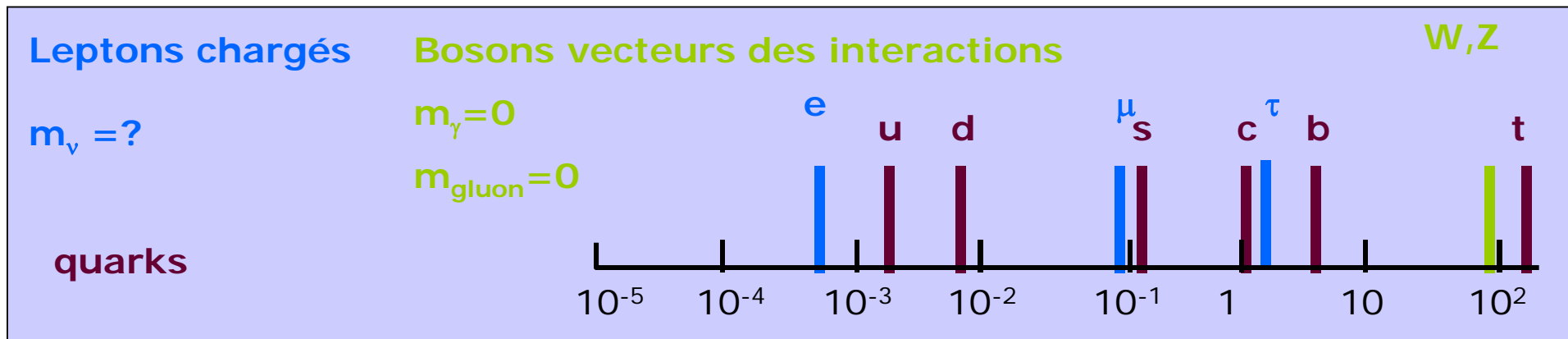
Est-on sur de l'avoir découvert ?

- Certitude au sens physique, non mathématique!
- On évalue : « la probabilité pour voir ce que l'on voit si il n'y avait que du bruit de fond » (en combinant toutes les informations dont on dispose, et en tenant compte de toutes les incertitudes)
- Si cette probabilité est meilleure que 5 écarts standards, on peut, « légitimement » parler de découverte .
- 5 écarts standards :
 - probabilité $\sim 3 \cdot 10^{-7}$, une chance sur 3 millions,
 - ou bien \sim la probabilité de tirer les quatre as d'un jeu de 52 cartes, dans l'ordre



Quelques grandes questions 1/4 ...

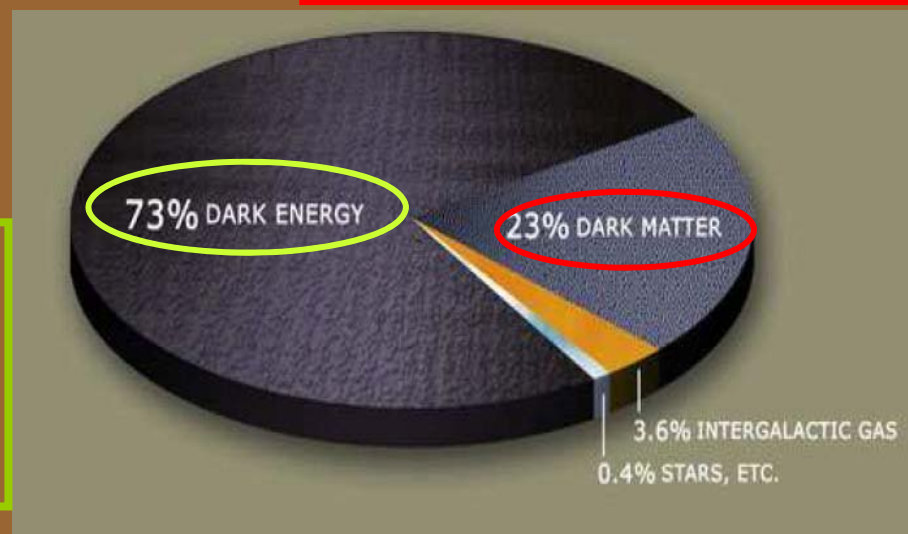
Pourquoi les constituants de la matière ainsi que les particules qui véhiculent les interactions ont-elles des masses si disparates ?



Composition de notre univers ?

L'expansion de l'univers est plus rapide qu'attendu (Big Bang + relativité générale) \Rightarrow quelque chose d'autre doit entrer en jeu : "énergie noire"

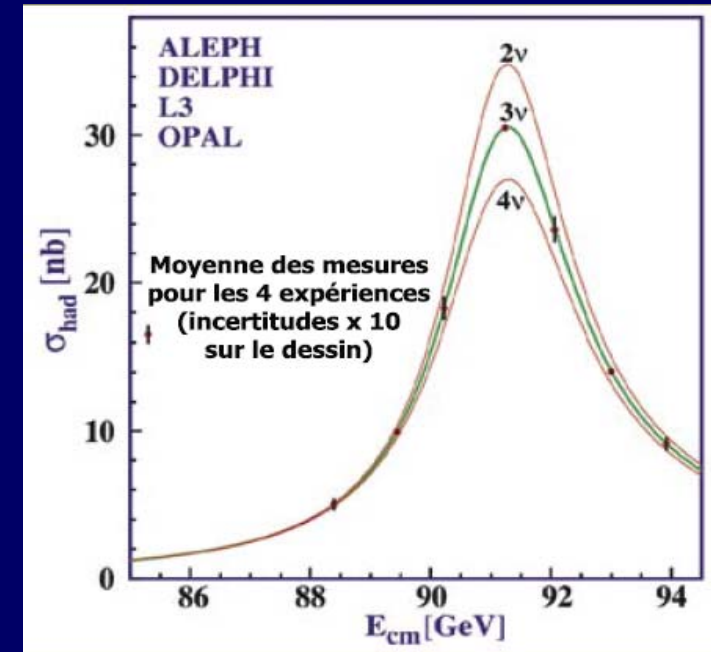
Matière autre que celle du Modèle Standard



Quelques grandes questions 2/4 ...

Pourquoi trois familles ?

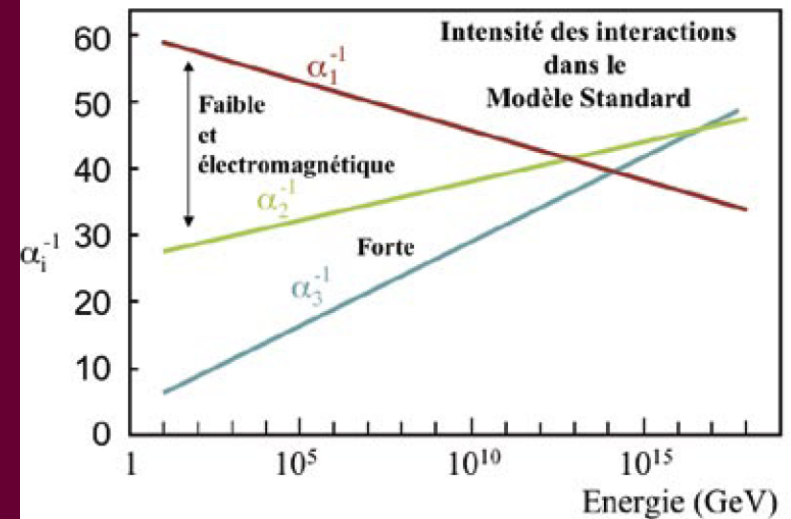
A présent on n'a observé que trois familles...



Pourquoi quatre interactions ?

Unification ?

(cf Maxwell pour l'électricité et le magnétisme)



Quelques grandes questions 3/4 ...

Juste

matière

antimatière

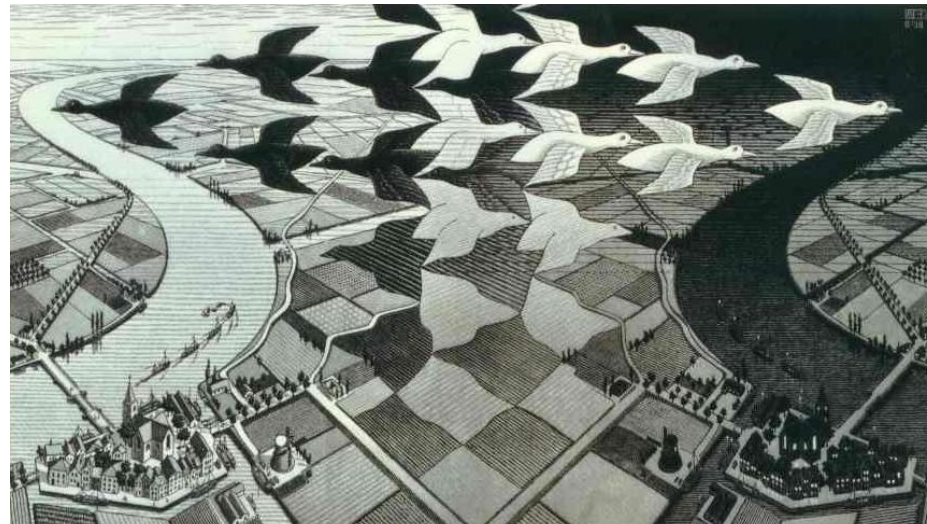
Univers actuel :

matière

~~antimatière~~

Univers actuel : le fruit d'un petit déséquilibre qui a mené à une très légère surabondance de matière

Quelle est la source du déséquilibre entre matière et anti-matière ?



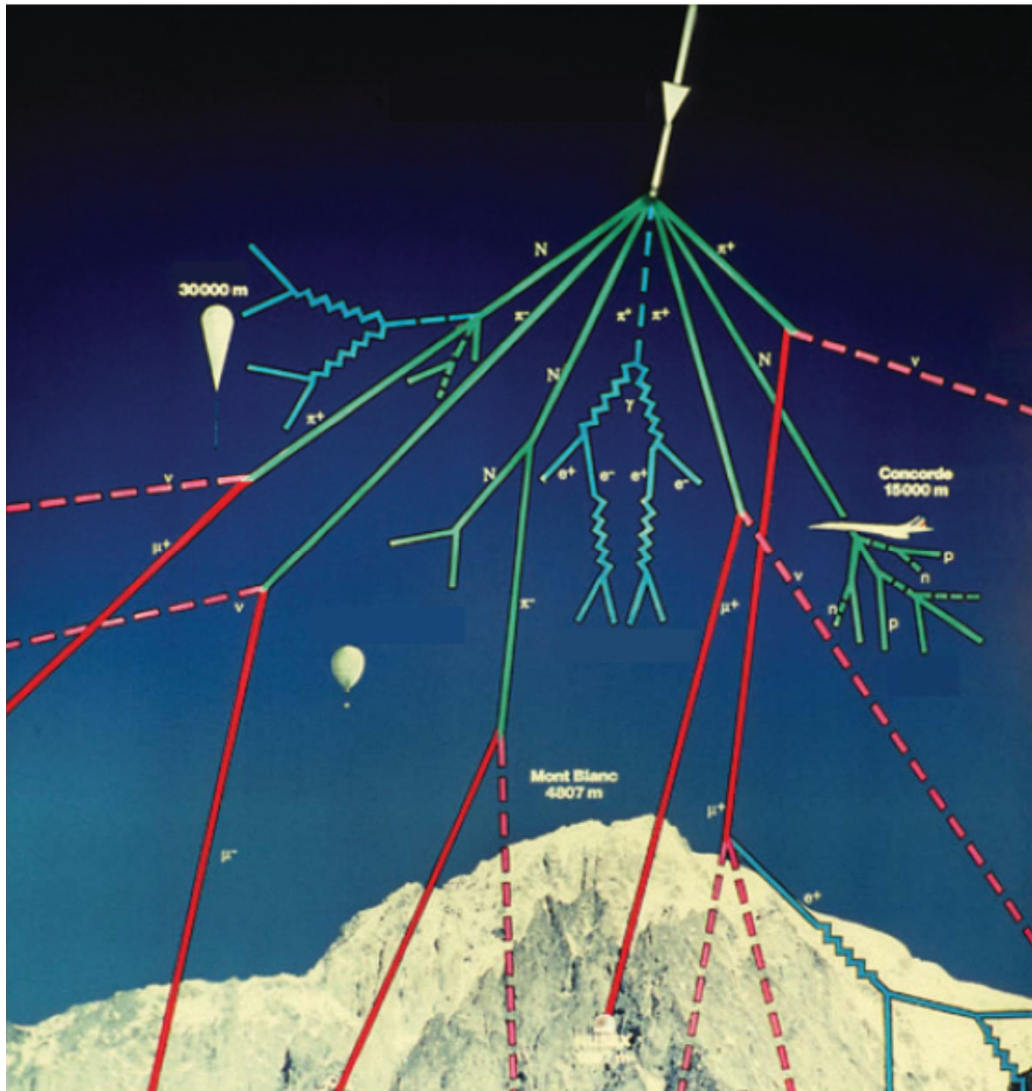
Quelques grandes questions 4/4 ...

Compréhension de l'interaction forte :

- Confinement des quarks ?
 - cf cours Alex
- Comment les quarks s'hadronisent ?

**Comment 'voit-on'
et/ou
comment produit-on
toutes ces
particules élémentaires ?**

Dans la nature : les rayons cosmiques



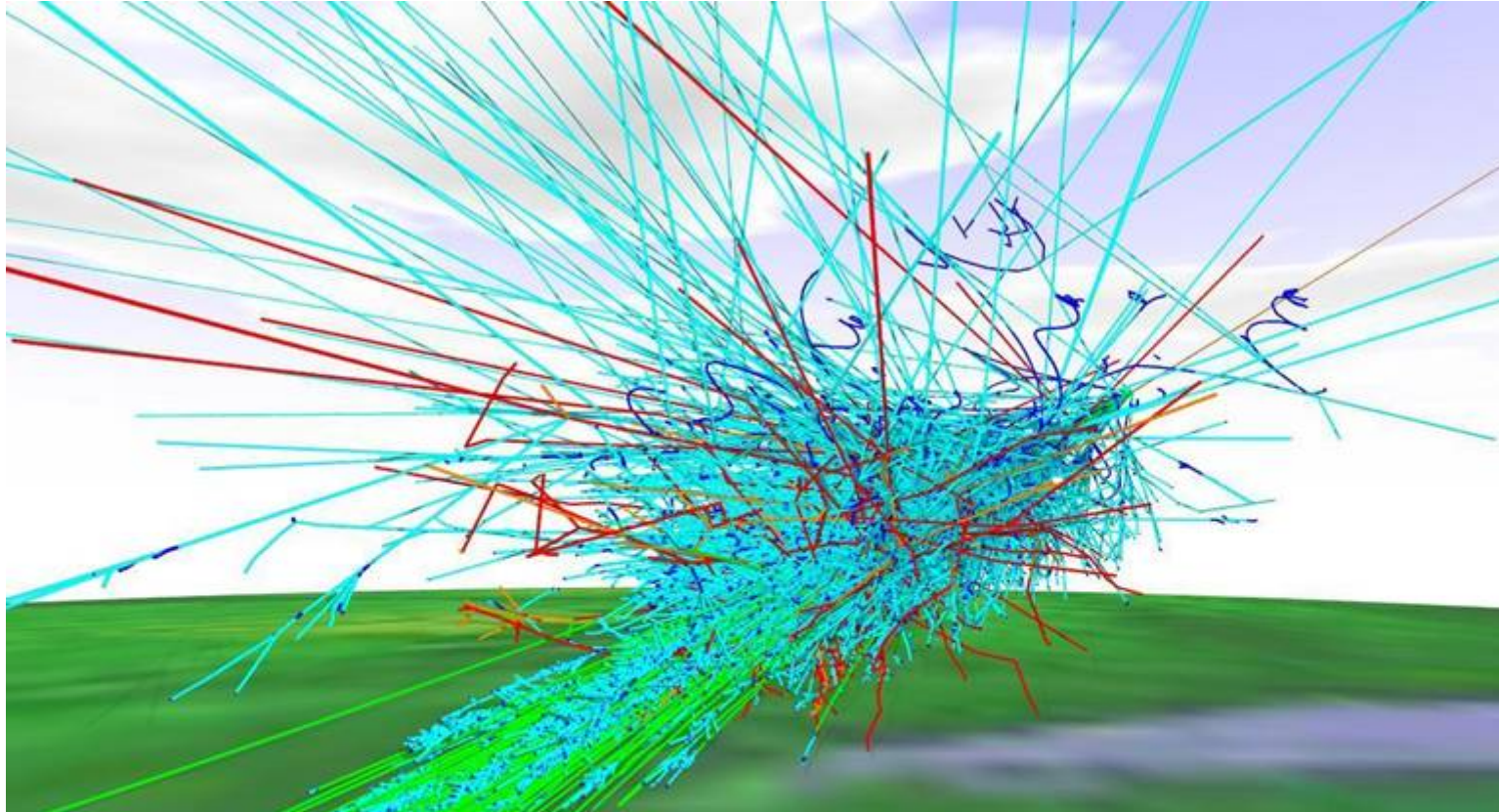
- 1912 : V.F Hess mesure la radioactivité en altitude et démontre l'existence des rayons cosmiques

- Jusqu'après la seconde guerre mondiale, les rayons cosmiques vont être analysés (ex. Chambres à brouillard du pic du midi)

- De nombreuses particules tels le muon, pion,kaon, vont être découvertes**

- Aujourd'hui on les étudie à nouveau (ex. AUGER) pour étudier des particules d'énergies ultra hautes**

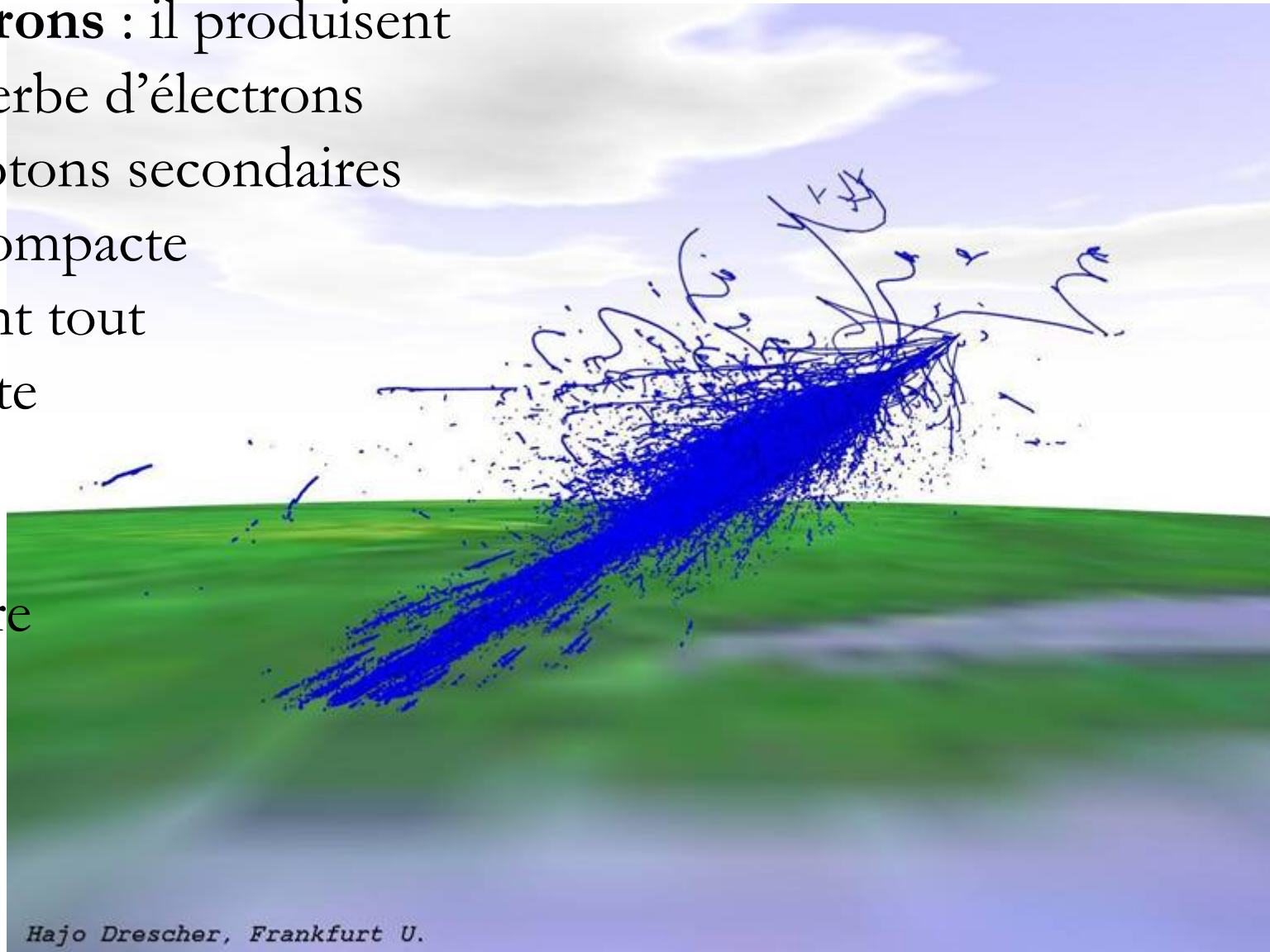
Ex : simulation d'un rayon cosmique de très haute énergie



**Des noyaux de hautes
énergies produisent des
de particules
gerbes secondaires ...**

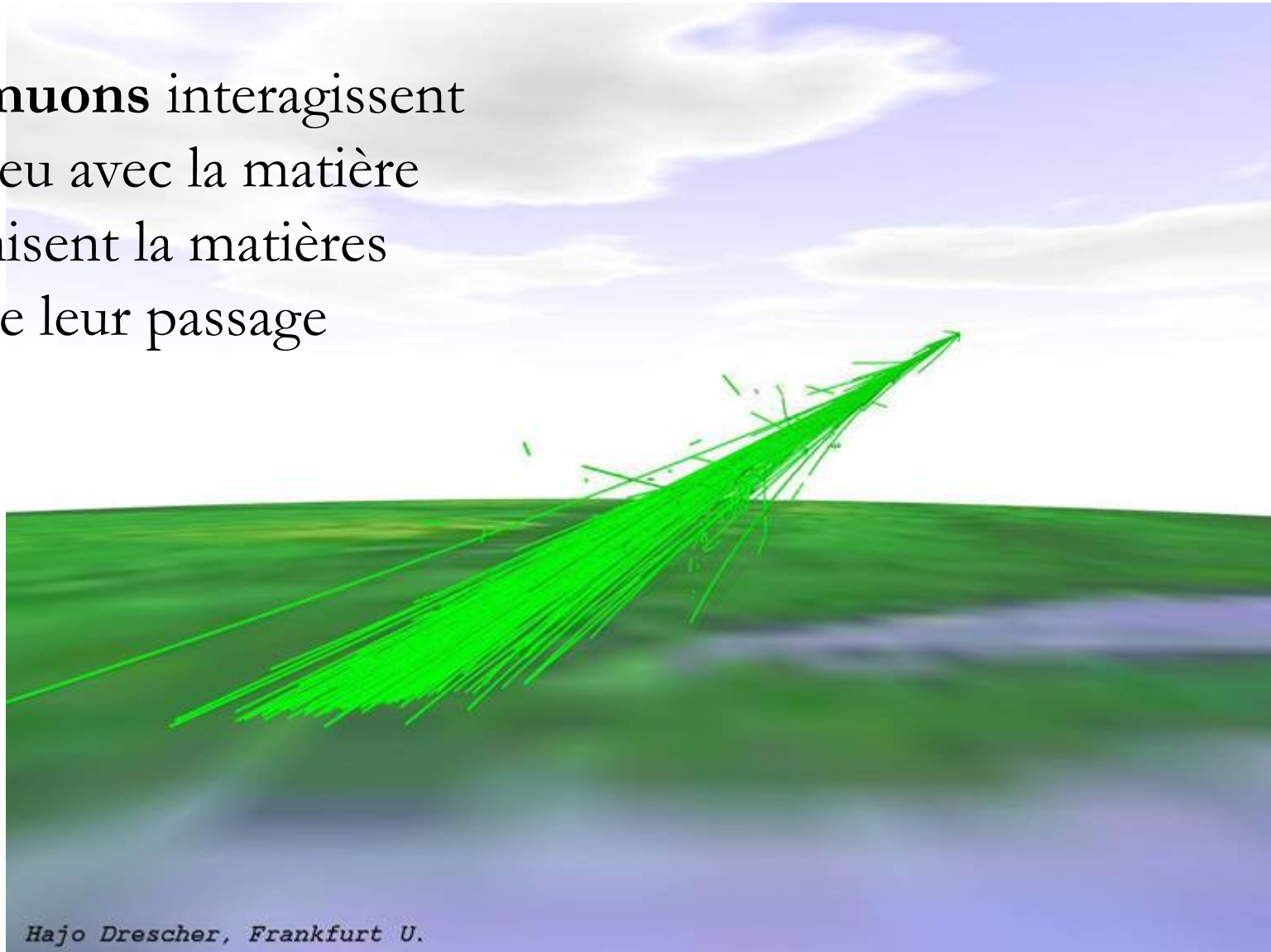
Simulation d'un électron

Electrons : il produisent
une gerbe d'électrons
et photons secondaires
très compacte
Ils sont tout
de suite
arrêté
par la
matière



Simulation d'un muon

Les muons interagissent
très peu avec la matière
ils ionisent la matière
lors de leur passage

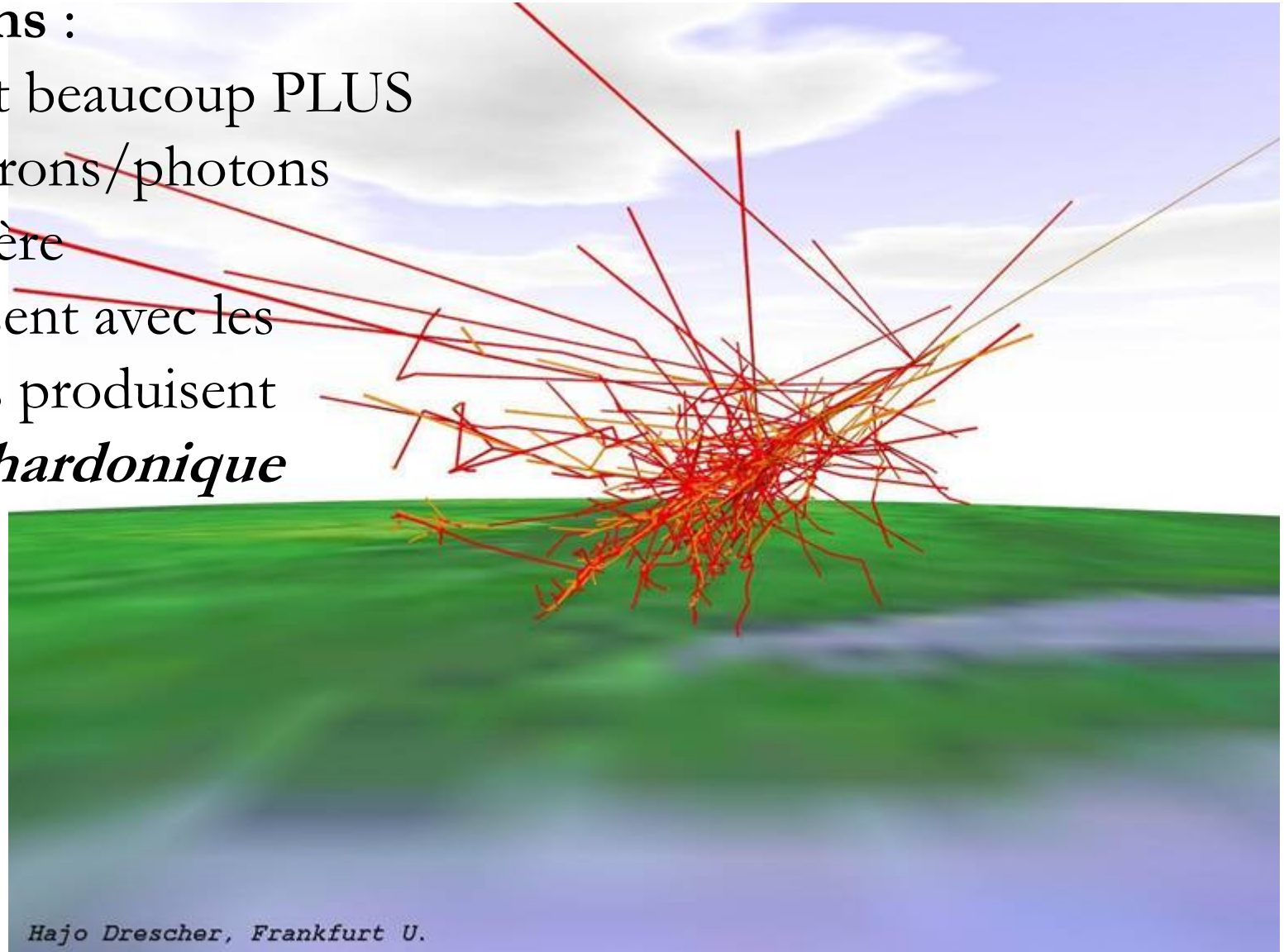


Simulation d'un hadron

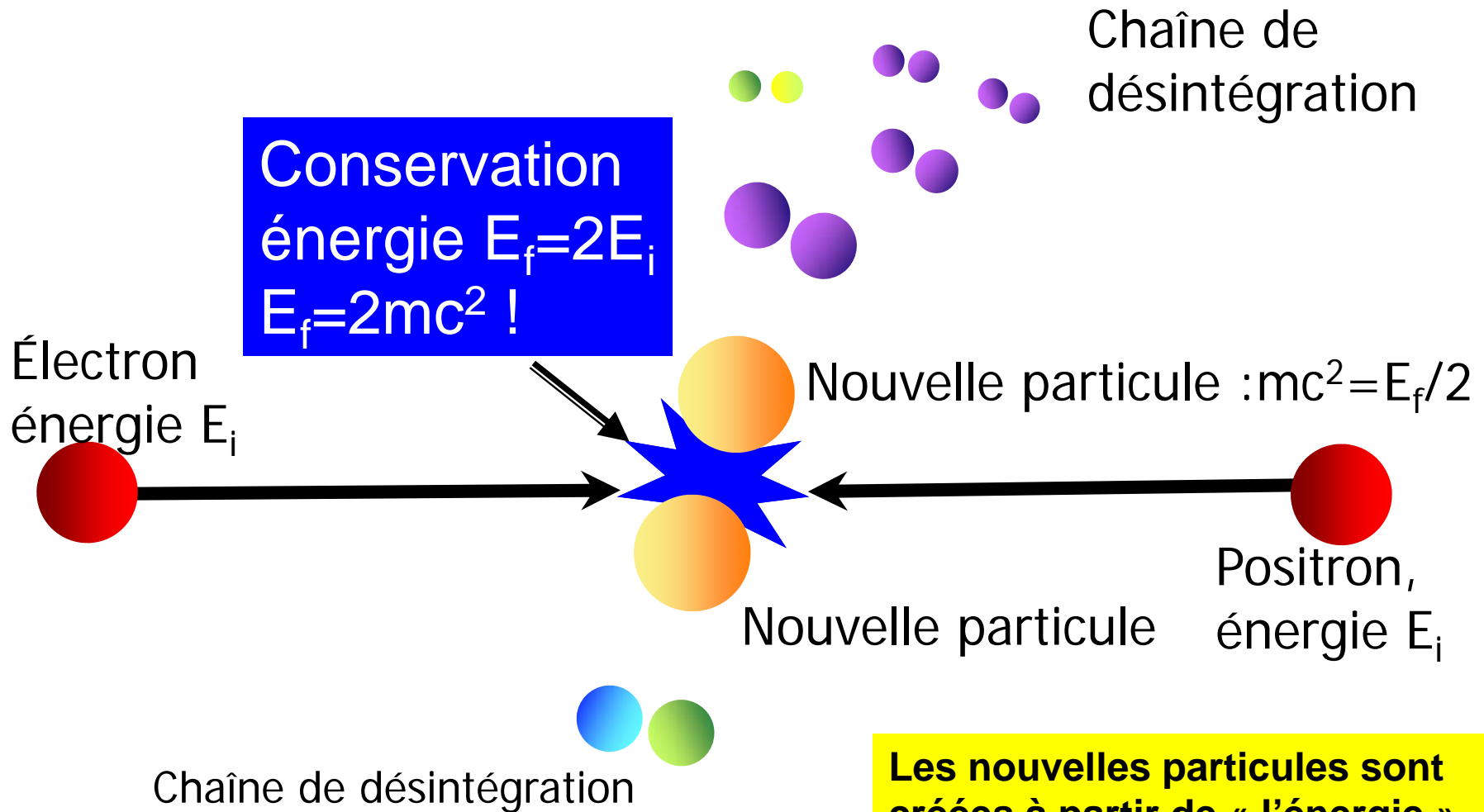
Les Hadrons :

Ils pénètrent beaucoup PLUS
que les électrons/photons
dans la matière

Ils interagissent avec les
noyaux et ils produisent
une gerbe hadronique



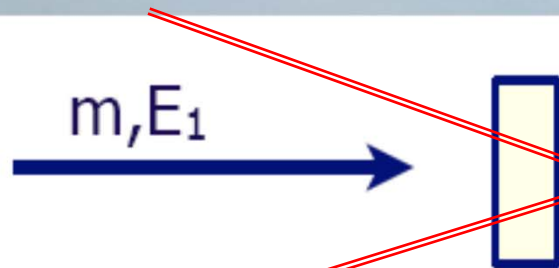
Au lieu d'attendre qu'elles 'pleuvent' du ciel : Production de particules avec les accélérateurs



**On ne peut calculer que la probabilité de créer telle ou telle particule !
(théorie quantique = indéterministe mais probabilités déterminées !)**

**Les nouvelles particules sont créées à partir de « l'énergie »
Elles n'étaient pas « dans » les particules incidentes**

Faisceaux linéaires, circulaires, collisions, cibles fixes



Cible fixe

$$\sqrt{s} = \sqrt{2mc^2(E_1 + mc^2)}$$

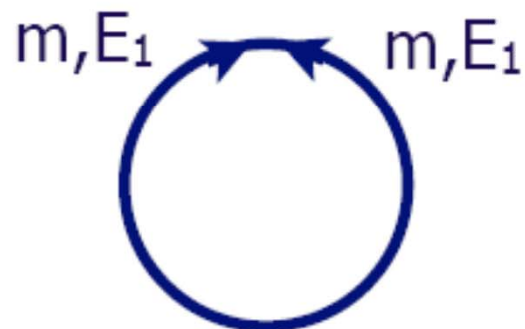
p de 1 TeV $\sqrt{s} = 43.3$ GeV



Collisionneurs linéaires

$$\sqrt{s} = E_1 + E_2 \quad (p \text{ de } 1 \text{ TeV } \sqrt{s} = 2 \text{ TeV})$$

Un seul croisement



Collisionneurs circulaires

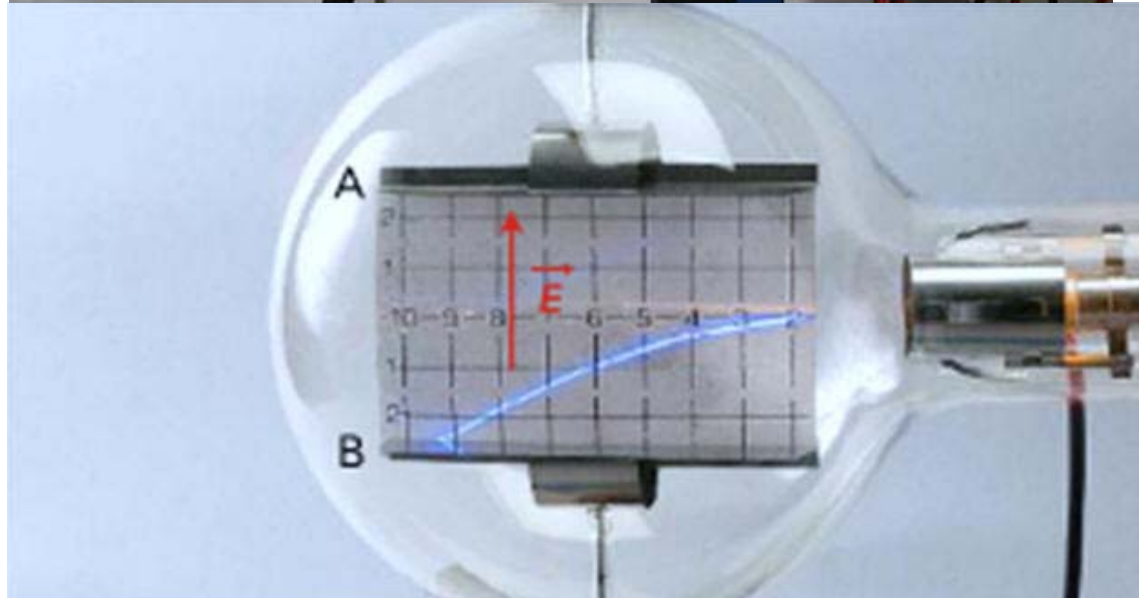
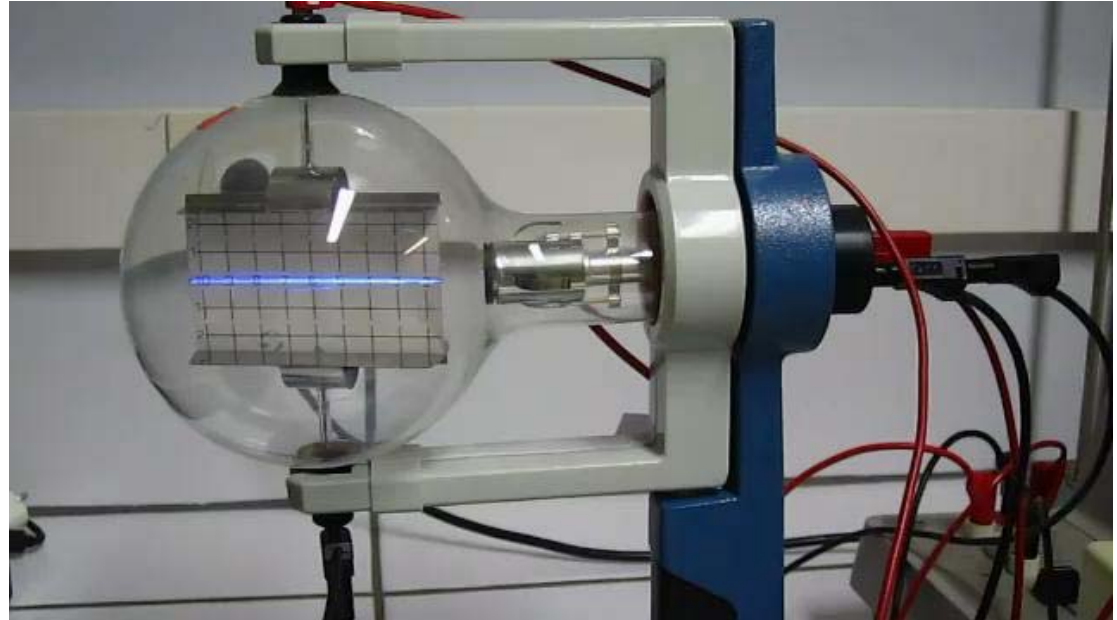
$$\sqrt{s} = E_1 + E_2 \quad (p \text{ de } 1 \text{ TeV } \sqrt{s} = 2 \text{ TeV})$$

croisements répétitifs

Rayonnement synchrotron

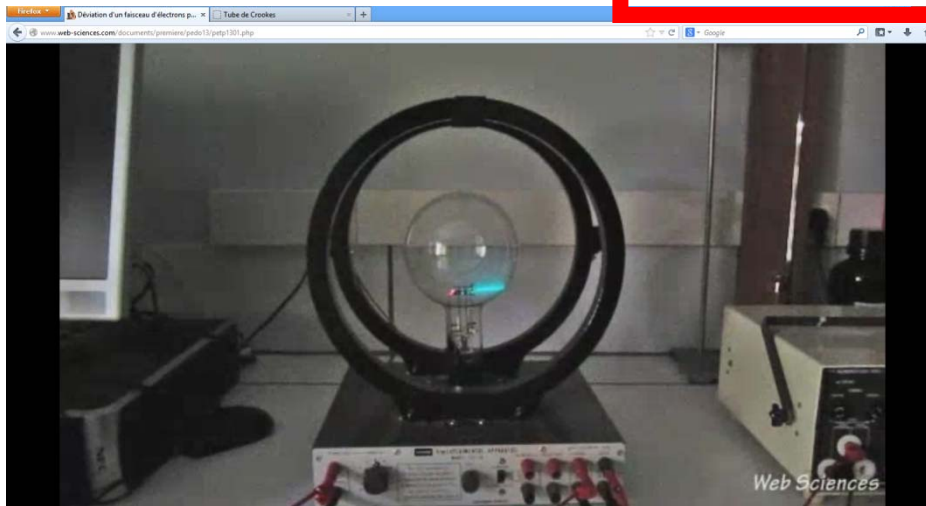
Comment 'manipule' t-on les particules chargées
(cf. cours Alex. Muller)

$$\vec{F} = q\vec{E}$$



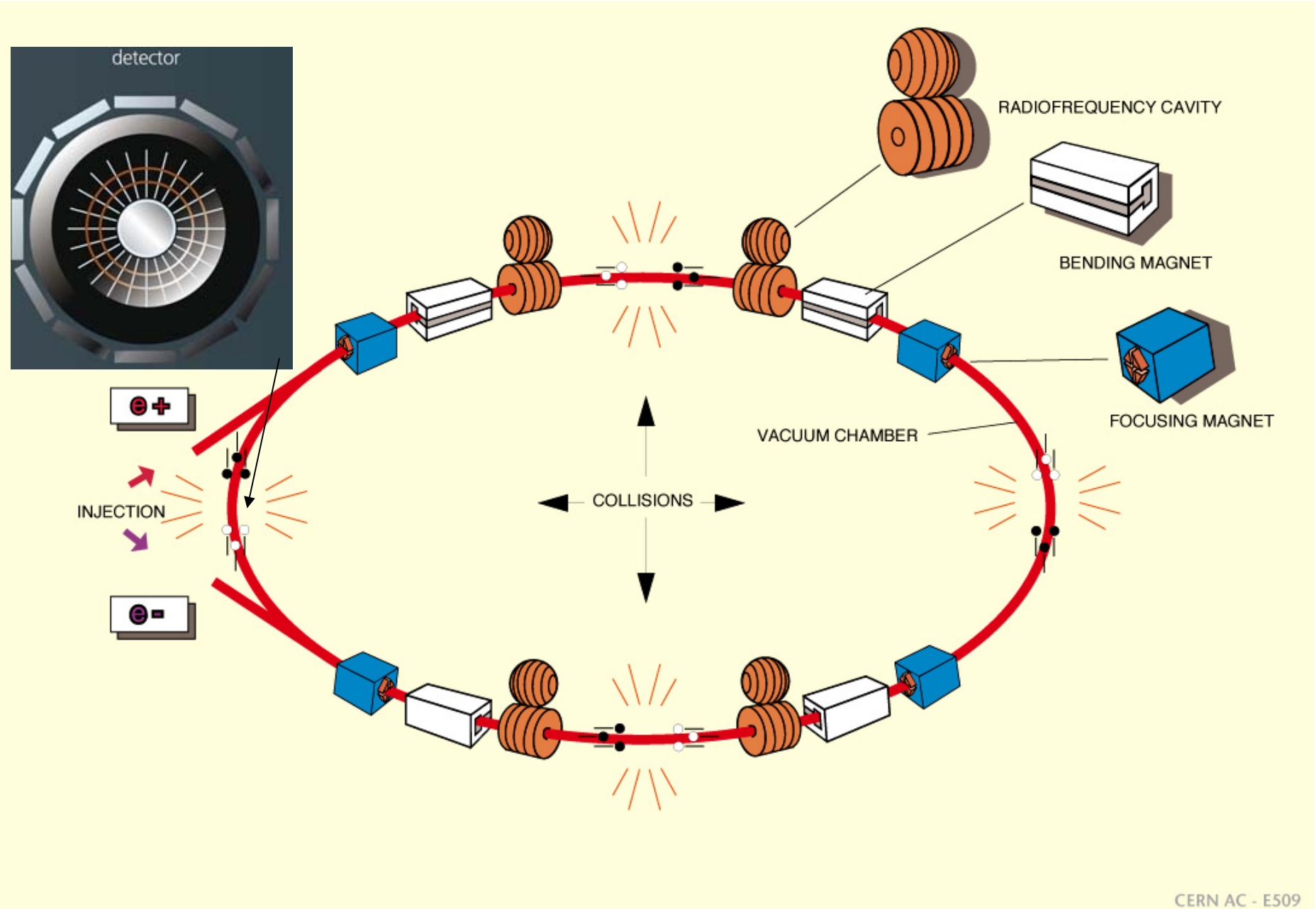
Comment 'manipule' t-on les particules chargées (cf. cours Alex. Muller)

$$\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

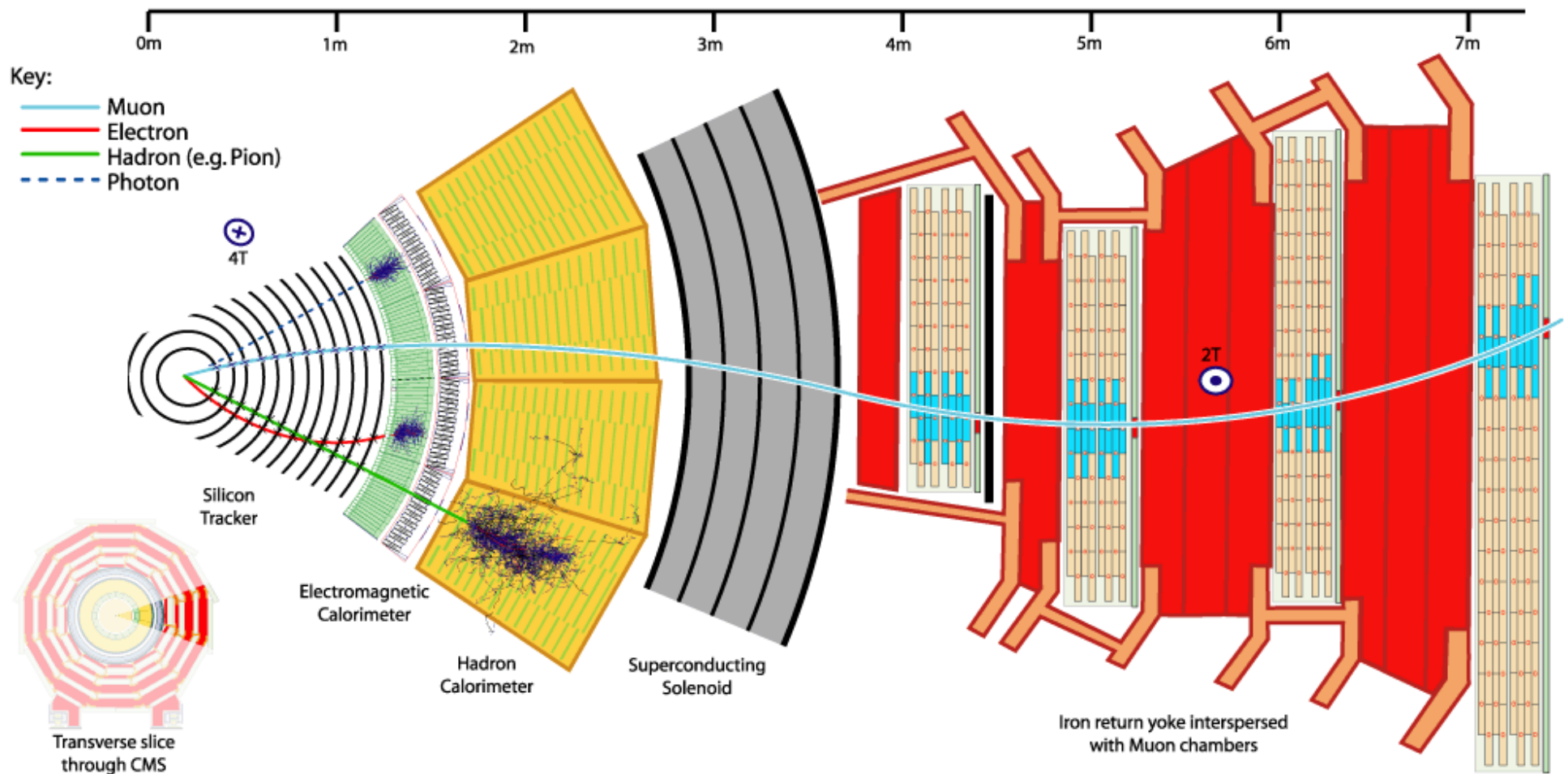


Les détecteurs en physique des particules

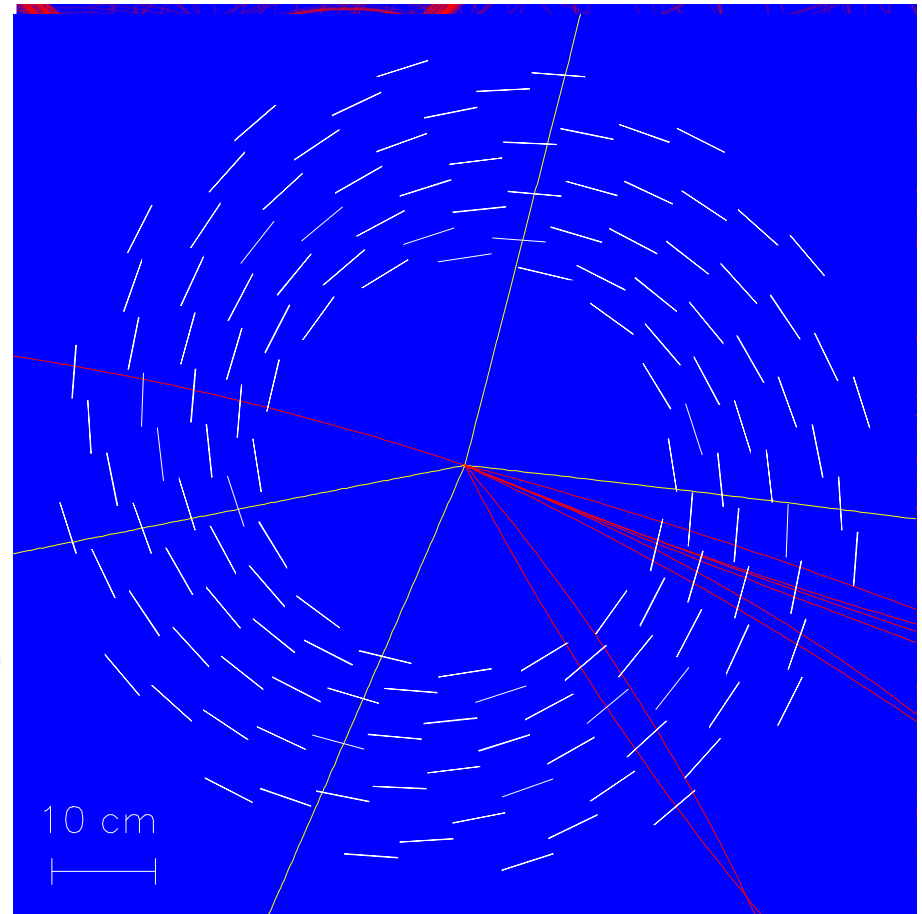
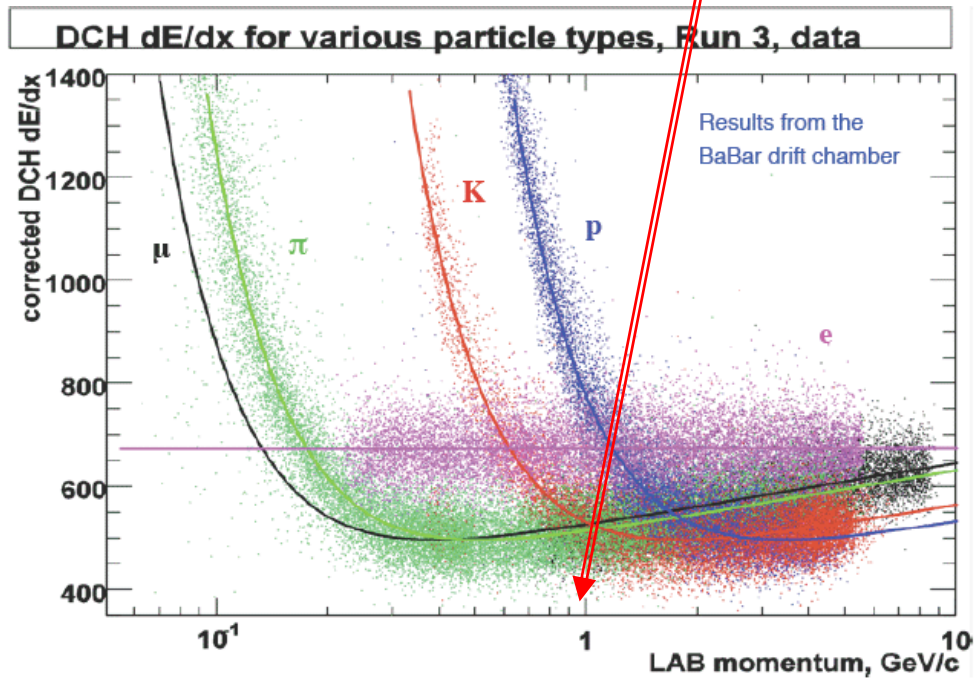
Accélérateur circulaire / synchrotron



On 'voit' les particules dans de gigantesques détecteurs ('voir' = reconstruction à partir de signaux électroniques)



Dans les détecteurs de traces on mesure l'ionisation
identifications des particules à '**BASSE ENERGIE**' (CF. cours Alex)

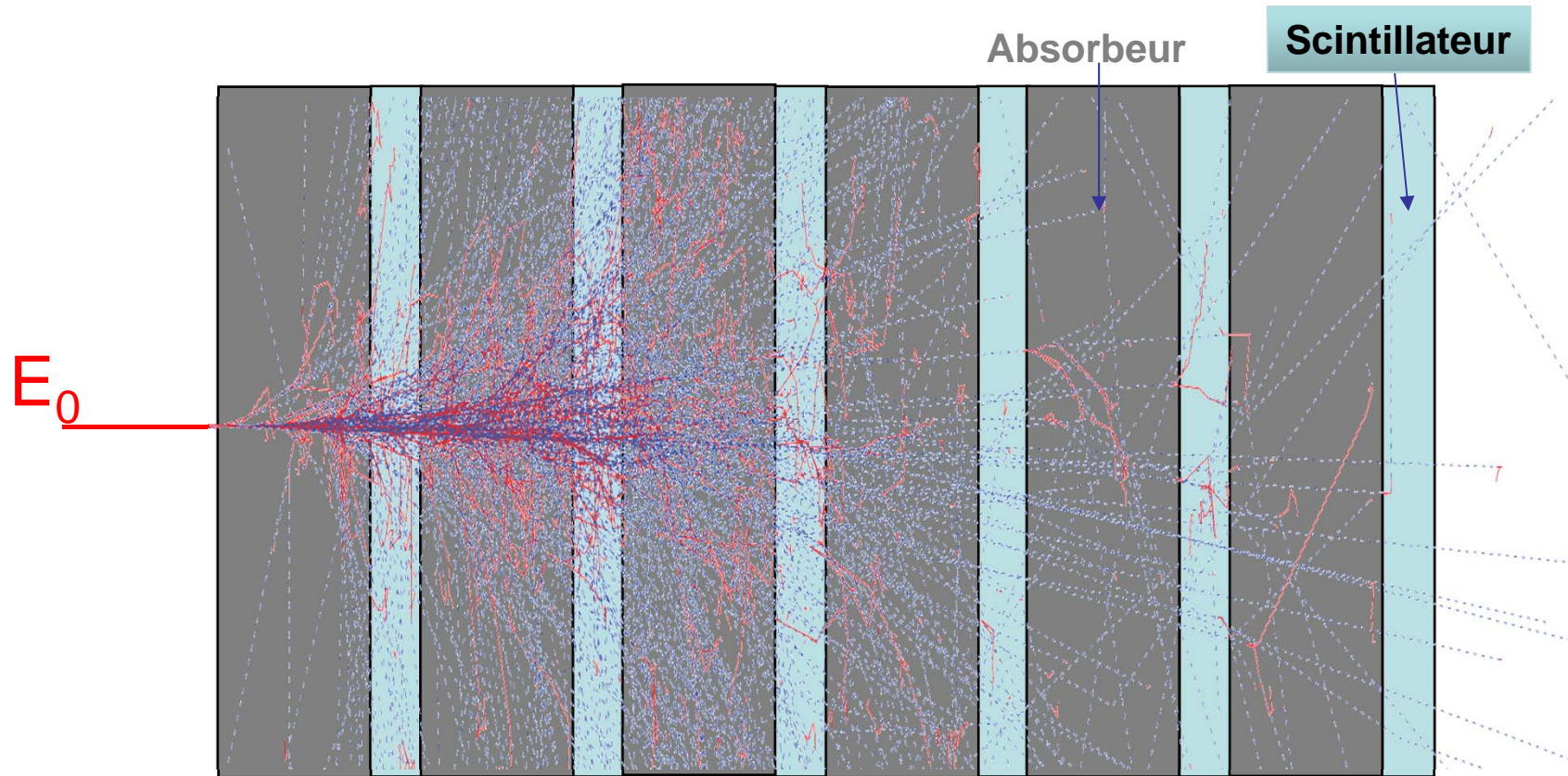


Grâce au champ magnétique on mesure
les impulsions des traces chargées

Ex : événement simulation
Higgs \rightarrow ZZ \rightarrow 4 muons

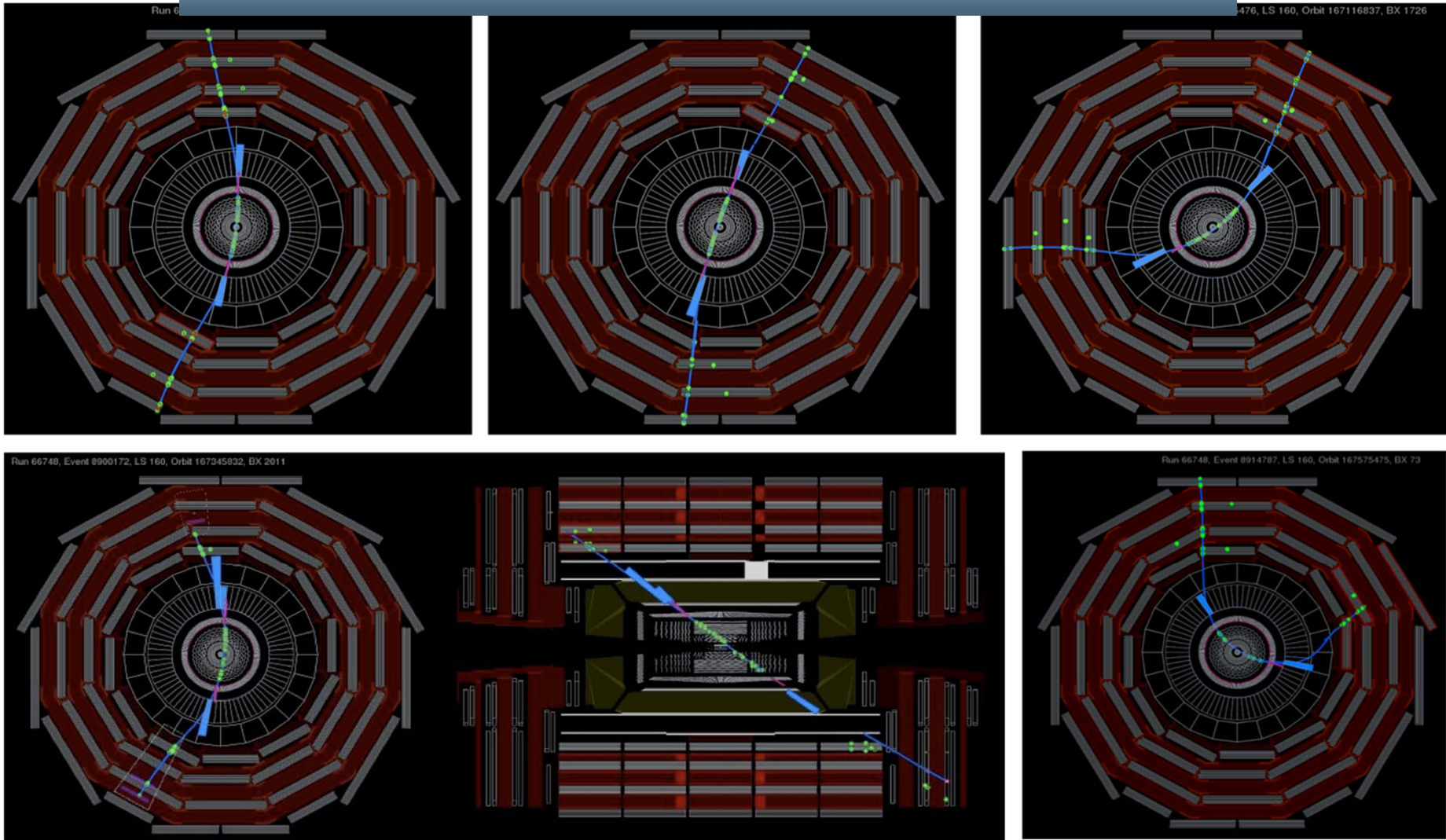
Find 4 straight tracks.

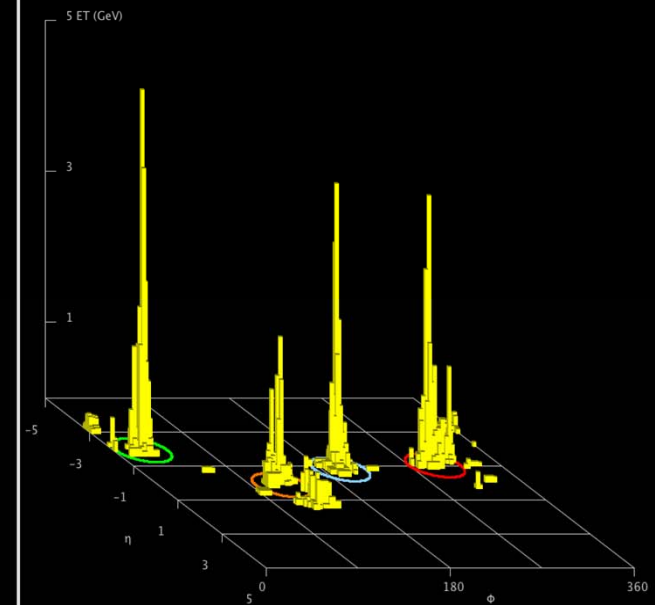
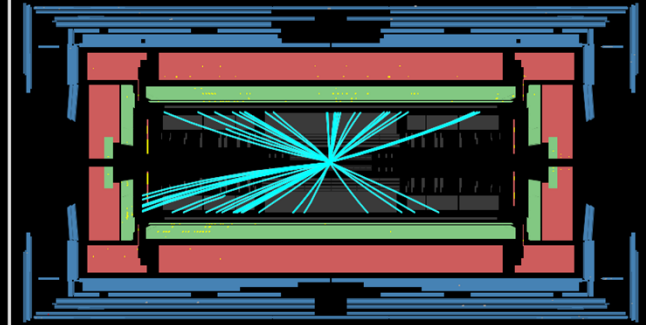
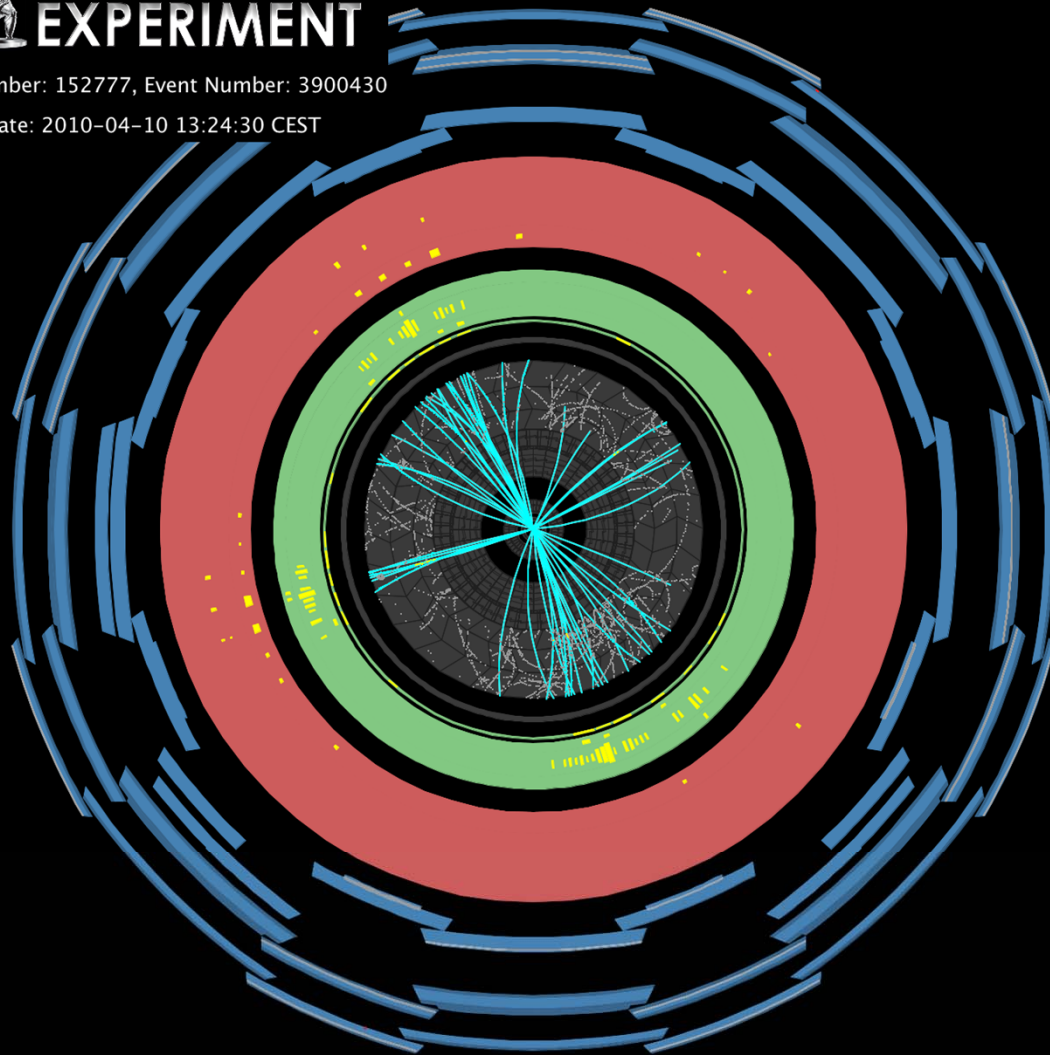
Calorimetre pour la mesure de l'énergie et l'identification des particules à haute énergie



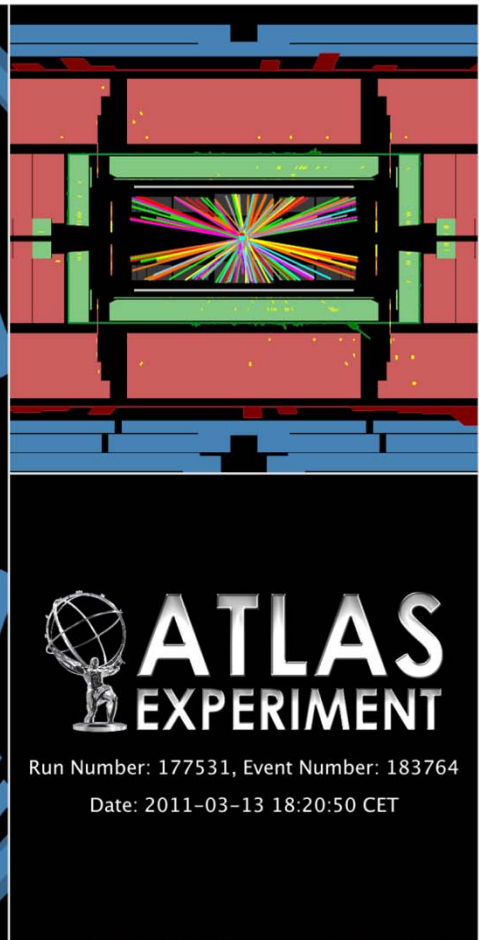
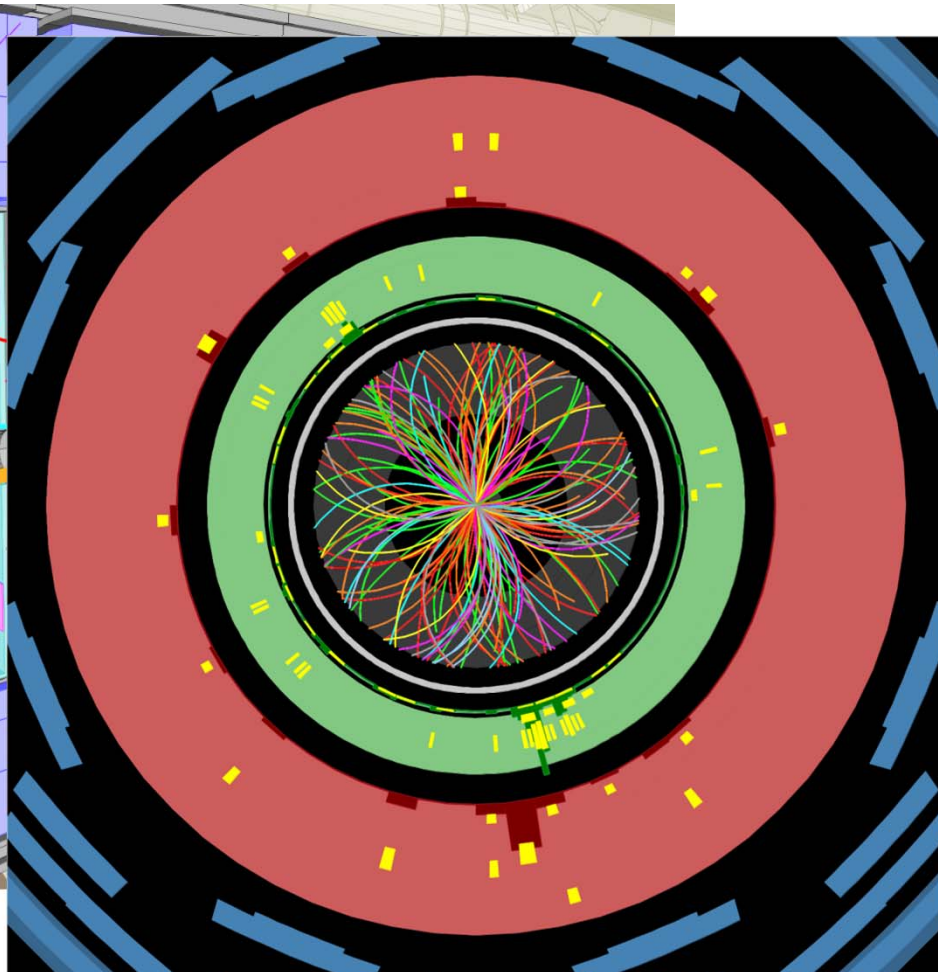
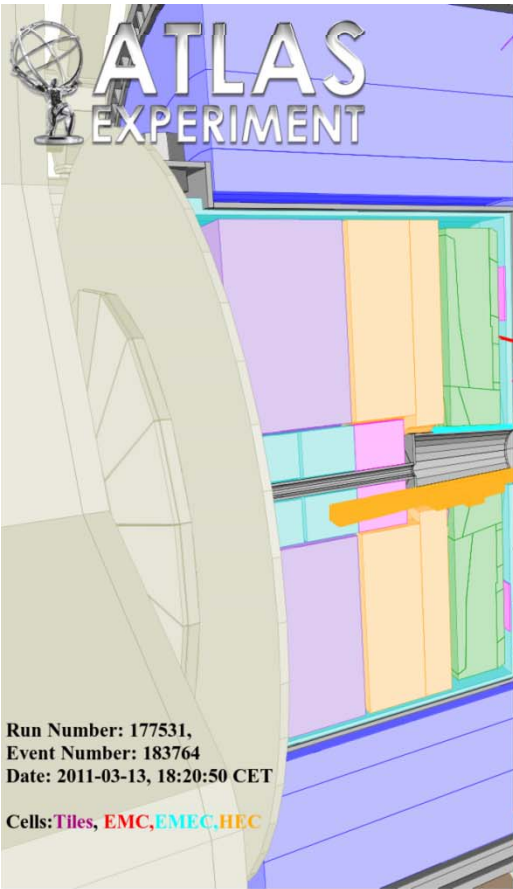
Les électrons et photons sont arrêtés 'tout de suite'
Les hadrons peuvent pénétrer beaucoup plus loin avant d'interagir

exemple : μ cosmiques dans CMS

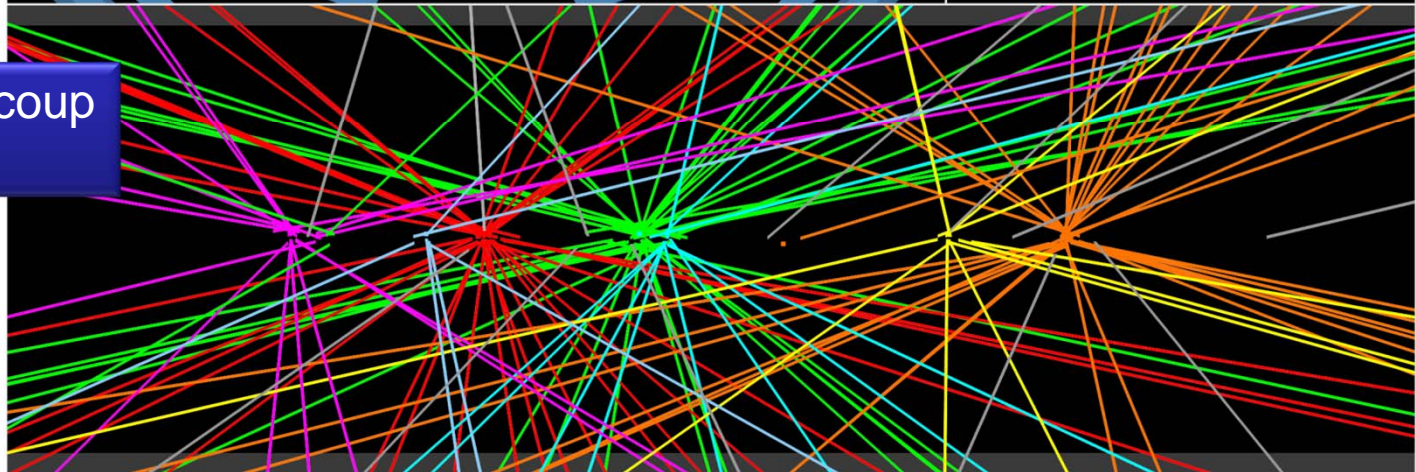




Événement avec 4 jets

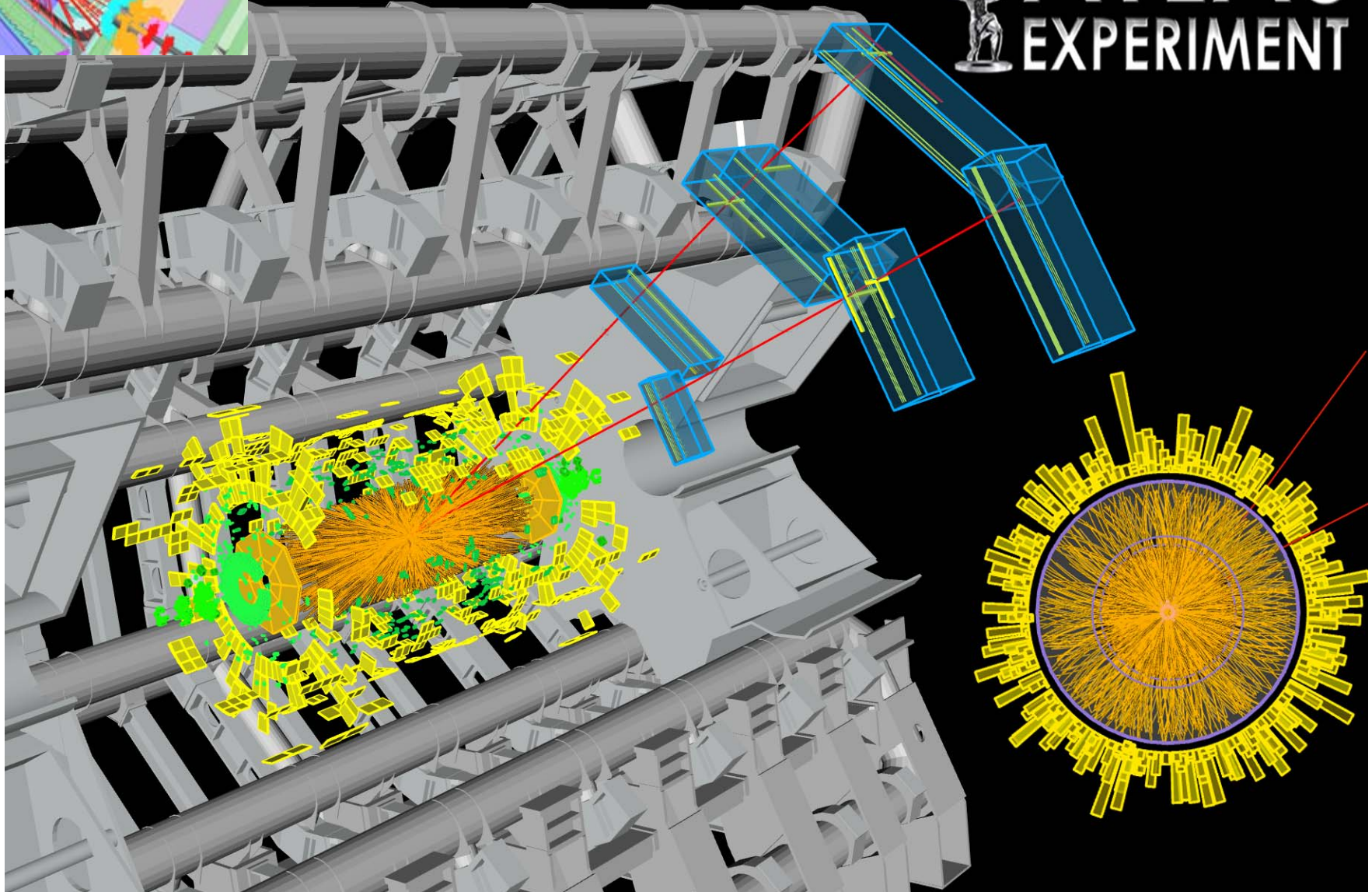
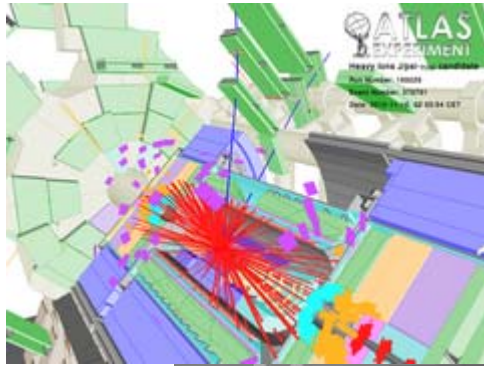


Événement avec beaucoup
de traces chargées



Collisions plomb-plomb dans ATLAS $J/\Psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$

Run 169226, Event 379791
Time 2010-11-16 02:53:54 CET



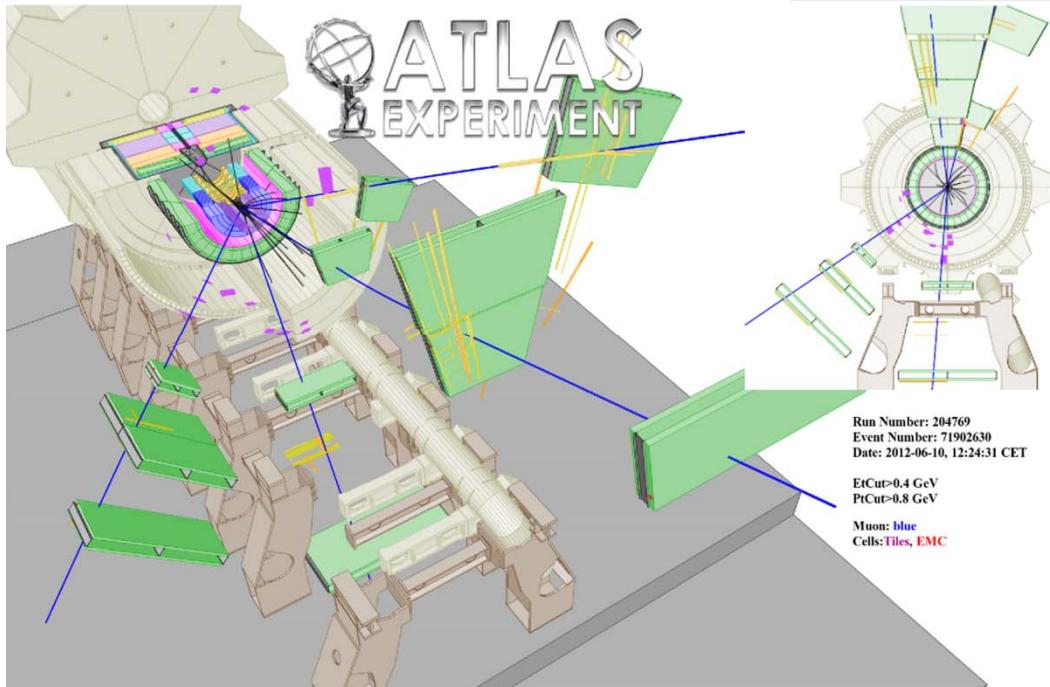
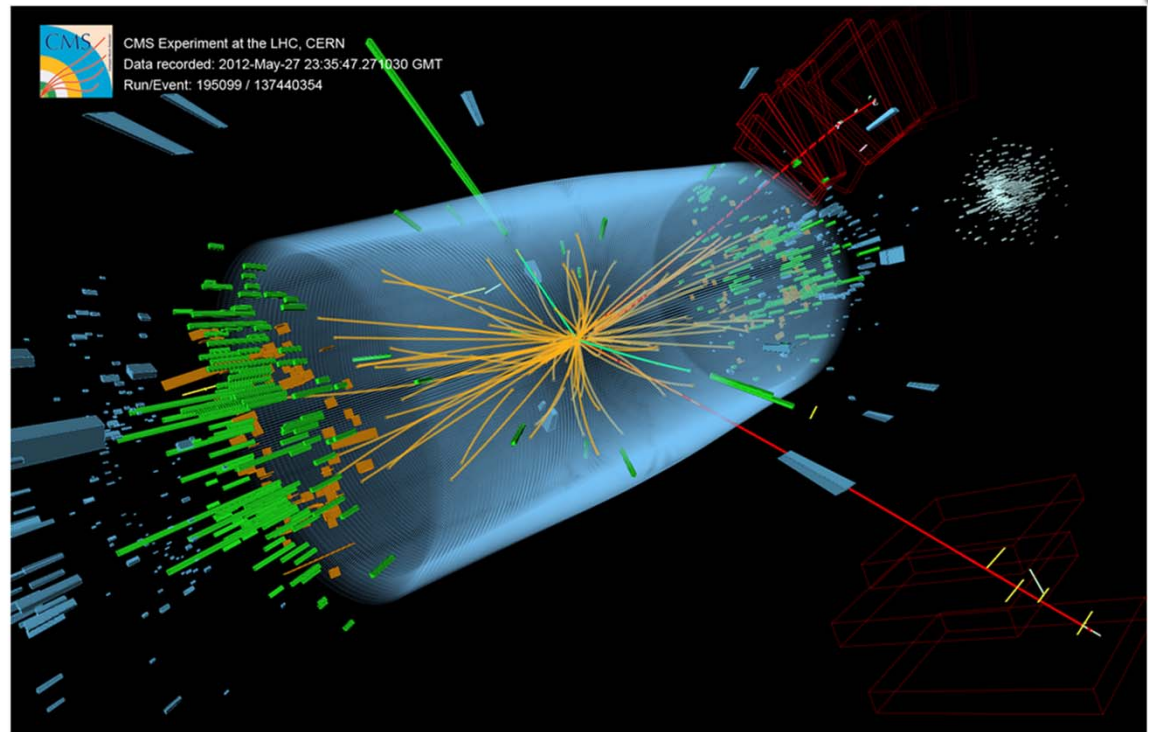
Comment analyse t'on les données des détecteurs

- On cherche des topologie d'évènements caractéristiques des signaux attendus
 - Simulation de la nouvelle physique Et du détecteur
 - Recherche de critère discriminant la physique connue de la nouvelle physique attendue
- On mesure très précisément les paramètres du modèle standard
 - On compare au calcul théorique incluant ou non de la nouvelle physique

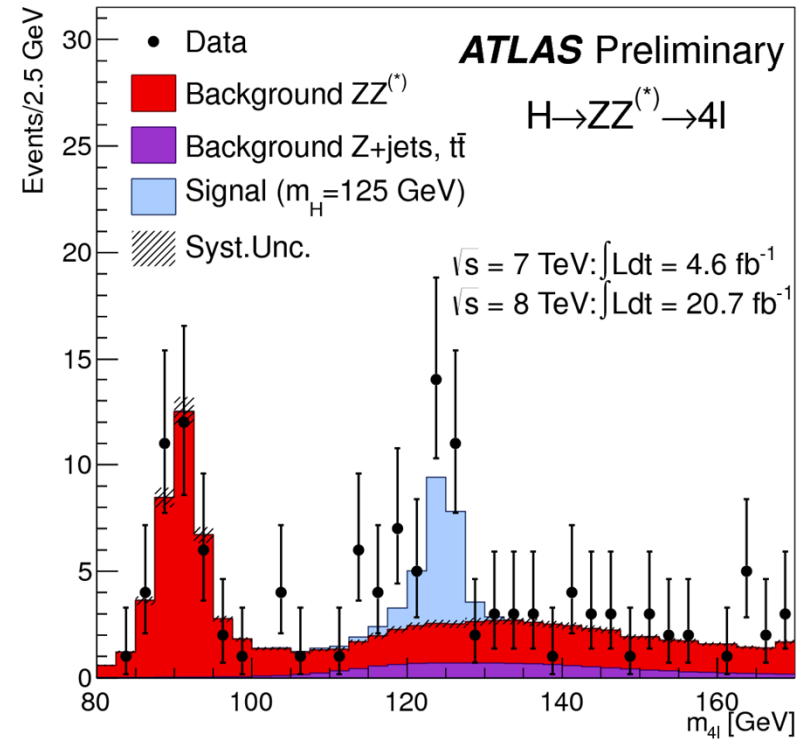
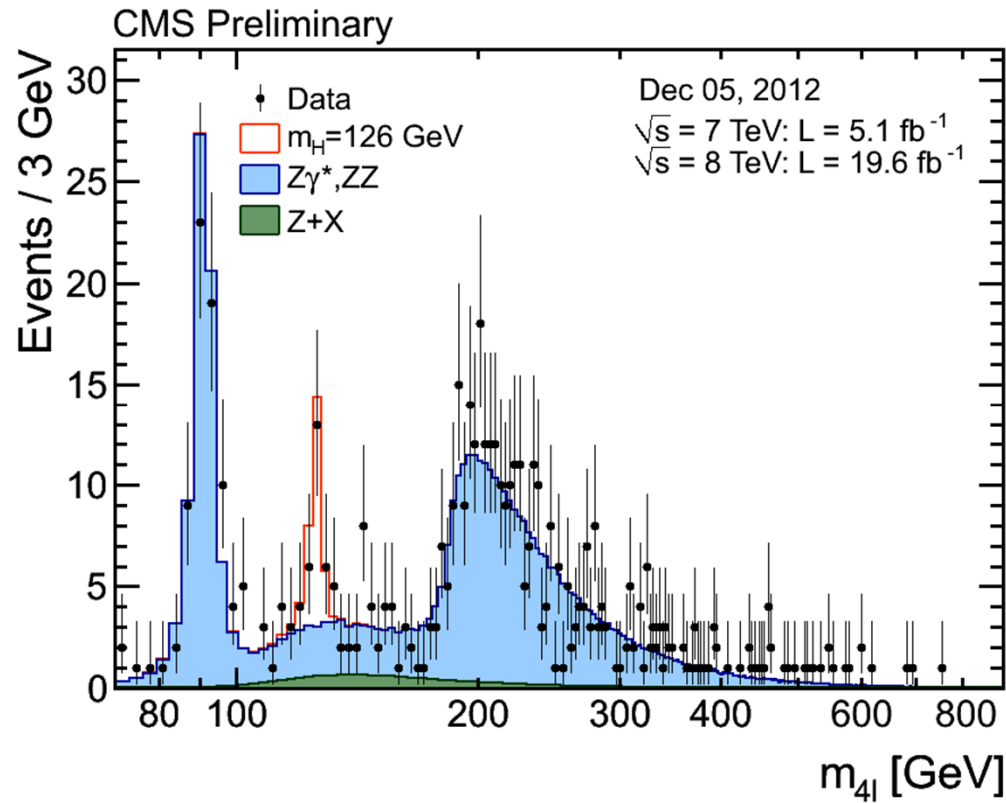
2 électrons
2 muons

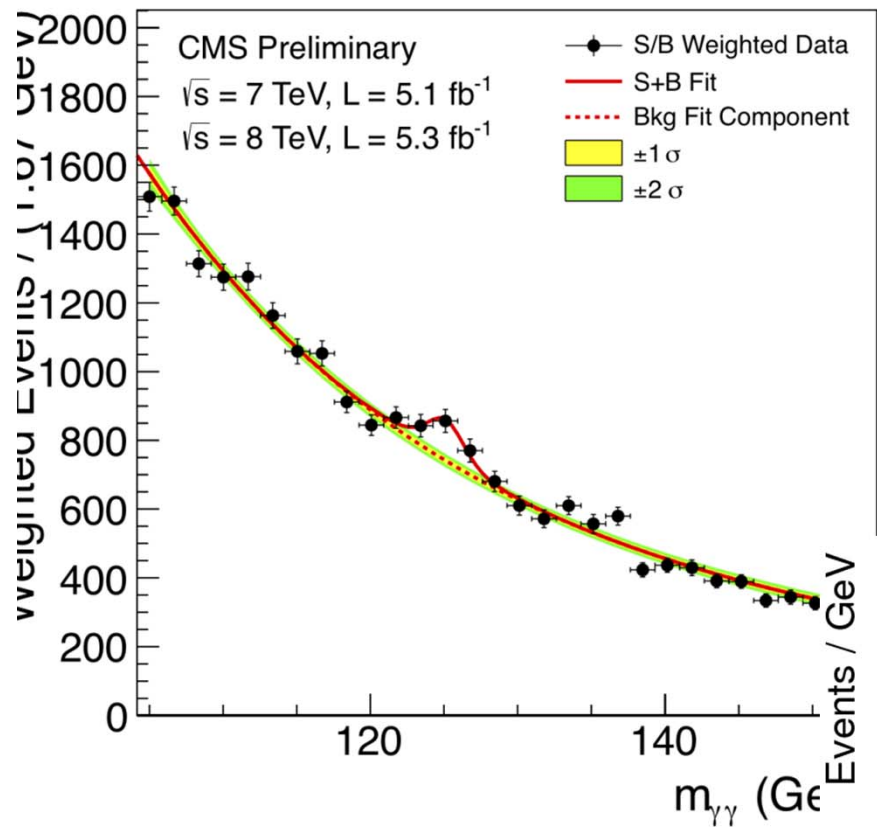
**Exemple
Higgs qui donne 4 leptons**

4 muons

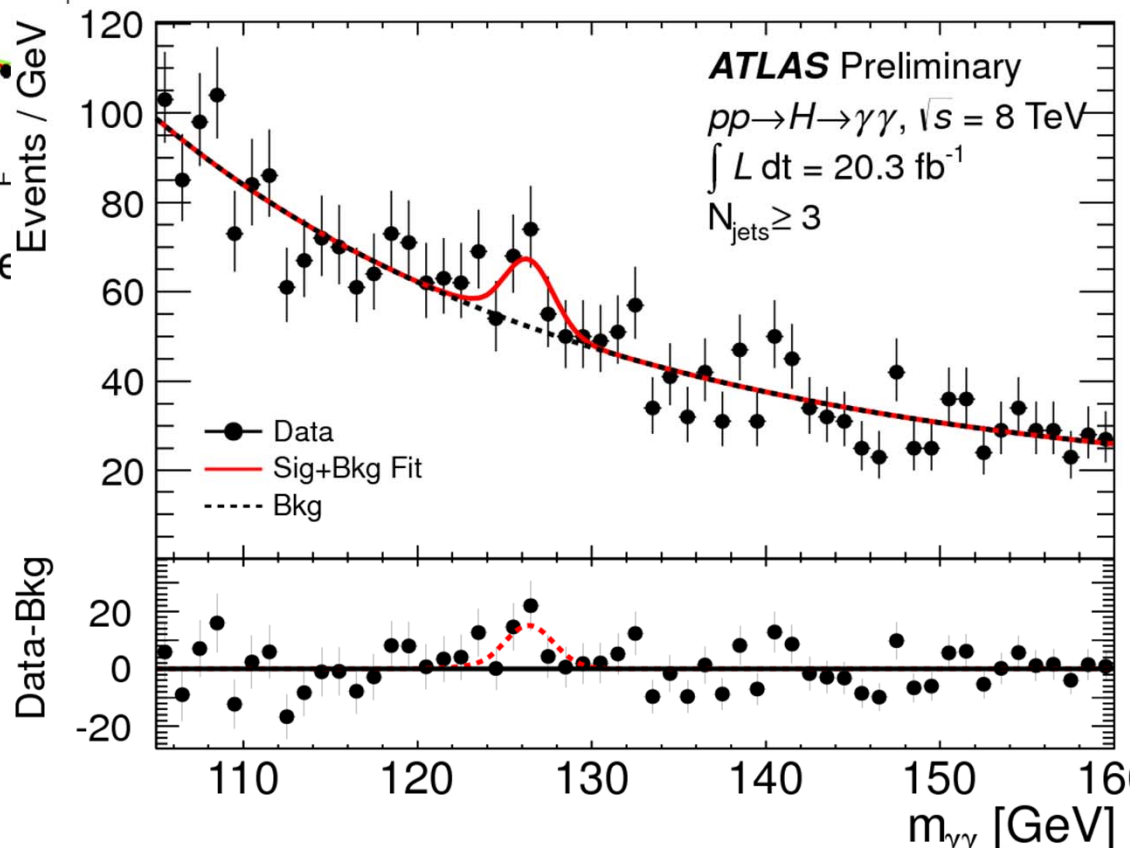


Exemple : la découverte du boson de Higgs





MESURE
Higgs \rightarrow photon+photon



Les accélérateurs à hautes énergies

Deux types de collisionneurs :

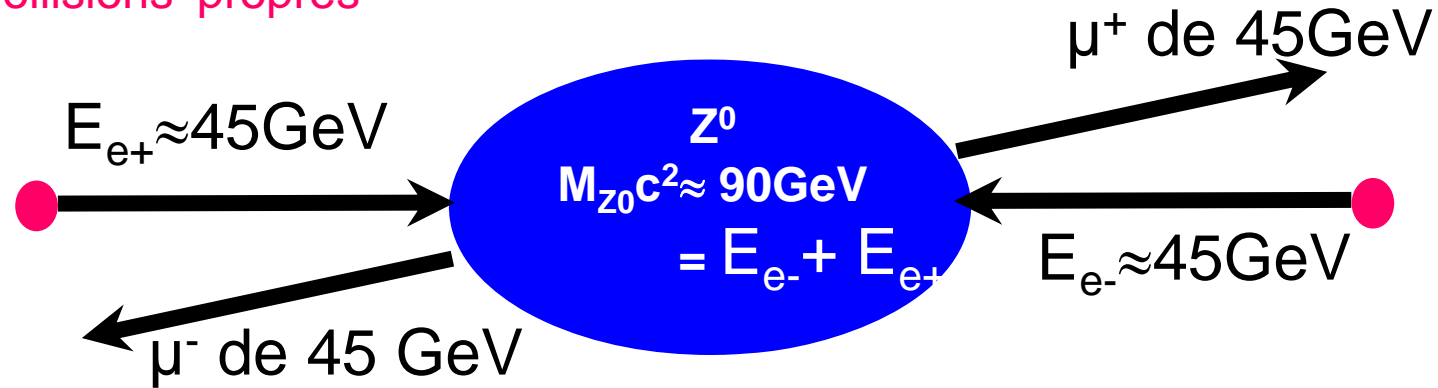
- Électron-positrons
 - *‘Machine de précision’*
- Hadron-hadron
 - *‘Machine de découverte’*

Collisionneur e^+e^- : ex. la production du boson Z^0 au LEP

e^+e^- sont 2 particules élémentaires

→ On connaît bien l'énergie et la nature de l'état initial

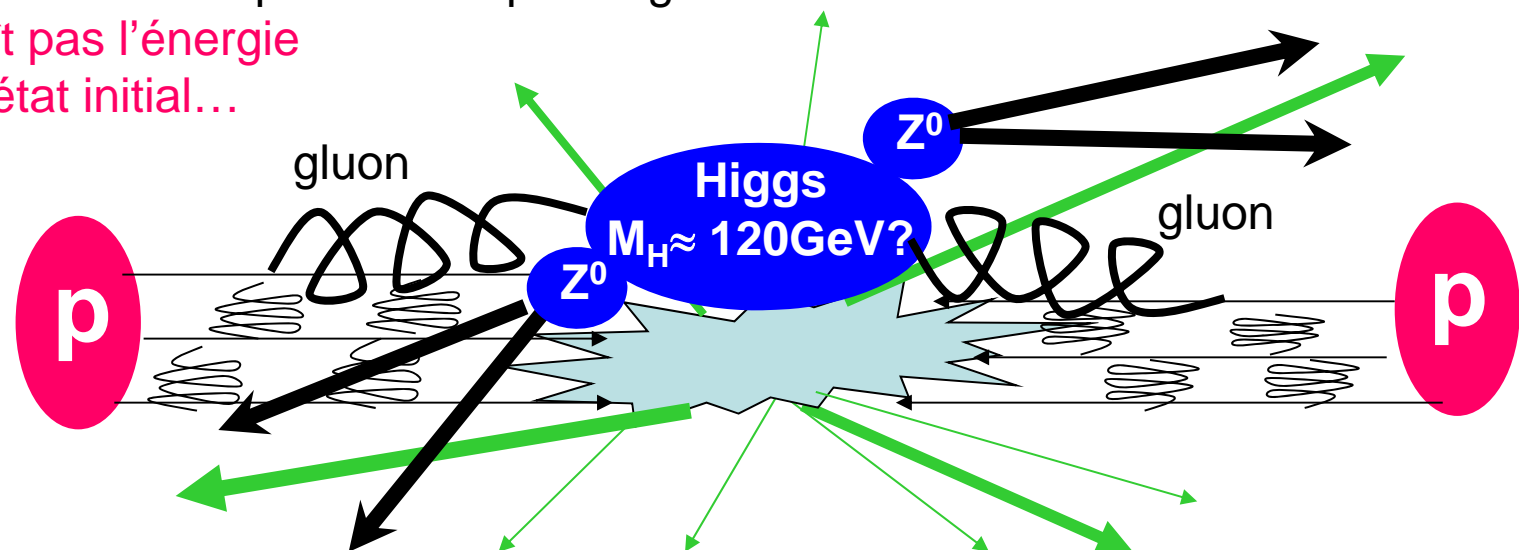
→ Collisions 'propres'



Collisionneur pp (ou ppbar) : ex production du Higgs (au LHC/TEVATRON)

P, Pbar sont 2 particules composées de quarks/gluons

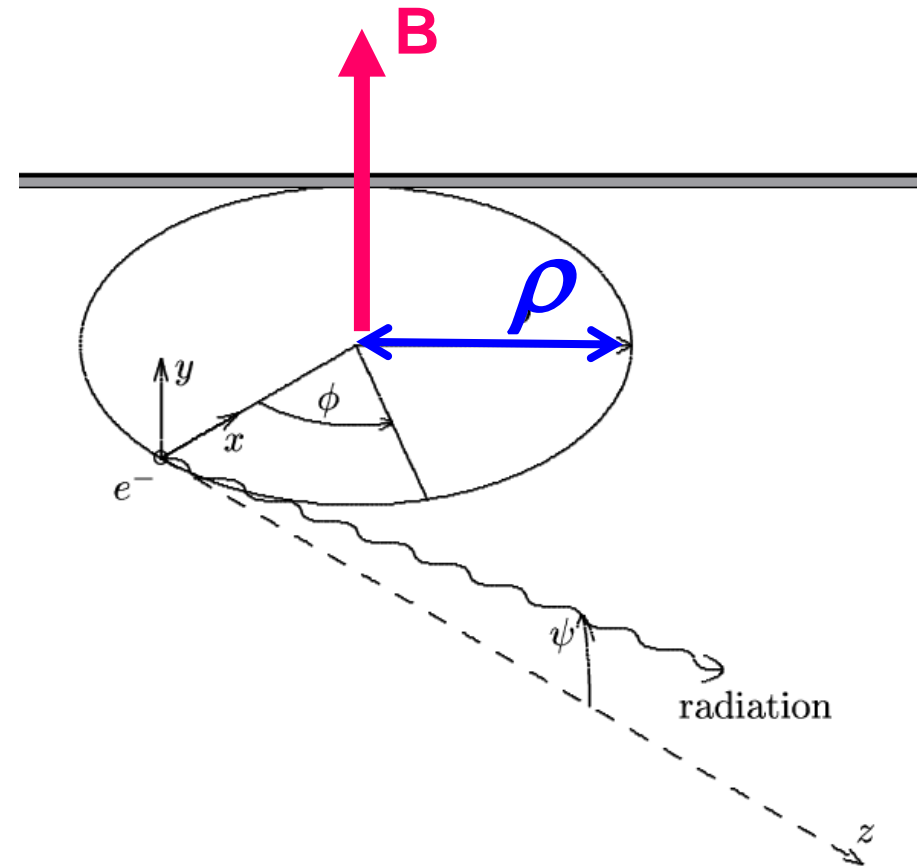
→ On ne connaît pas l'énergie et la nature de l'état initial...



Mais il y a une grosse différence entre électrons et protons : le rayonnement synchrotron !

- Lorsqu'une particule chargée tourne dans un champ magnétique elle perd de l'énergie en rayonnant des photons (rayonnement de freinage ou bremsstrahlung)
- On peut montrer que la puissance perdue par une particule

$$P \propto \left(\frac{E}{mc^2} \right)^4 \frac{1}{\rho^2}$$



- Il faut que des cavités accélératrices RF compensent la perte de puissance à chaque tour

- Au-delà d'une certaine énergie il est plus rentable de passer d'un collisionneur circulaire à un collisionneur linéaire

- EX. :

- Le LEP de circonférence 27km : $E_{\text{beam}} \sim 50\text{GeV}-100\text{GeV}$

- L'ILC accélérateur linéaire de $\sim 30\text{km}$: $E_{\text{beam}} = 250\text{GeV}-500\text{GeV}$

Le rayonnement synchrotron limite l'énergie communicable aux électrons :

Comparaison (CERN) :

☆ LEP : $E_e = 108 \text{ GeV}$ $r = 3\,096 \text{ m}$ $P = 61 \text{ TeV/s}$ par **électron**

☆ LHC : $E_p = 7\,000 \text{ GeV}$ $r = 2\,778 \text{ m}$ $P = 0,31 \text{ eV/s}$ par **proton**

Mais pas aux protons !

C'est pour ça que le LHC est un collisionneur circulaire !

Et le futur ILC un collisionneur linéaire ...

Les accélérateurs à hautes énergies

Quelles sont les contraintes pour observer de la 'nouvelle' physique aujourd'hui ?

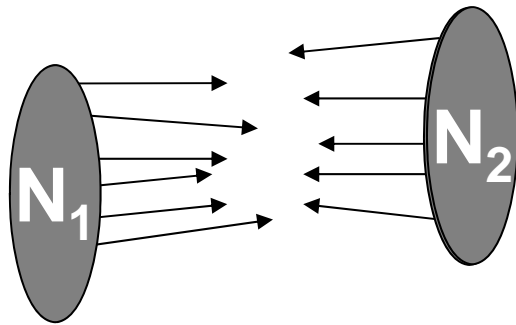
Pour voir des phénomènes rares il faut :

Premièrement : Beaucoup de particules par paquet et beaucoup de paquets → fort courant

Mais ca ne suffit pas : Il faut les 'concentrer' au maximum

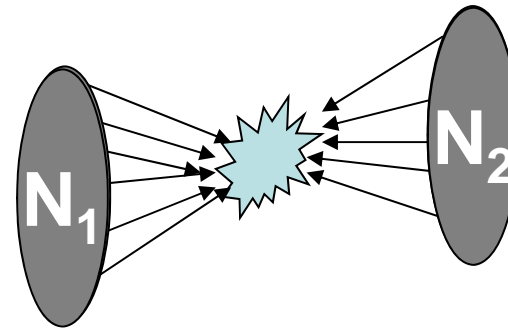
Mauvaise focalisation...

Les particules ont peu de chances de se rencontrer ...



Bonne focalisation !

Les particules ont toutes les chances de se rencontrer !



Nb d'interactions/seconde

$$\propto \frac{f_{Bunch} N_1 N_2}{taille_x^2 + taille_y^2}$$

(Si faisceaux identiques et gaussiens)

C'est le facteur de luminosité

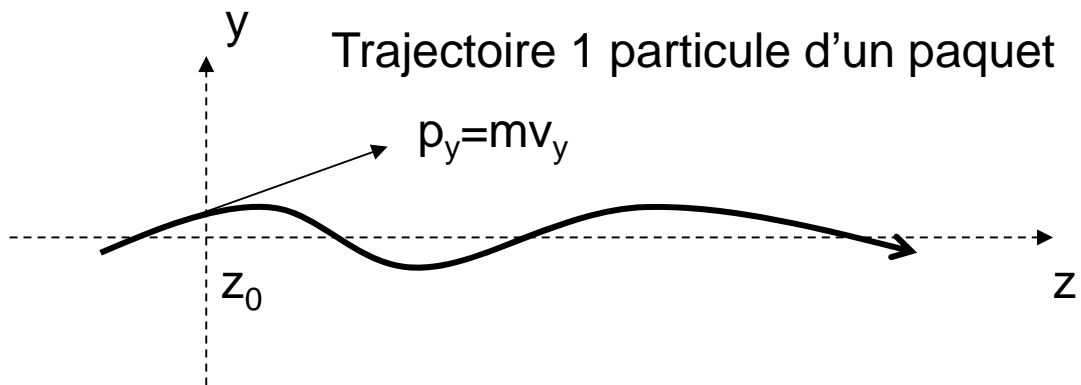
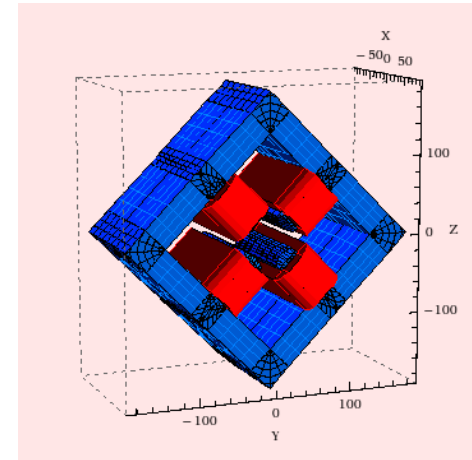
Mais un faisceau de particules chargées ne se focalise pas comme un faisceau lumineux ...

Il faut des champs magnétiques quadripolaires (équivalent des lentilles)

ET il faut 'pouvoir' focaliser les faisceaux :

il faut une bonne émittance ...

c.f. cours JM De Conto



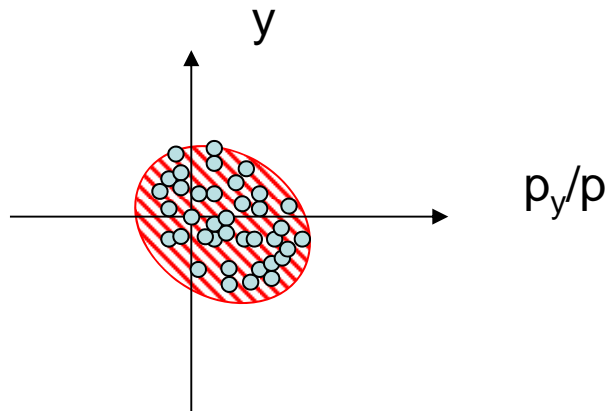
Trajectoire 1 particule d'un paquet

$$p_y = mv_y$$

z_0

z

En $z=z_0$:
cette particule est situé
au point y avec une impulsion p_y



Chaque particule du paquet
est représentée par un point
Dans l'espace y, p_y
L'émittance est définie par

ϵ_y = surface couverte par ces points

La taille d'un faisceau de particules chargées focalisé par un ensemble d'aimants focalisant :

Taille en y=

$$\sqrt{\frac{\beta_y \varepsilon_y}{E / m}}$$

β_y est le facteur focalisant des aimants

Donc : pour une fonction β_y donnée (=système d'aimants)

+ émittance petite + taille faisceau petite

pour une émittance donnée

+ énergie des faisceau grande + taille faisceau petite

Donc : il faut créer des faisceaux à fort courant et à faible émittance pour faire de la physique des particules !!!

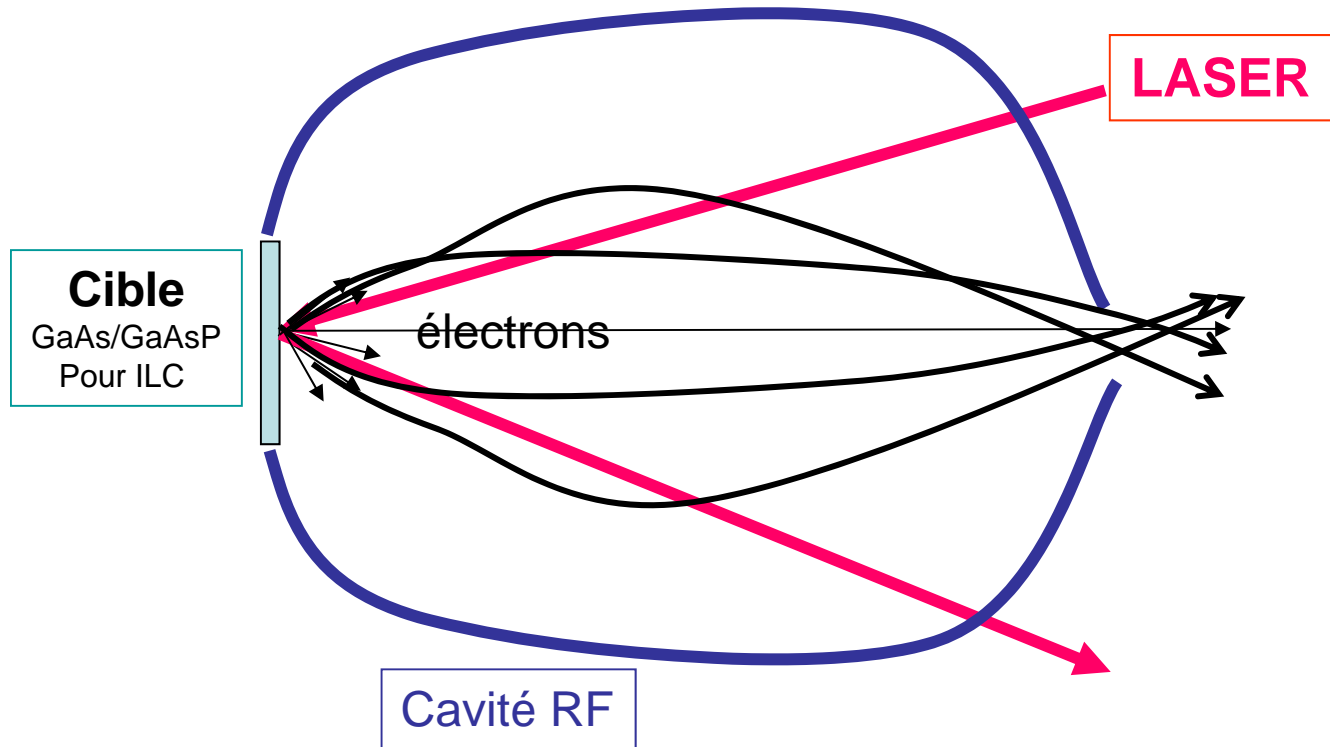
Note : une fois créée, il faut aussi conserver la bonne émittance ...

Comment faire des faisceaux d'électrons de faibles émitances?

c.f. cours H. Monard

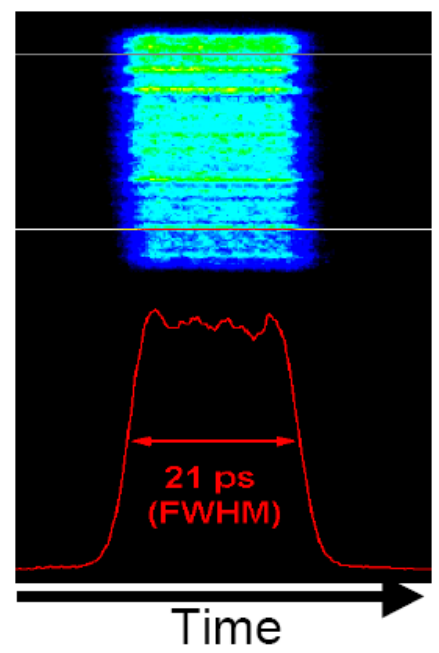
1° : utiliser un canon photo_déclenché

Ex. projet ILC $\epsilon_y \sim 70 \mu\text{m} \cdot \text{rad}$



Pulses lasers 'spéciaux' :
(ex. TTF2/DESY)

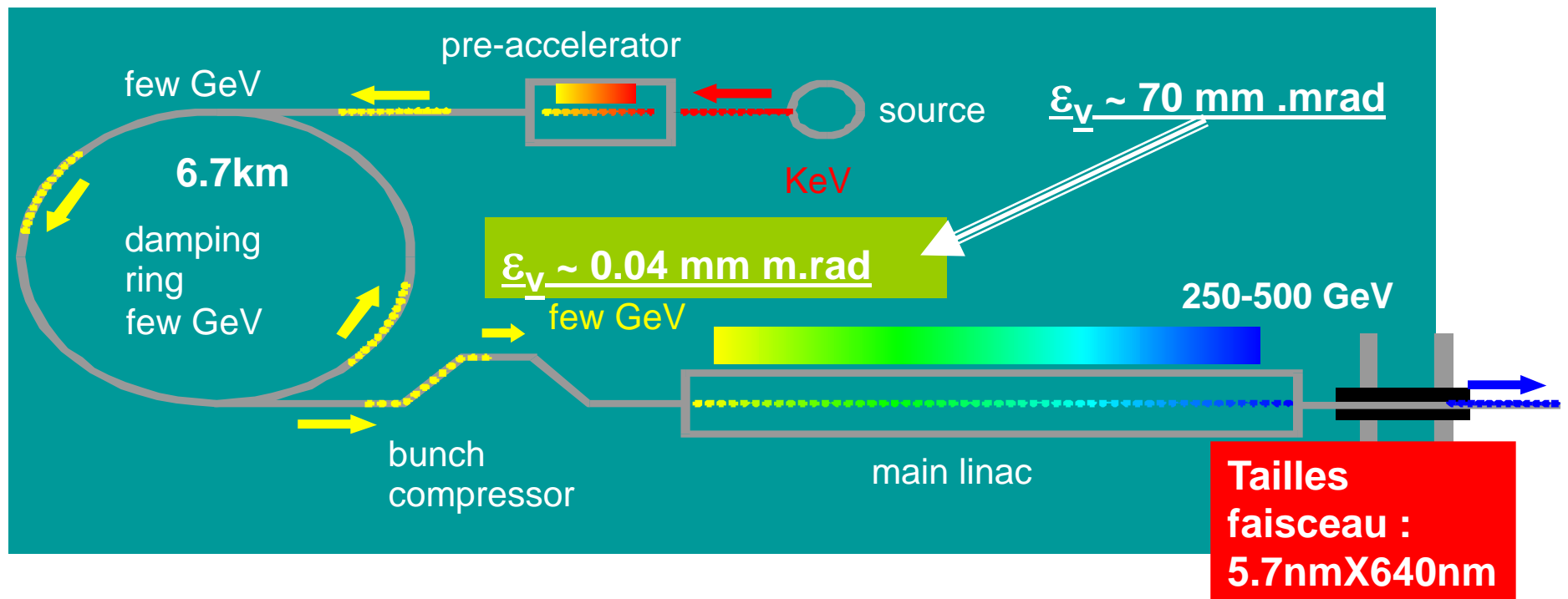
- UV:266nm
- 20 μJ /pulses
- 3000pulses@5Hz



2° : utiliser le rayonnement synchrotron

On fait tourner les électrons dans un anneau où ils rayonnent

- En rayonnant le faisceau se 'compactifie'
- Pour les accélérateurs circulaire : c'est gratuit !
- Pour les collisionneurs linéaires : on ajoute un anneau !
 - À l'ILC le *damping ring* DOIT réduire l'émittance d'un facteur ~ 200 !
 - Tout ça au rythme de 3000 paquets @ 5Hz ...
 - Soit ~ 200 ms dans le damping ring...



Comment obtient t'on de faibles émitances avec des protons/antiprotons ?

Source de protons :

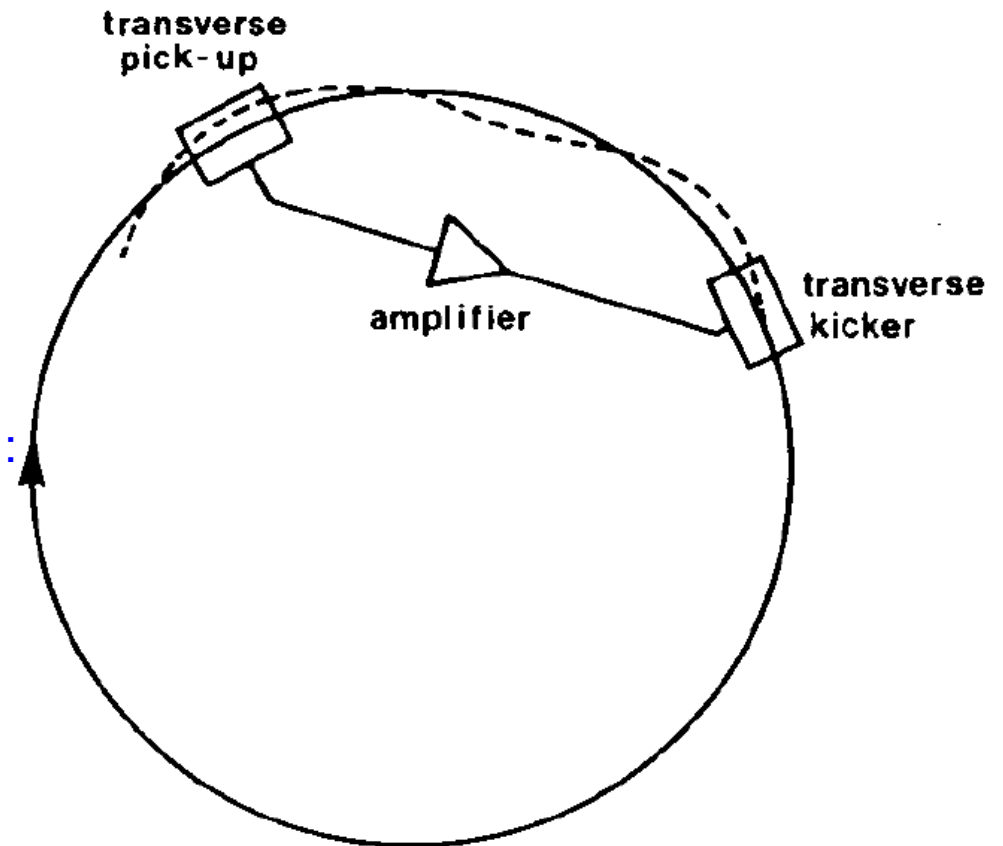
- Ionisation H

Source d'antiprotons :

- Faisceau proton+cible

Impossible d'utiliser le rayonnement synchrotron pour les protons :
 $(m_p/m_e)^4 \sim 2 \cdot 10^{13}$ fois plus faible que pour les électrons ...

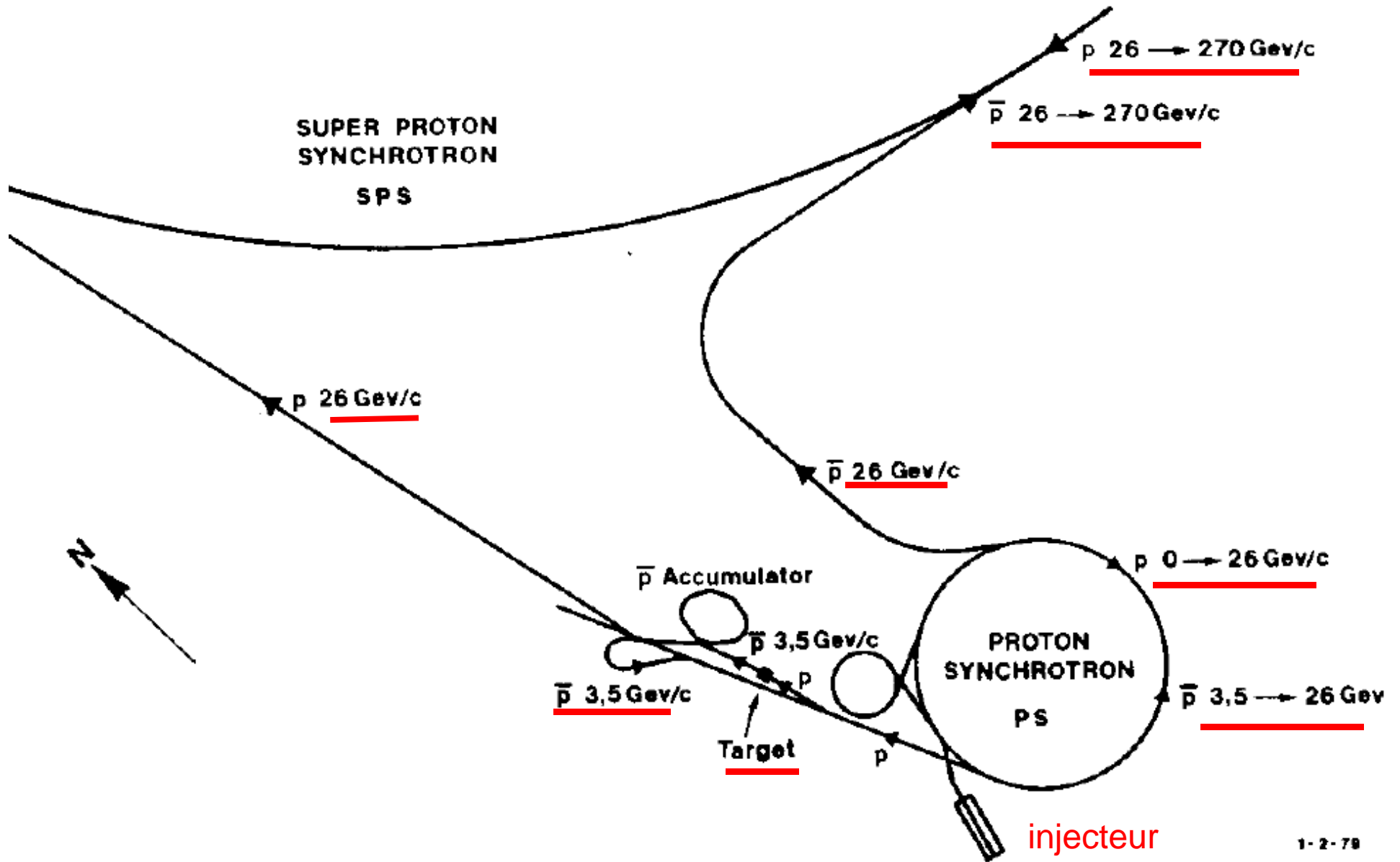
→ technique du Stochastic cooling pour antiprotons (Van der Meer)



Technique complexe d'analyse du signal

→ Sans cette technique 'rien' ne serait sortie du SPS !

Ex. 1 : LE SPS du CERN (découverte des bosons vecteurs W^\pm et Z^0)



Tiré de la présentation du prix Nobel de Van der Meer

Ex. 2 : LE TEVATRON de FERMILAB (découverte du quark top)



En résumé

- Les accélérateurs du futur visent :
 - Des hautes luminosités
 - En augmentant le nb de particules par paquets
 - Limite liée à la consommation électrique & à l'appareillage
 - En augmentant la fréquence des paquets
 - Limites thermiques canon et effet paquet/paquet
 - En diminuant l'émittance
 - Contrôle de l'émittance durant la propagation du faisceau
 - Contrôle des nanobeam au point d'interaction
 - Les hautes énergies
 - Cavité accélératrices à for gradient
 - » CLIC vise 100MV/m (technologie 'drive beam')
 - » ILC vise 35 MV/m (technologie Supra)

Illustrations

- 1) 2 accélérateurs du CERN :
Collisionneurs ppbar versus
colisionneur e+e-
SPS versus LEP
- 2) 'Overview' de deux
installations/projets majeurs
 - 1) Le LHC
 - 2) Un grand projet aujourd'hui : ILC
- 3) *Applications de l'interaction laser-
électron*

Le CERN : la Science à l'échelle Européenne depuis un demi-siècle

The Twenty Member States of CERN

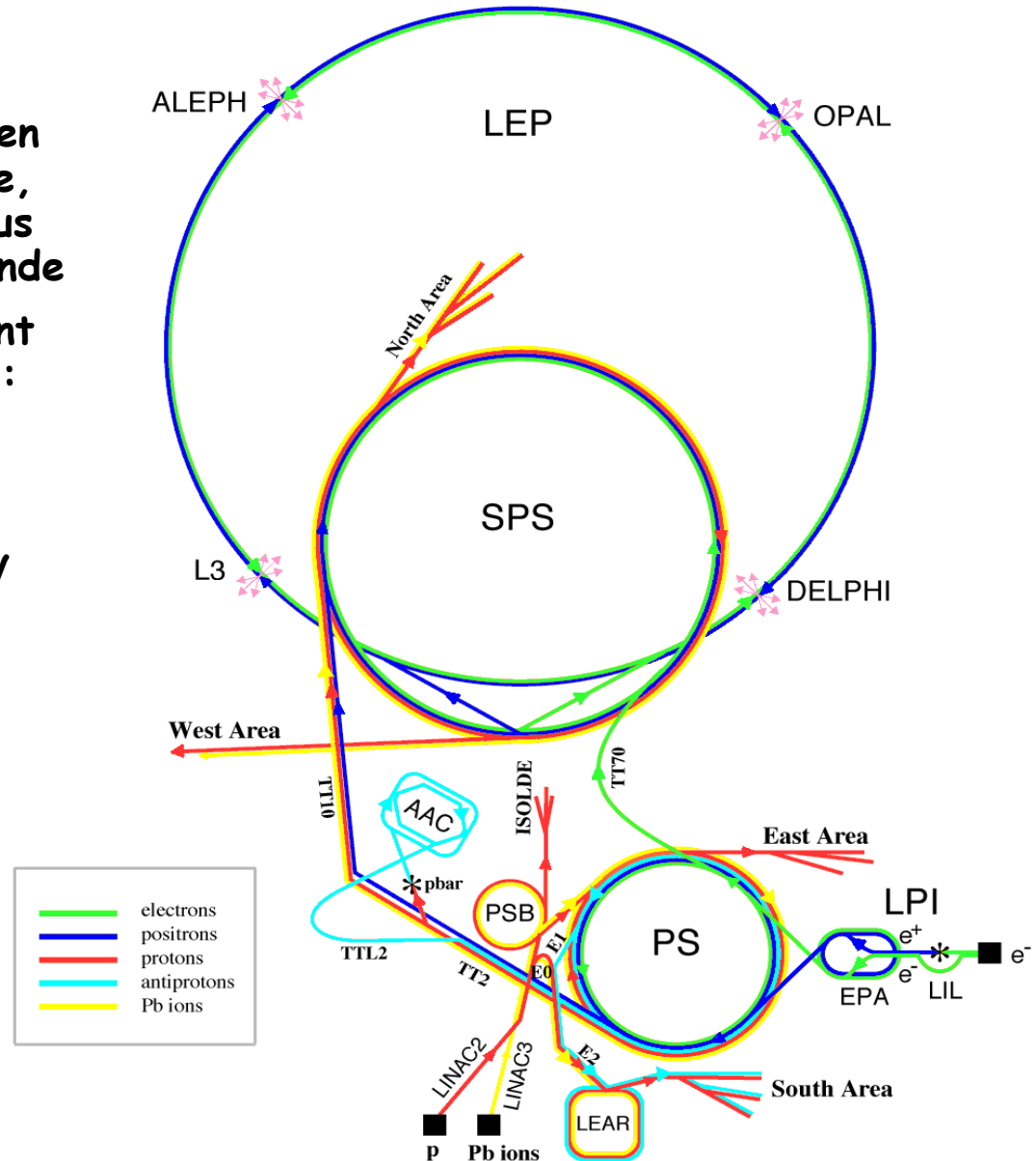


Member States (Dates of Accession)

 AUSTRIA (1959)	 DENMARK (1953)	 GREECE (1953)	 NORWAY (1953)	 SPAIN (1/1961-12/1968-1/1983)
 BELGIUM (1953)	 FINLAND (1991)	 HUNGARY (1992)	 POLAND (1991)	 SWEDEN (1953)
 BULGARIA (1999)	 FRANCE (1953)	 ITALY (1953)	 PORTUGAL (1986)	 SWITZERLAND (1953)
 CZECH FR (1993)	 GERMANY (1953)	 NETHERLANDS (1953)	 SLOVAK FR (1993)	 UNITED KINGDOM (1953)

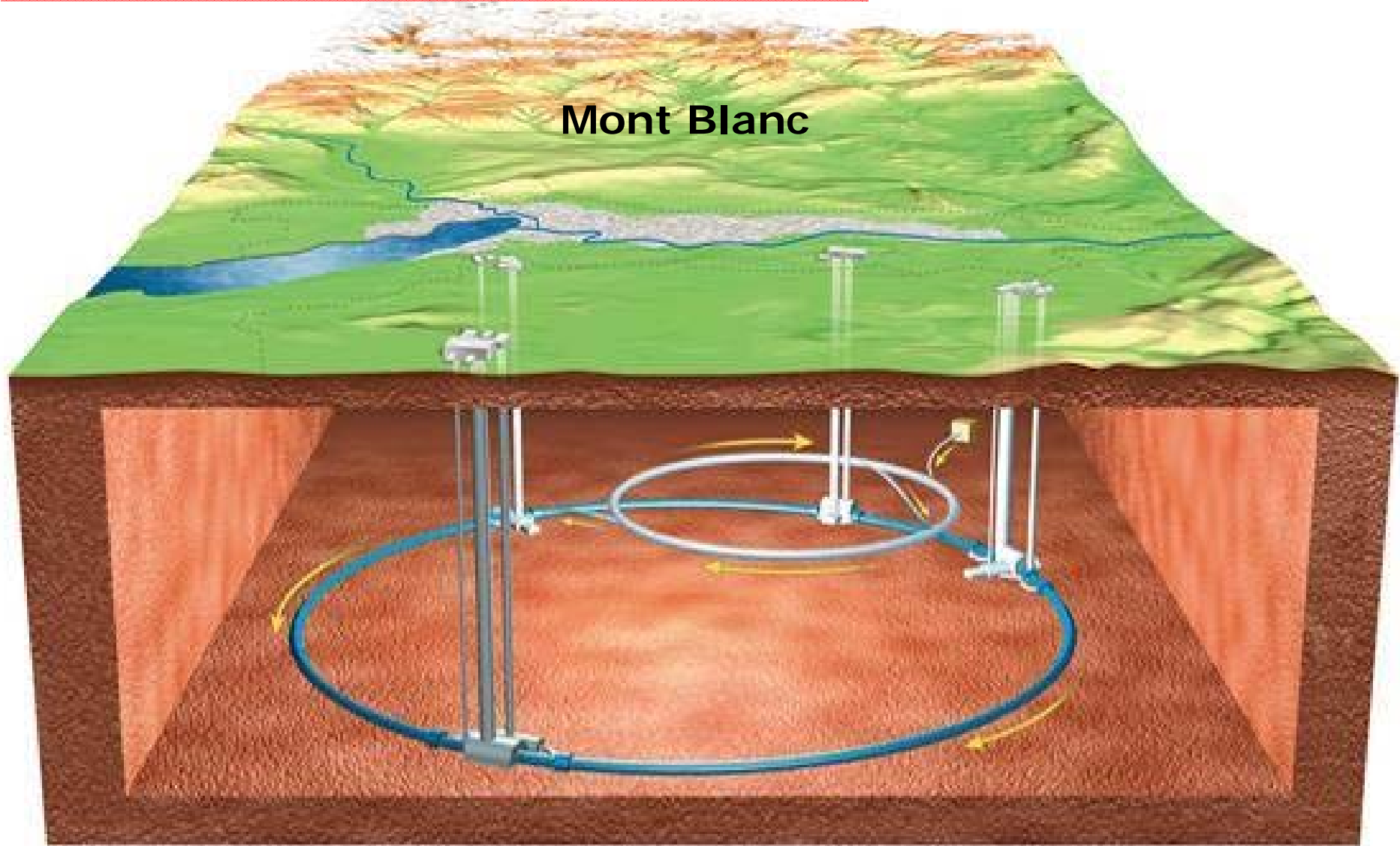
Le CERN..... jusqu'à très récemment

- avec le PS comme point de départ, en opération depuis les années soixante, le CERN constitue aujourd'hui le plus grand complexe accélérateur du monde
- les synchrotrons du CERN accélèrent des types de particules différentes: électrons, positrons, protons, antiprotons et ions lourds
- LEP **était** un collisionneur électrons-positrons de $2 \times 100 \text{ GeV}$



LEP : 27 km de circonférence
100 m de profondeur en moyenne

Mont Blanc



Une des grandes découvertes du
CERN en collisionneur Ppbar
le SPS

Découverte des bosons W^\pm et Z^0 au SPS

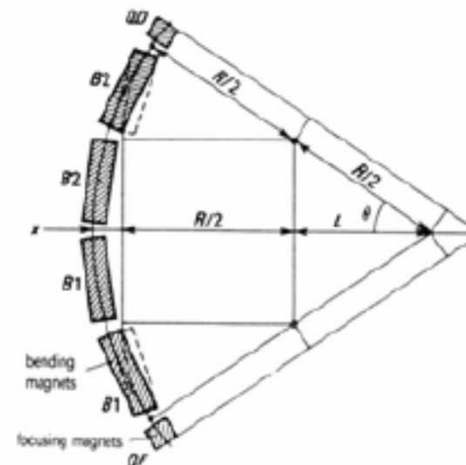
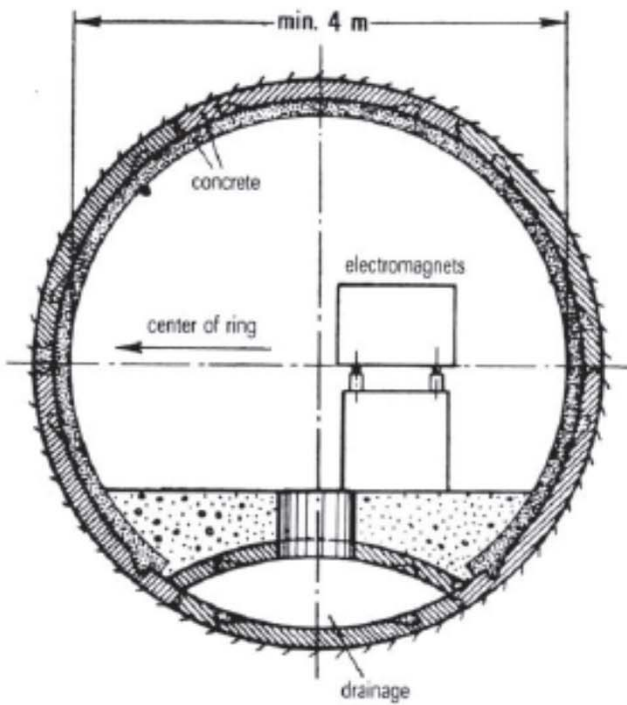
450 GeV protons

158 GeV/nucléon ions Pb

$2\pi R = 6,9$ Km

744 dipôles, 216 aimants de focalisation

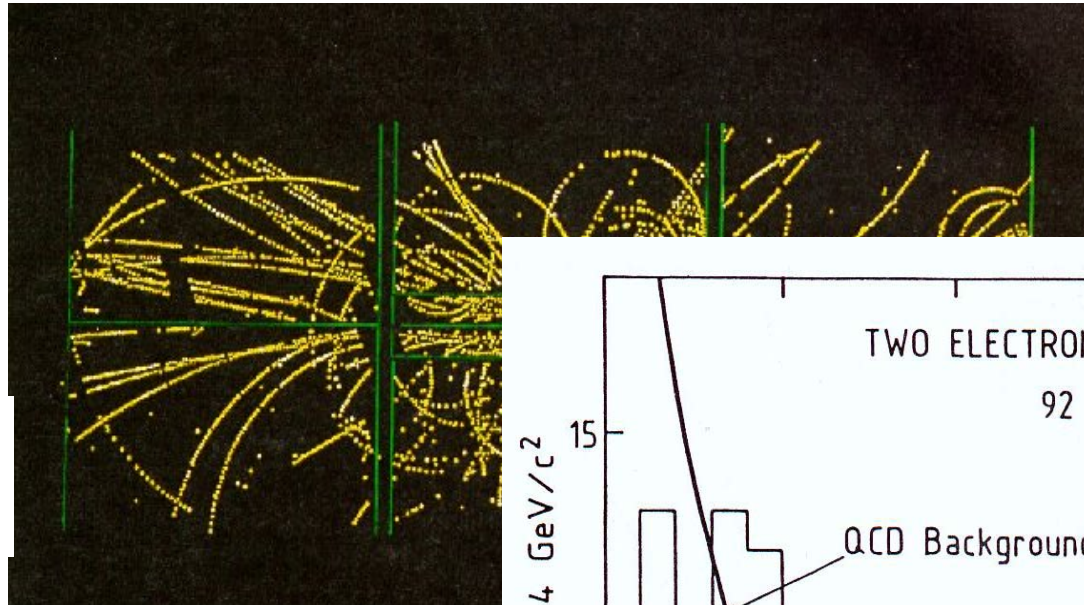
Section de la chambre à vide : 10×5 cm



- Expériences UA1 et UA2 du SPS

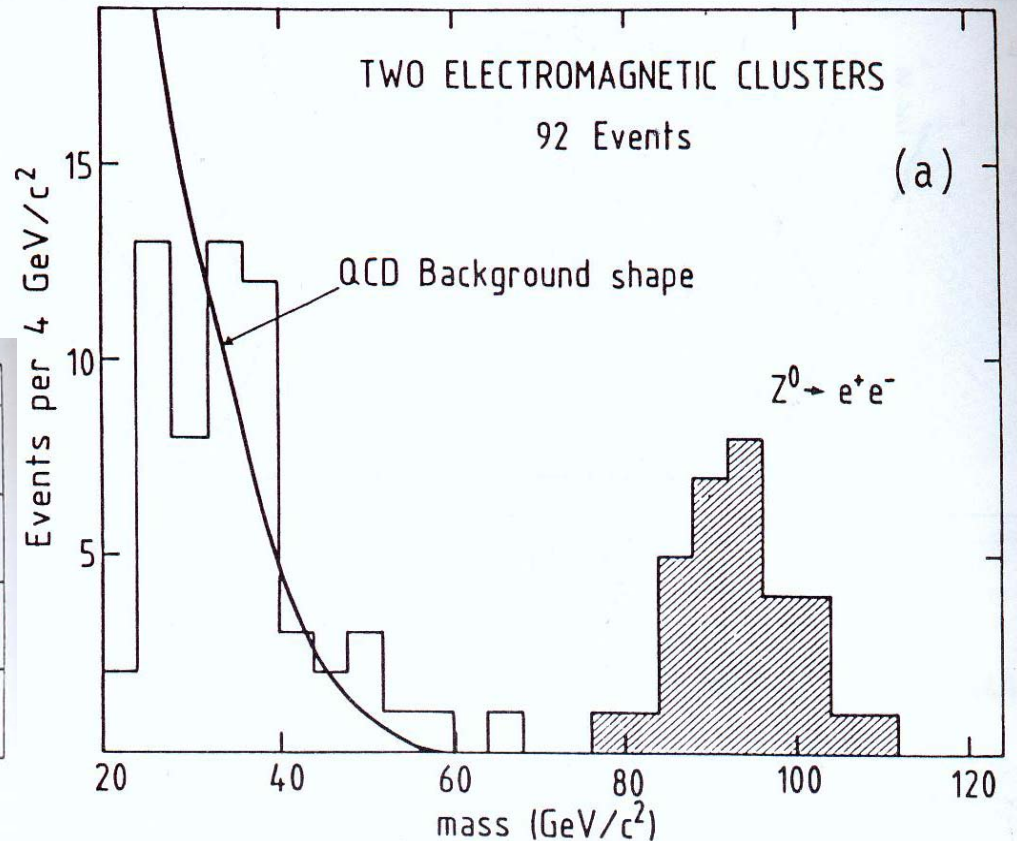
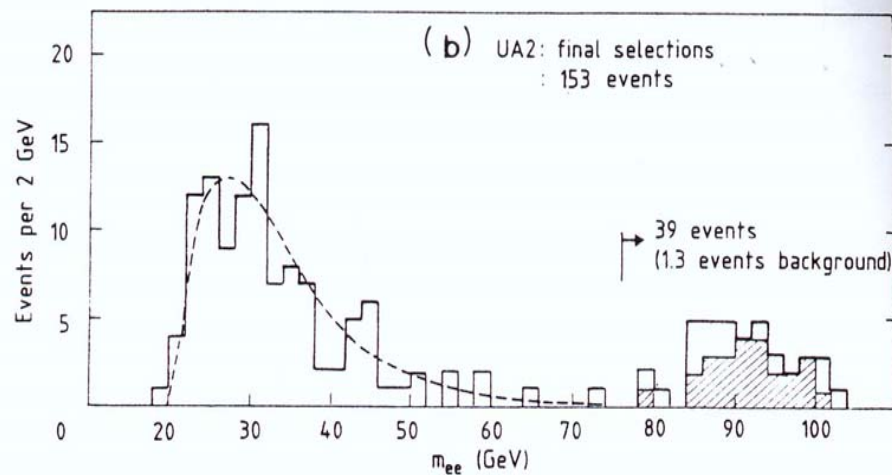
$$p\bar{p} \rightarrow W^+ X^- \quad W^+ \rightarrow l^+ \nu_l$$

$$p\bar{p} \rightarrow Z^0 X^0 \quad Z^0 \rightarrow l^+ l^-$$



UA1:
 $Z^0 \rightarrow e^+e^-$

UA2:
 $Z^0 \rightarrow e^+e^-$

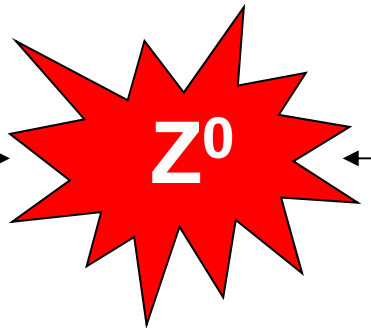


Les mesures de précision en
collisionneur e^+e^- au CERN:
Le LEP

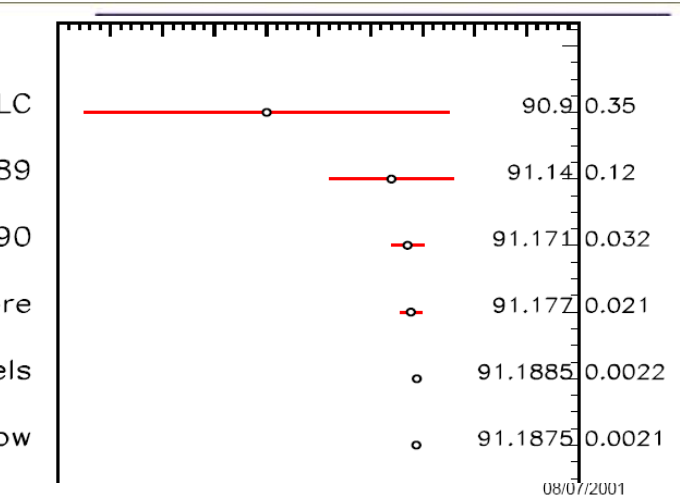
Mesures de précision au LEP 1989-2001

LEP1 : 'usine

$E_{e^-} \sim 45 \text{ GeV}$



- Before SLC
- SLC 1989
- LEP Moriond 1990
- LEP ICHEP90 Singapore
- LEP EPS95 Brussels
- LEP now

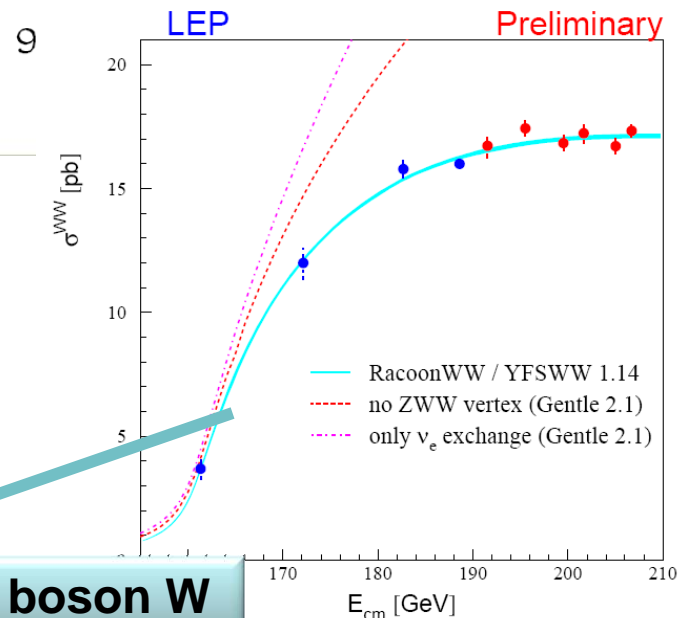


LEP2 : 'usine à W^+W^- '

$E_{e^-} \sim 80 \text{ GeV}$



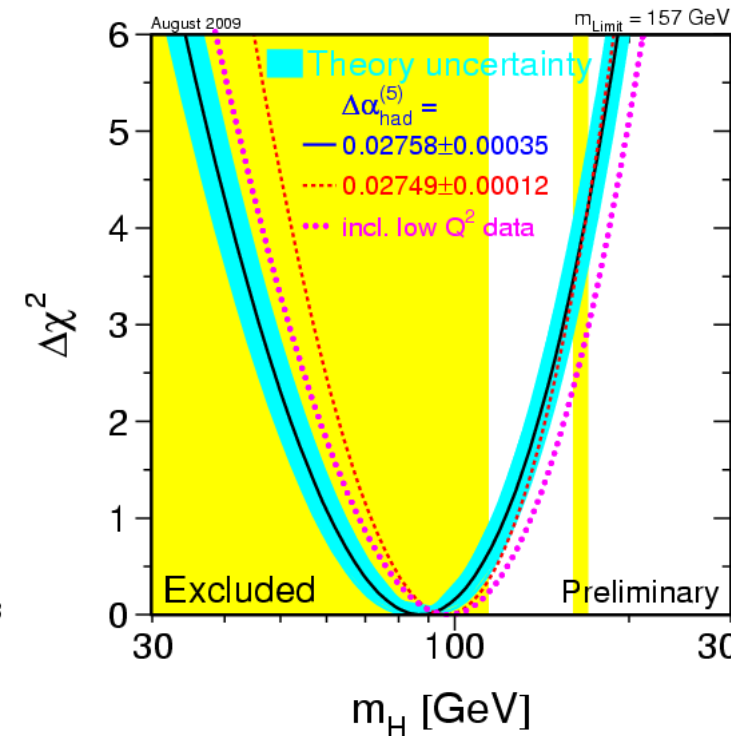
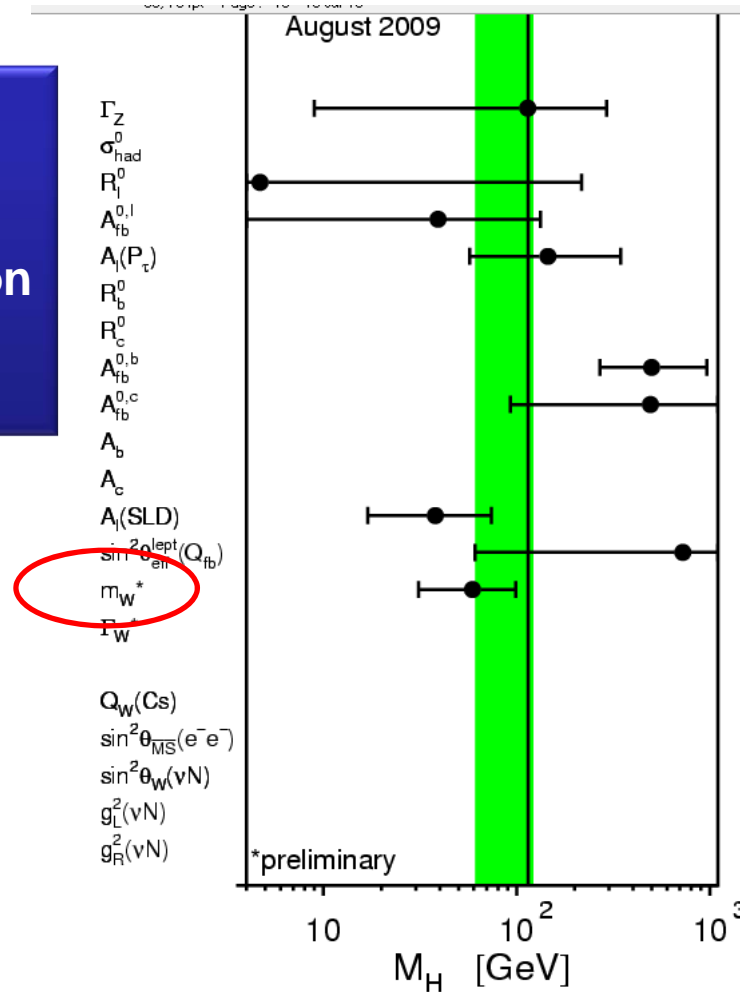
$E_{e^+} \sim 80 \text{ GeV}$



À partir de cette courbe on détermine la masse du boson W

Pourquoi mesurer précisément m_W ?

- Important en soit
- Contrainte sur la masse du boson de Higgs ...



Mais la précision a un prix !

Ex. : La mesure **précise** de l'énergie des faisceaux
au LEP

→ nécessaire pour réduire les incertitudes expérimentales :

$$\frac{\delta M_W}{M_W} \approx \frac{\delta E_{\text{beam}}}{E_{\text{beam}}}$$

$$\delta M_W(\text{stat}) \sim 30 \text{ MeV} \xrightarrow{\text{Goal}} \delta E_{\text{beam}} < 15 \text{ MeV}$$

$(E_{\text{beam}} \sim 80\,000 \text{ MeV})$
→ $\delta E_{\text{beam}}/E_{\text{beam}} \sim 10^{-4} \dots$

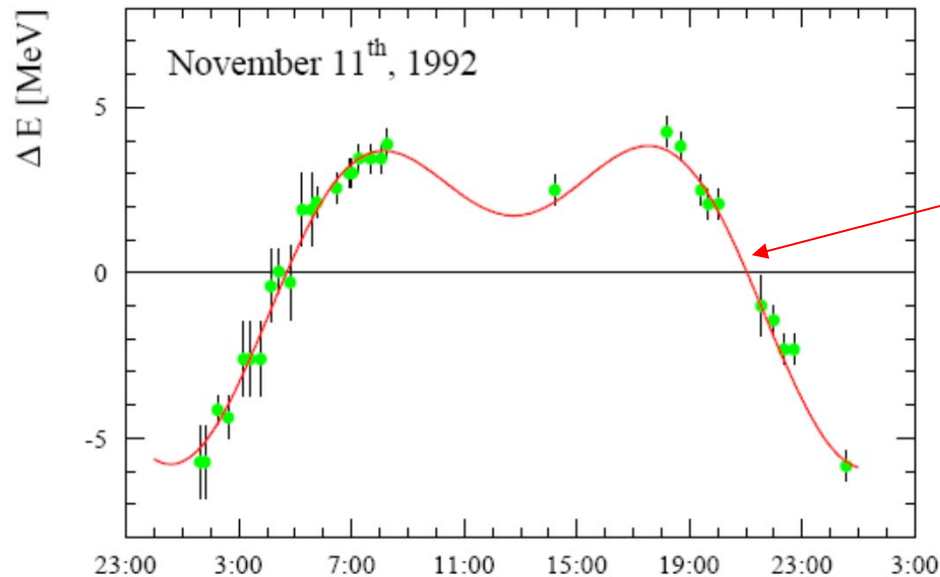
Ces mesures se font en étudiant les trajectoires des particules chargées
dans les champs magnétiques des électroaimants

→ Dépend de la longueur de la trajectoire (~27km)

→ Dépend des courants parasites dans les alims des électroaimants !

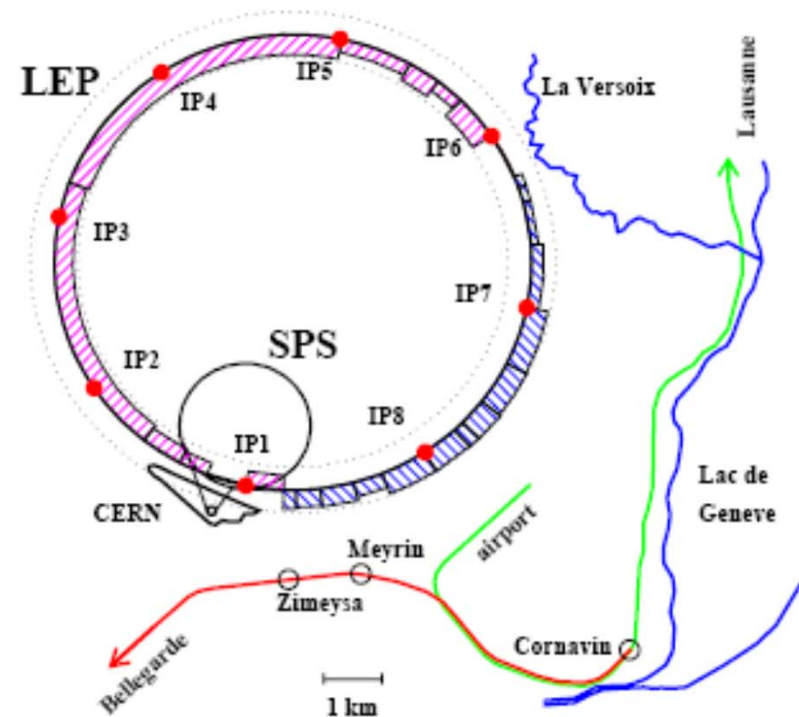
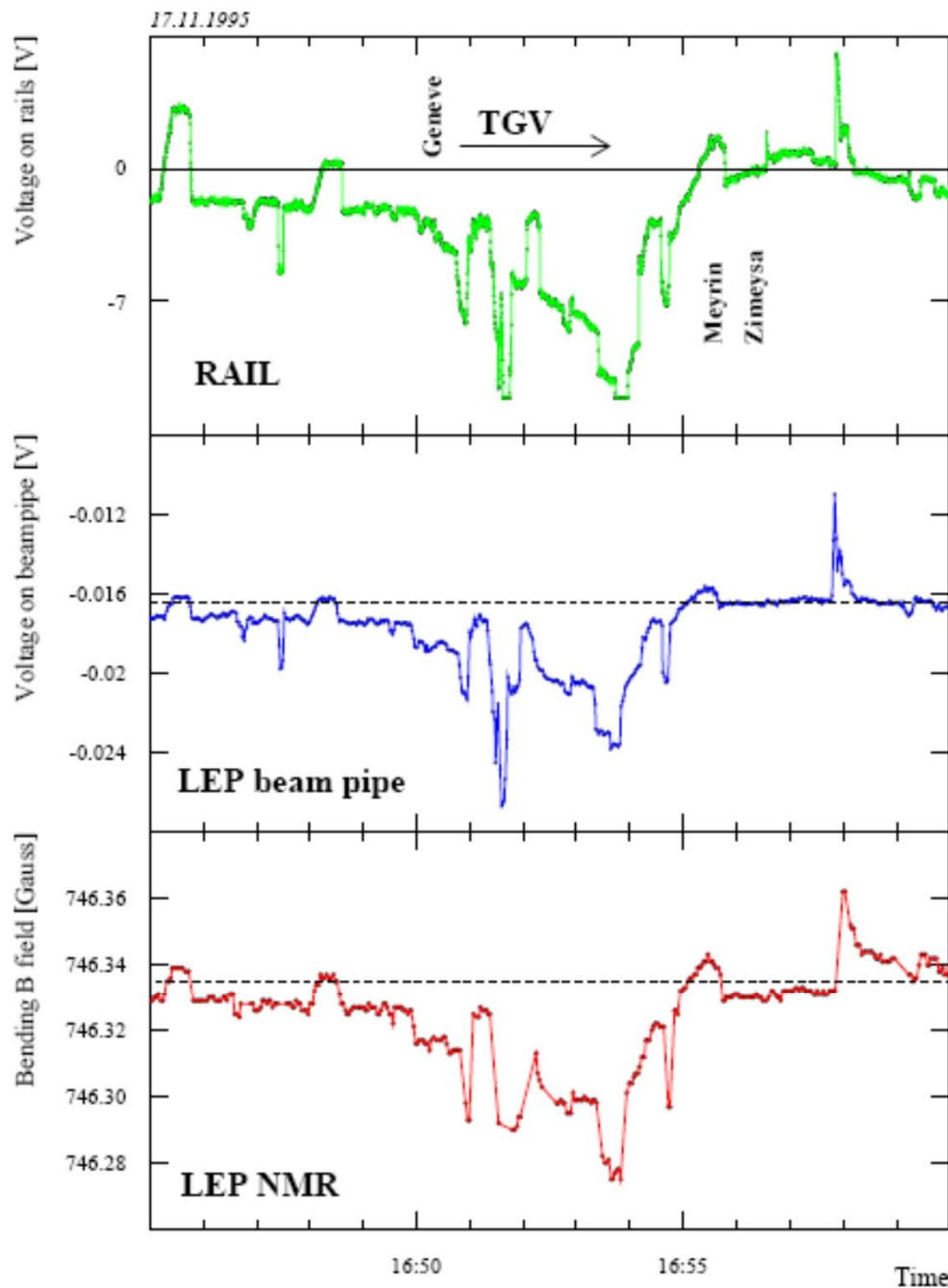
Les surprises du LEP

Mesure de l'énergie sur 24h



Effet des marées terrestres !
(calcul géophysique)
Variation de la longueur du
LEP de 1mm/27km !!!
→ 10MeV d'erreur ...

**Le pb vient du fait que l'on ne mesure pas en permanence l'énergie des faisceaux !
→ Il faut donc extrapoler sur plusieurs heures ...**

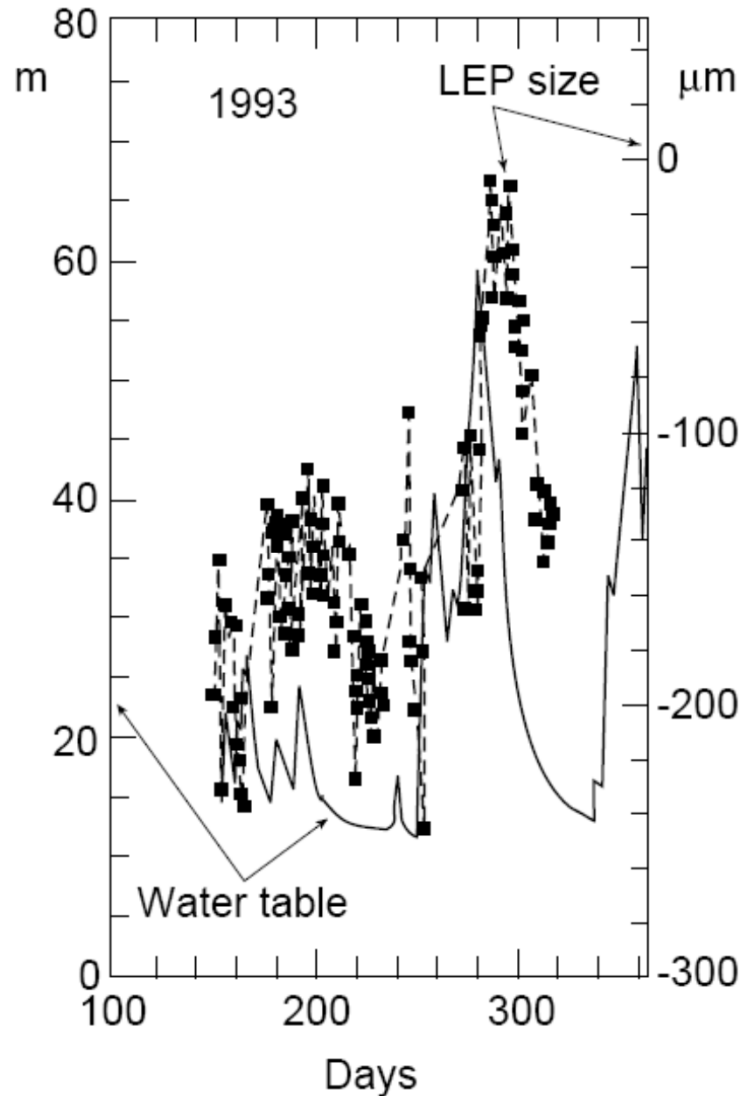


Sensibilité aux courants parasites induits par le TGV Paris-Genève !
→ effet plus important que les marées terrestres !!!

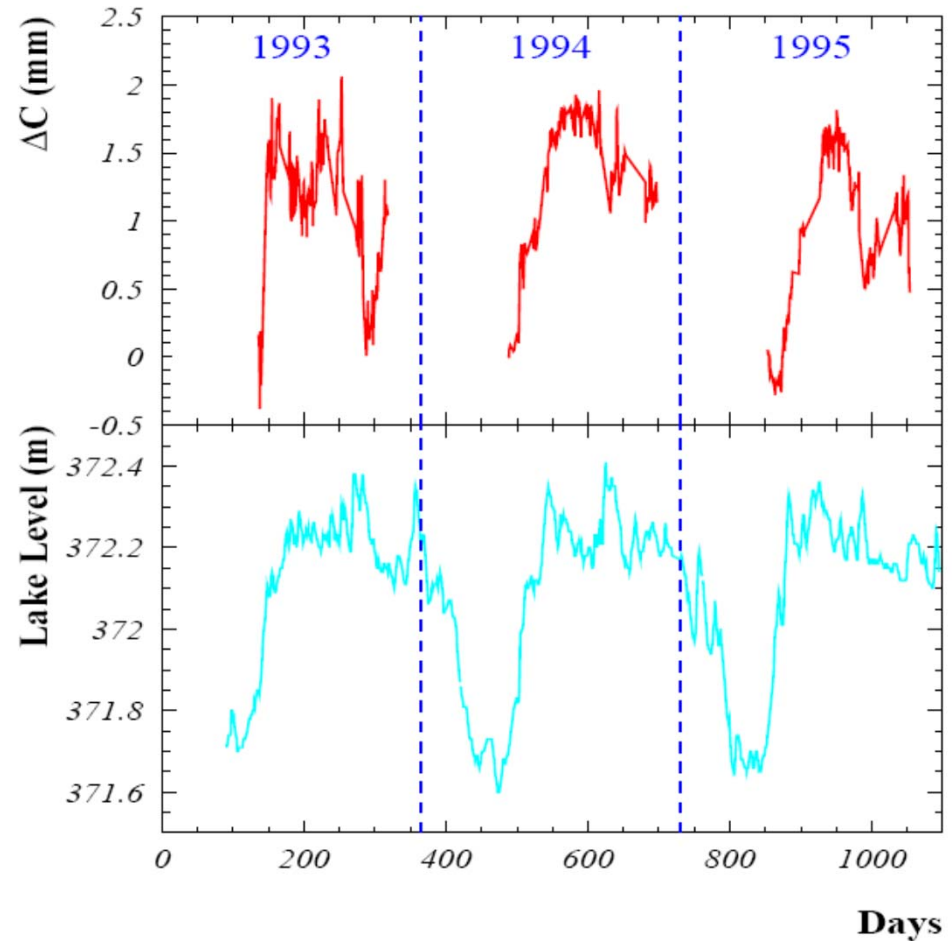


~15mn

Variation de la longueur du LEP corrélée avec la quantité d'eau dans les montagnes



Avec le niveau d'eau dans le lac Lémant !!!

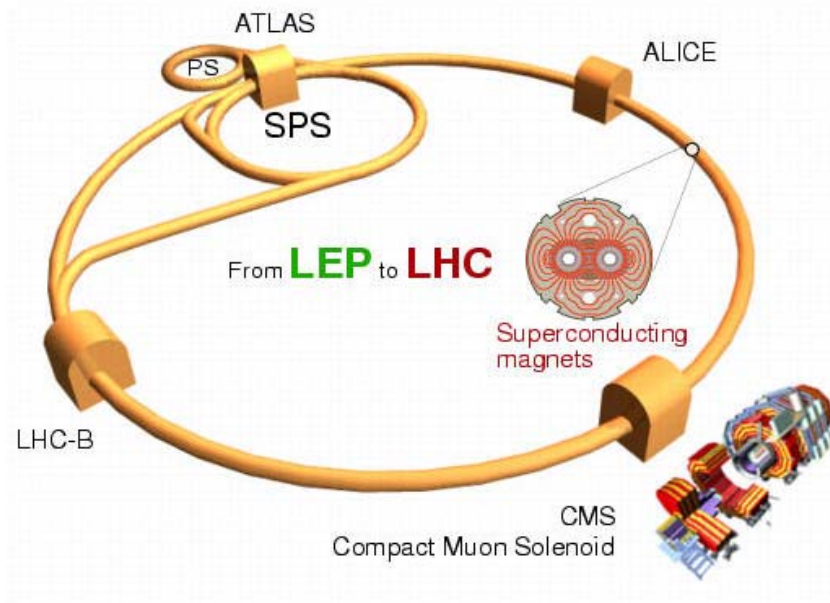


Enorme effort sur la compréhension et sur les performances de L'accélérateur ...

LE LHC

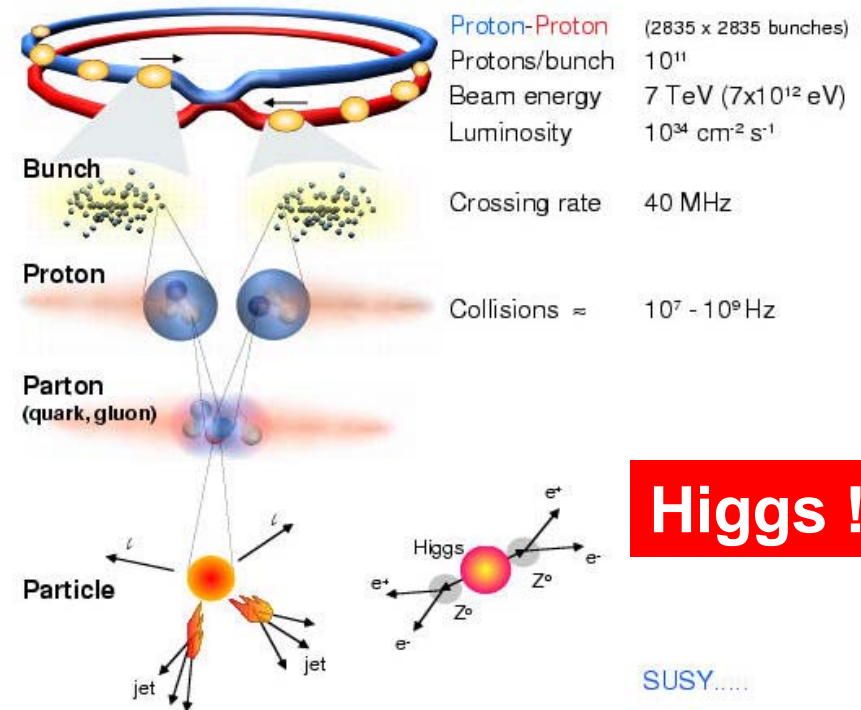
Le LHC : LE collisionneur du CERN

The Large Hadron Collider (LHC)



	Beams	Energy	Luminosity
LEP	e+ e-	200 GeV	$10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
LHC	p p	14 TeV	10^{34}
	Pb Pb	1312 TeV	10^{27}

Collisions at LHC



Higgs !!!

Selection of 1 in 10,000,000,000,000

Pour comparer...

Energie d'un proton dans le LHC : 7 TeV c'est à dire $7 \cdot 10^{12}$ eV

1 eV c'est une quantité infime d'énergie $1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
(c'est l'énergie d'un photon du laser infrarouge YAG)



$$m_{\text{guêpe}} = 1\text{g} = 5.8 \cdot 10^{32} \text{ eV}/c^2$$

$$v_{\text{guêpe}} = 1\text{m/s} \rightarrow E_{\text{guêpe}} = 10^{-3} \text{ J} = 6.25 \cdot 10^{15} \text{ eV}$$

Ceci dit...dans le LHC...

L'énergie totale dans les faisceaux est de :

$$10^{14} \text{ protons} \times 14 \cdot 10^{12} \text{ eV} \approx 1 \cdot 10^8 \text{ J}$$

qui correspond à



$$M_{\text{poids lourd}} = 100 \text{ T}$$

$$V_{\text{poids lourd}} = 120 \text{ km/h}$$

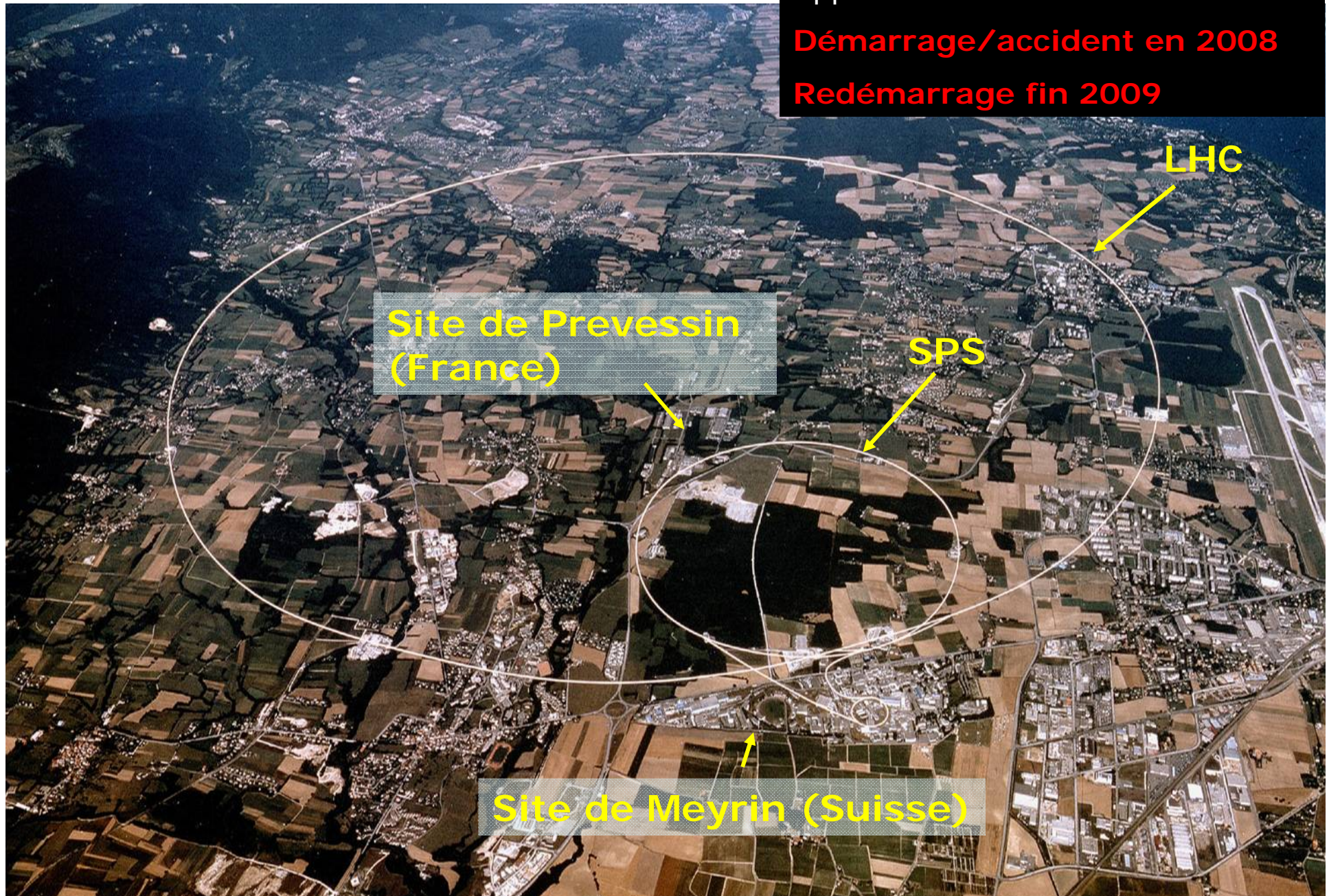
Ce qui est exceptionnel dans le LHC, c'est qu'il concentre l'énergie dans un espace environ mille milliards de fois plus petit qu'une guêpe !

Conçu dans les années 1980

Approuvé en 1994

Démarrage/accident en 2008

Redémarrage fin 2009



Site de Preveessin
(France)

SPS

LHC

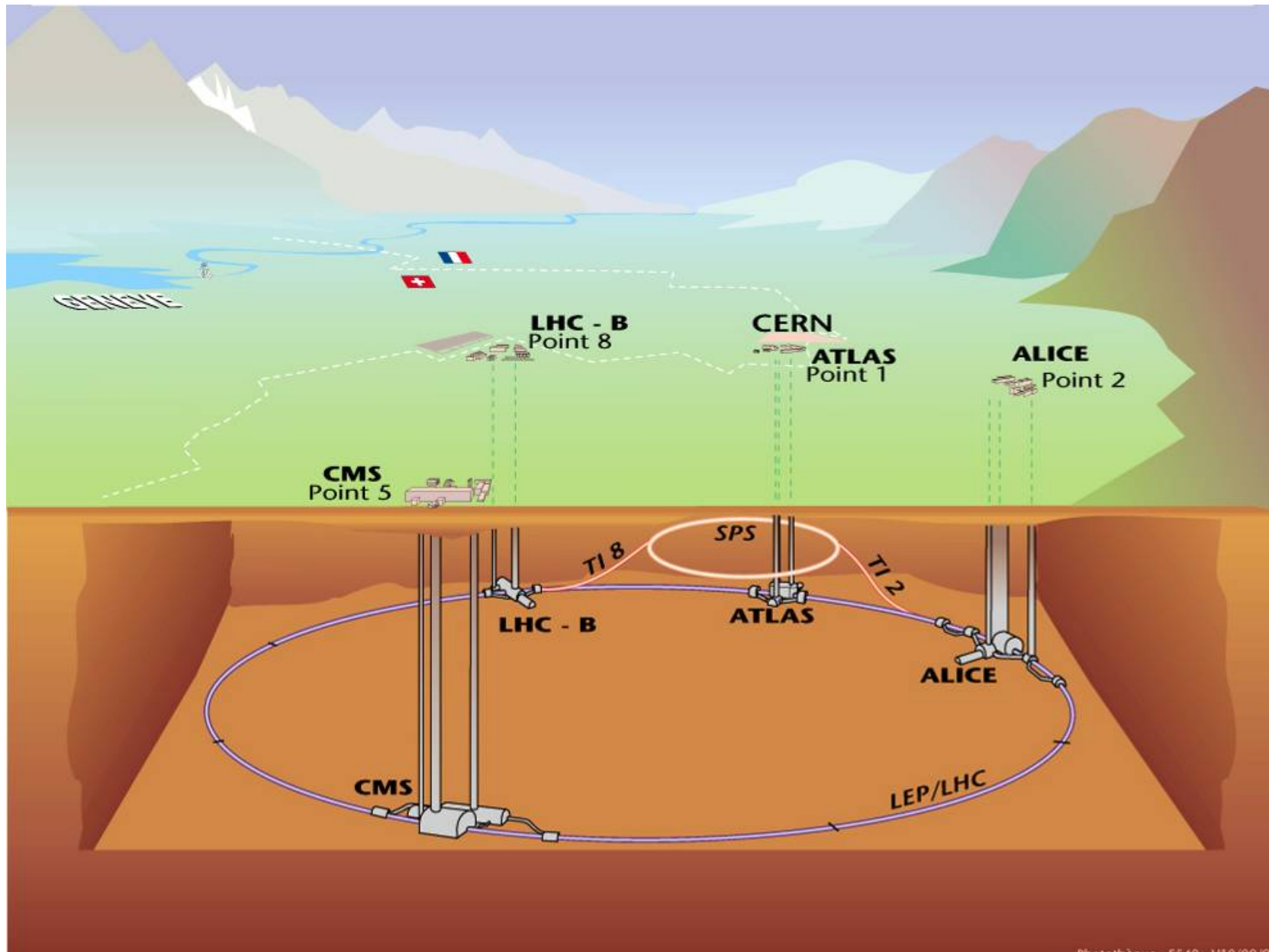
Site de Meyrin (Suisse)

Les paquets de protons sont accélérés, guidés et focalisés tout au long des 27 km grâce à un système complexe d'aimants supraconducteurs.

Au total il y a 6228 aimants supraconducteurs



ATLAS, CMS, LHCb and ALICE quatre expériences pour tenter de répondre aux questions ...



La Construction du LHC



- Somme toute, la construction du LHC a avancé bien, malgré problèmes budgétaires et industriels
- Le premier faisceau a tourné en 2008
- Les Photos montrent des travaux relatifs à la contribution "exceptionnelle" de la France (contrats CEA-CERN-CNRS)
- mais beaucoup d'autres pays, y compris des "non-member states" font de gros efforts

◀ "String 2", section prototype contenant des aimant dipoles supraconducteurs

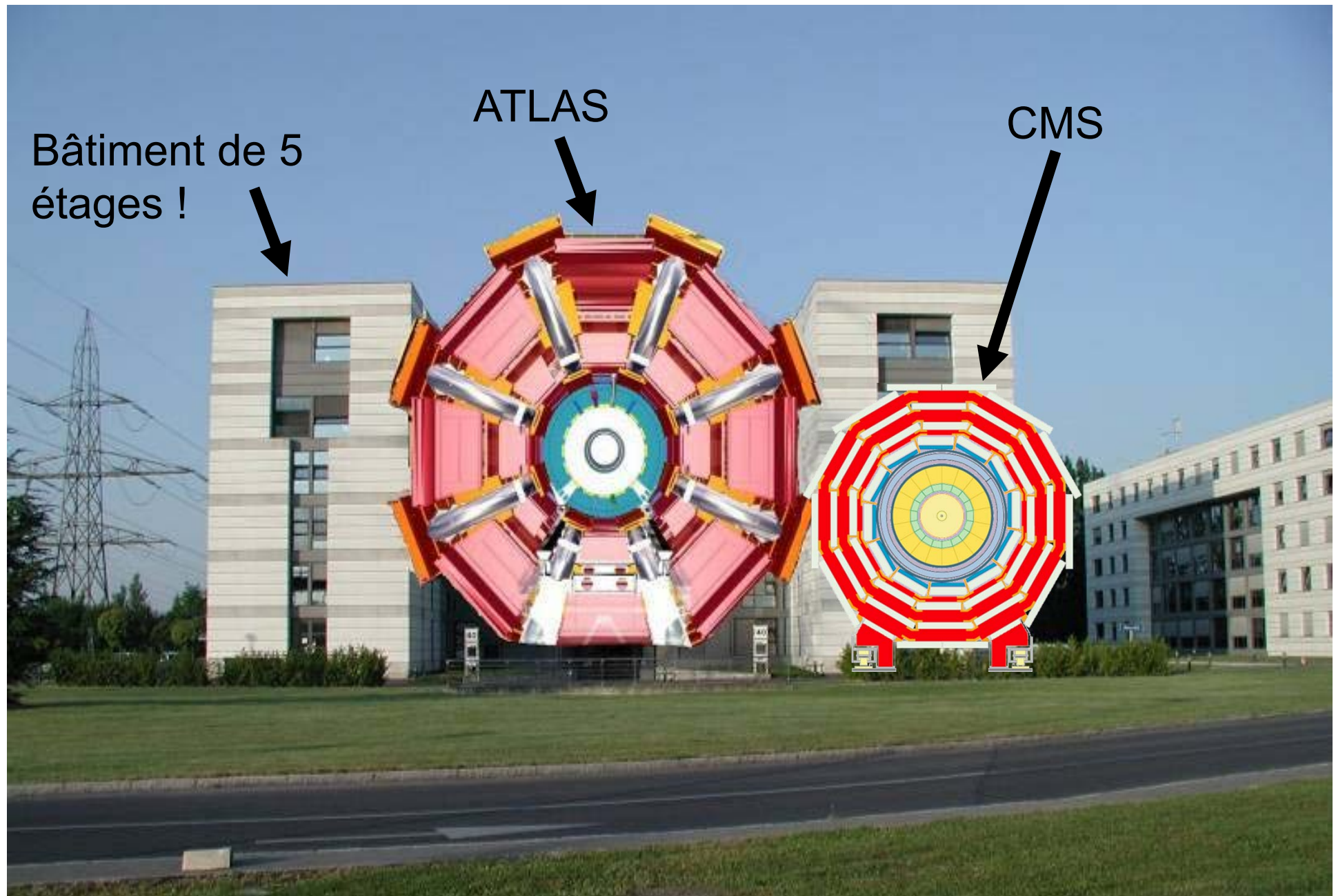


◀ "SSS 3" les Sections Droites Courtes contenant les Qudrupoles supraconducteurs focalisants

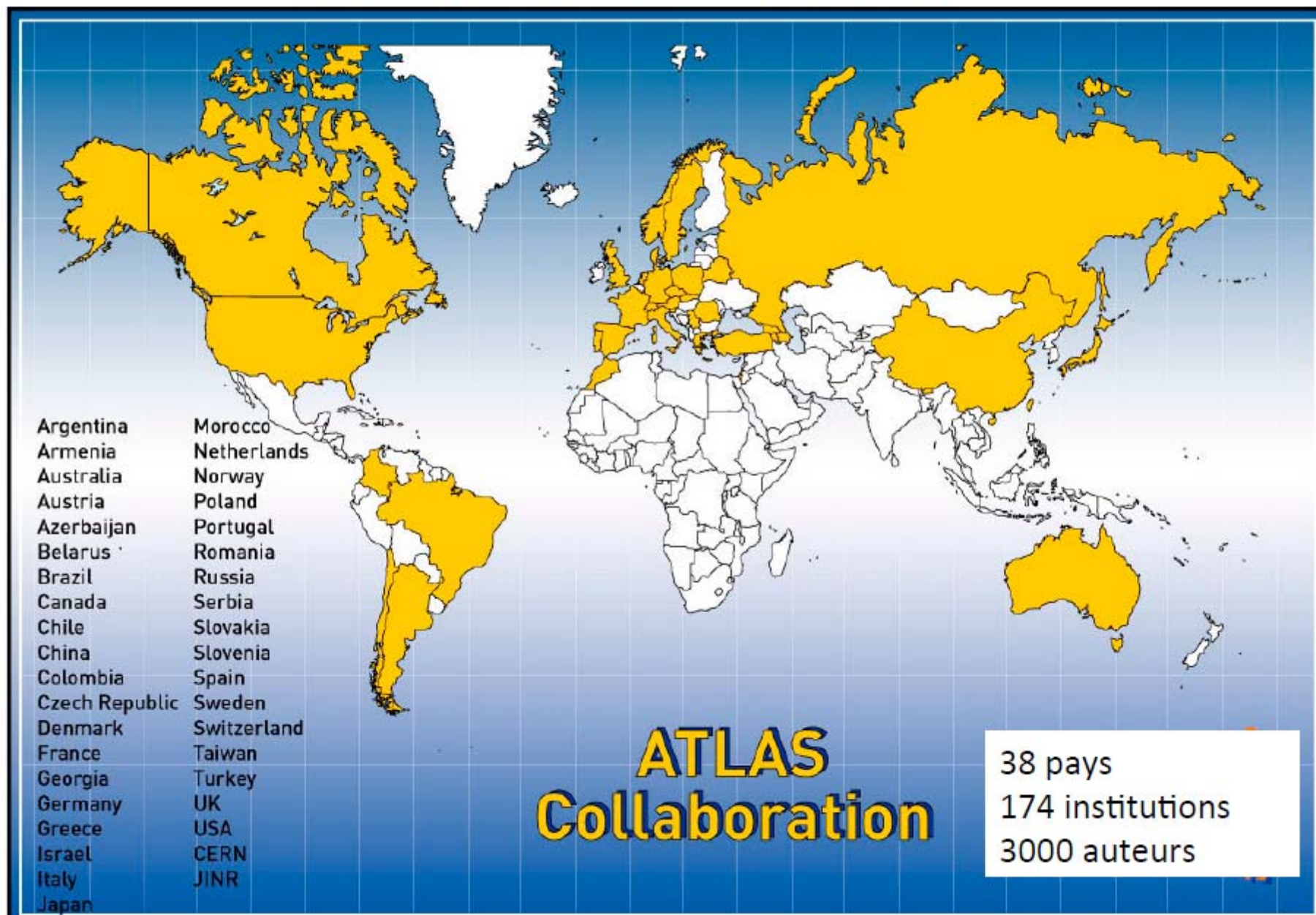
▶ L'usine cryogénique prototype (pompes et compresseurs pour hélium superfluide



ATLAS et CMS : les deux détecteurs géants du LHC

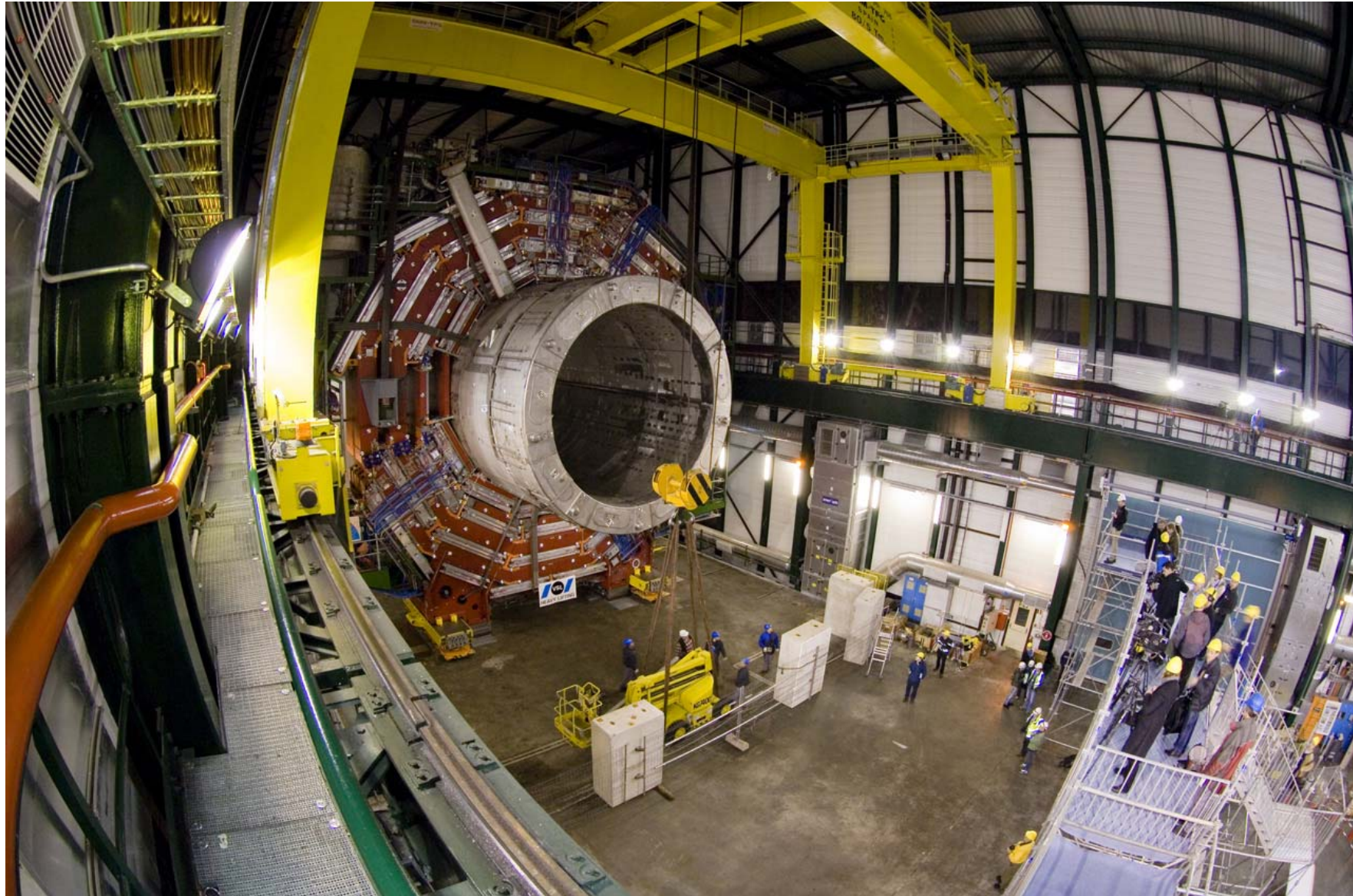


La collaboration Atlas



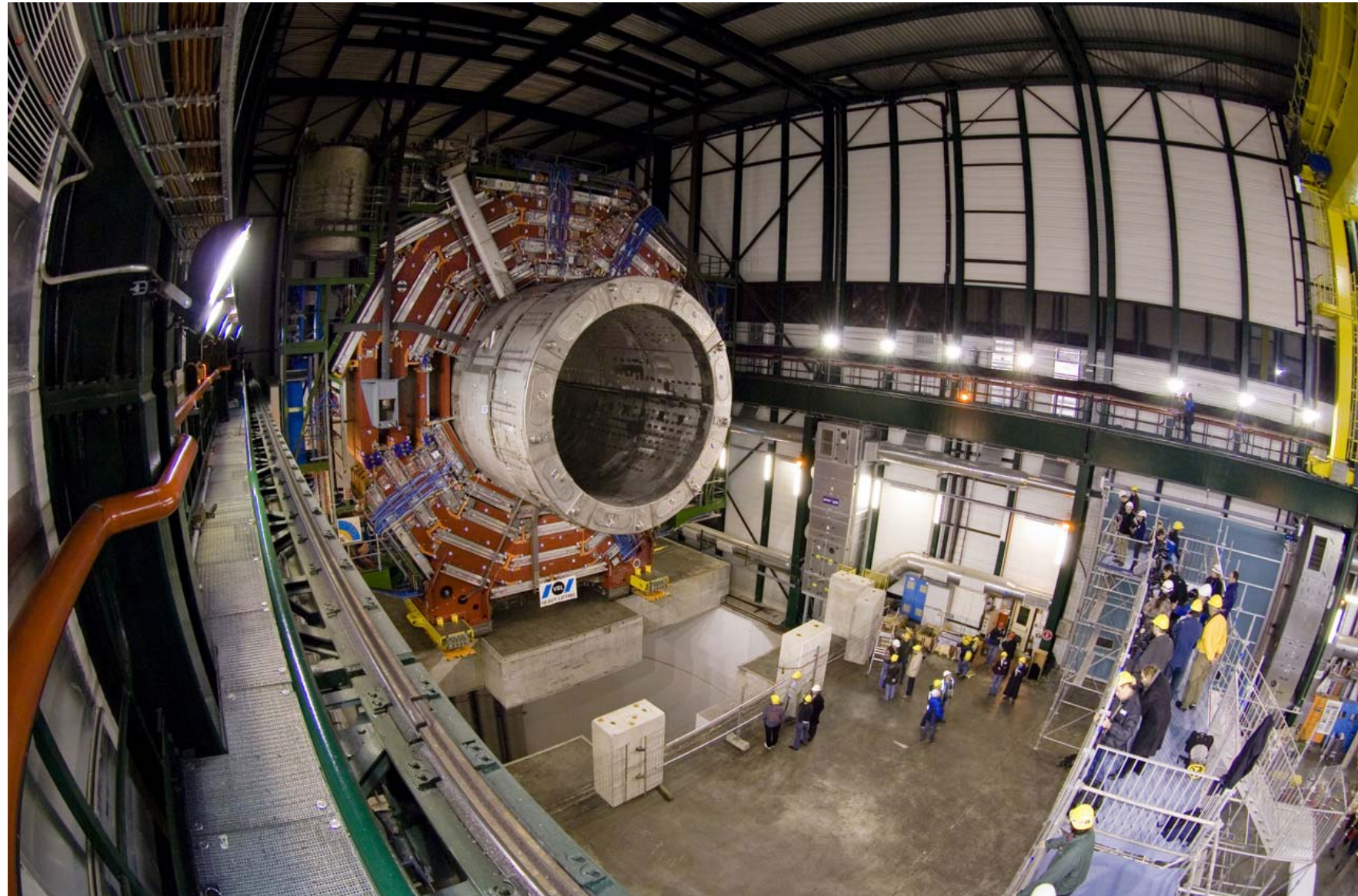


Installazione in caverna



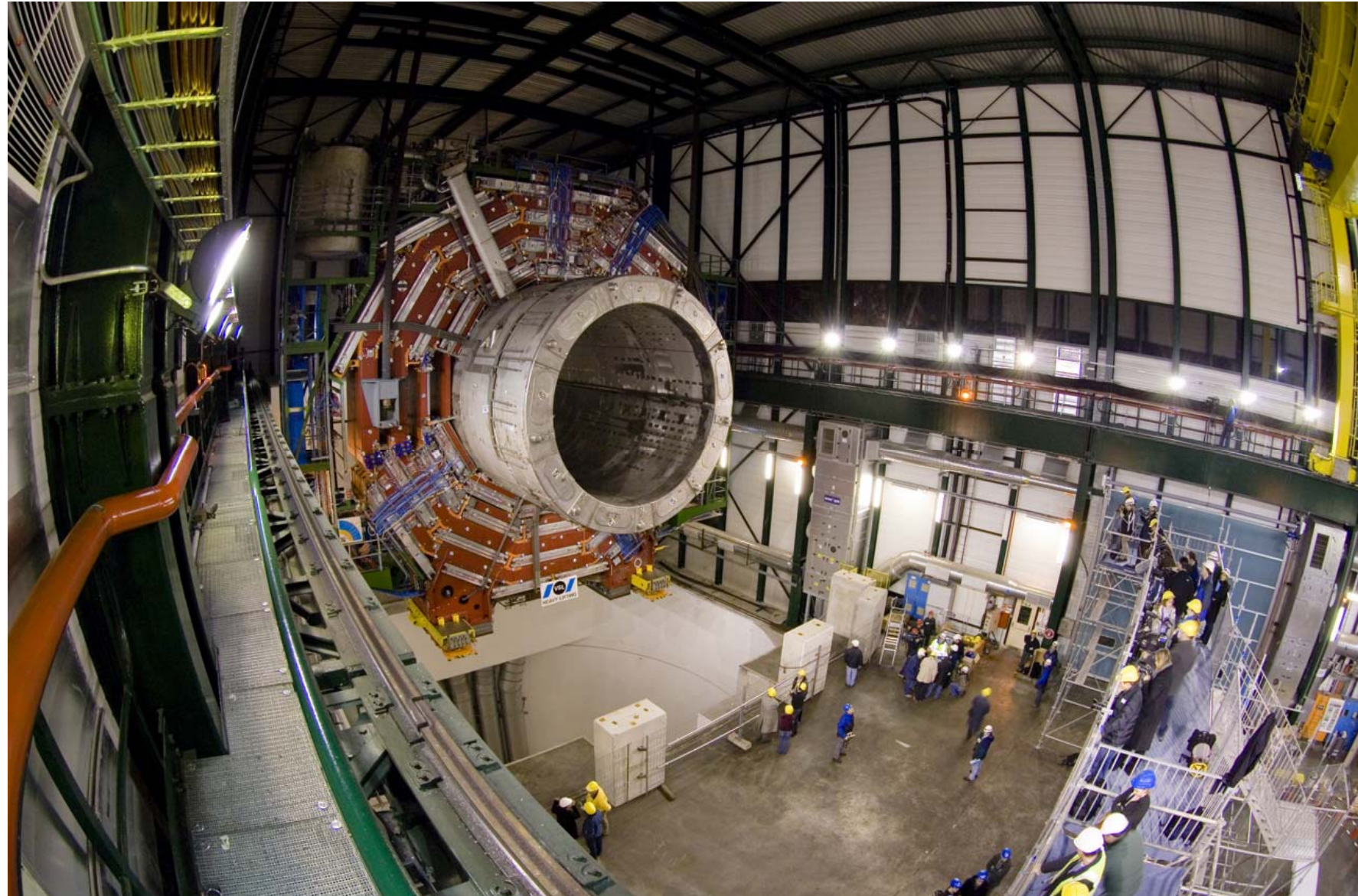


Installazione in caverna





Installazione in caverna





Installazione in caverna





Installazione in caverna





Installazione in caverna





Installazione in caverna





Installazione in caverna



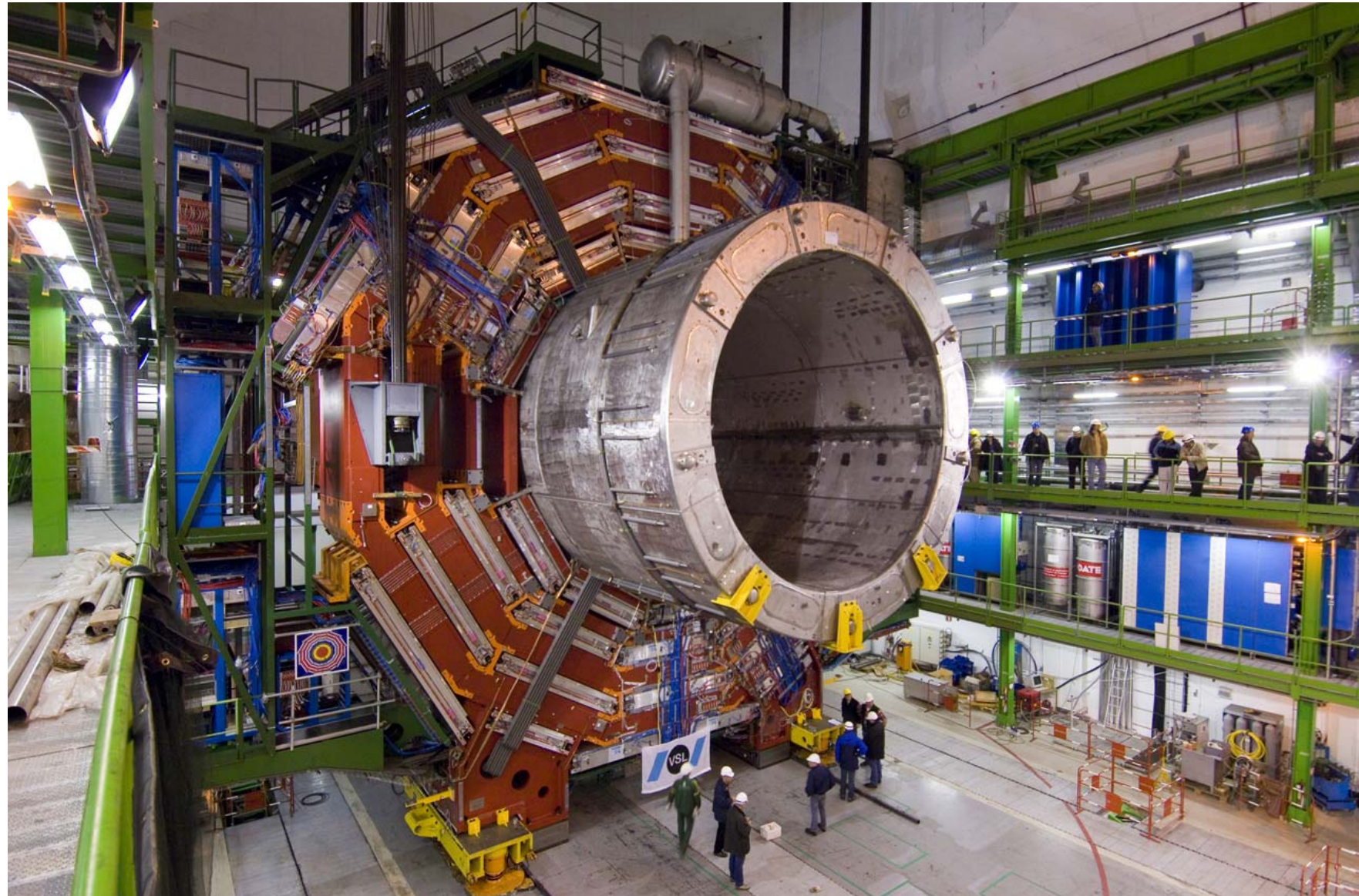


Installazione in caverna

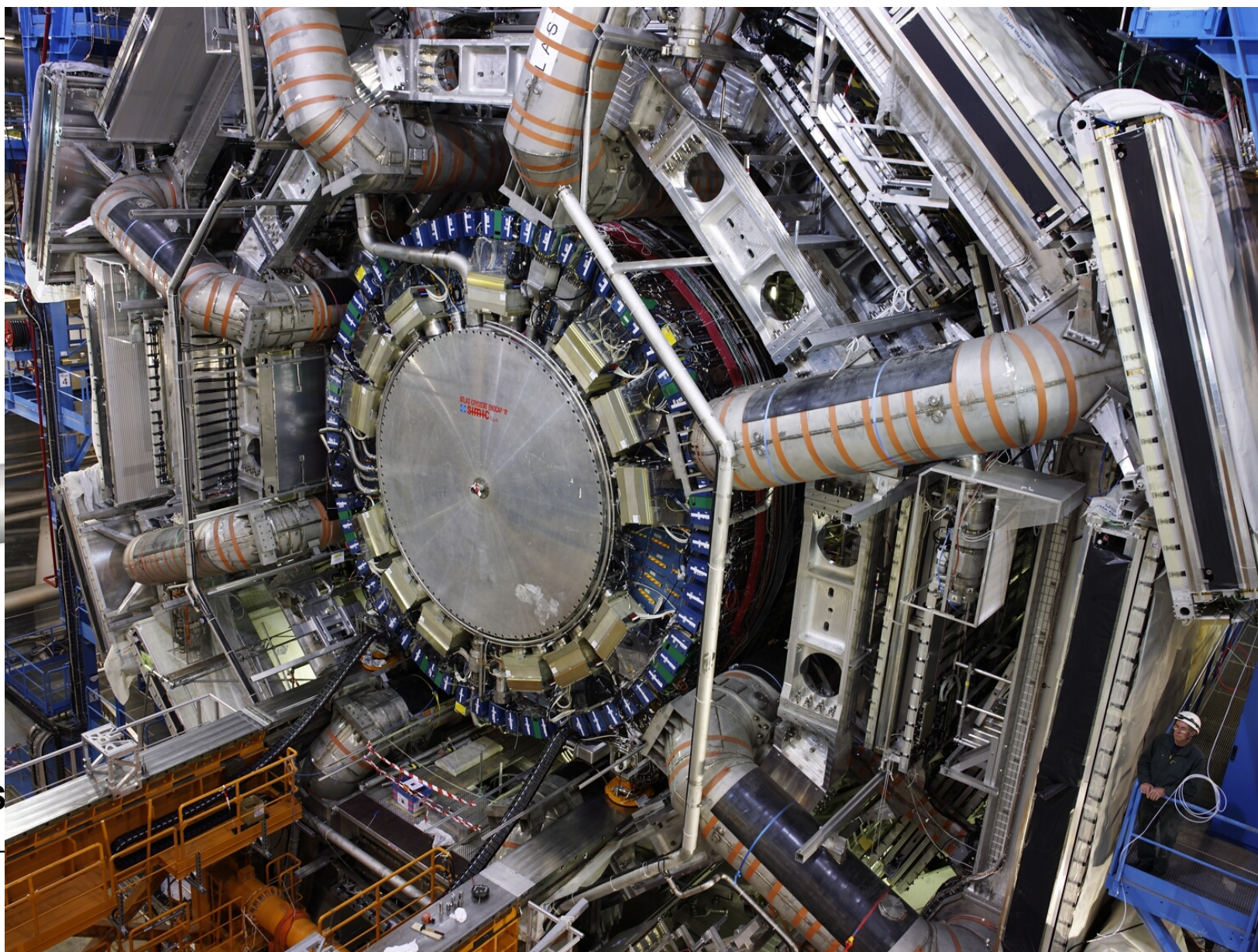




Installazione in caverna



Vue du détecteur ATLAS au LHC



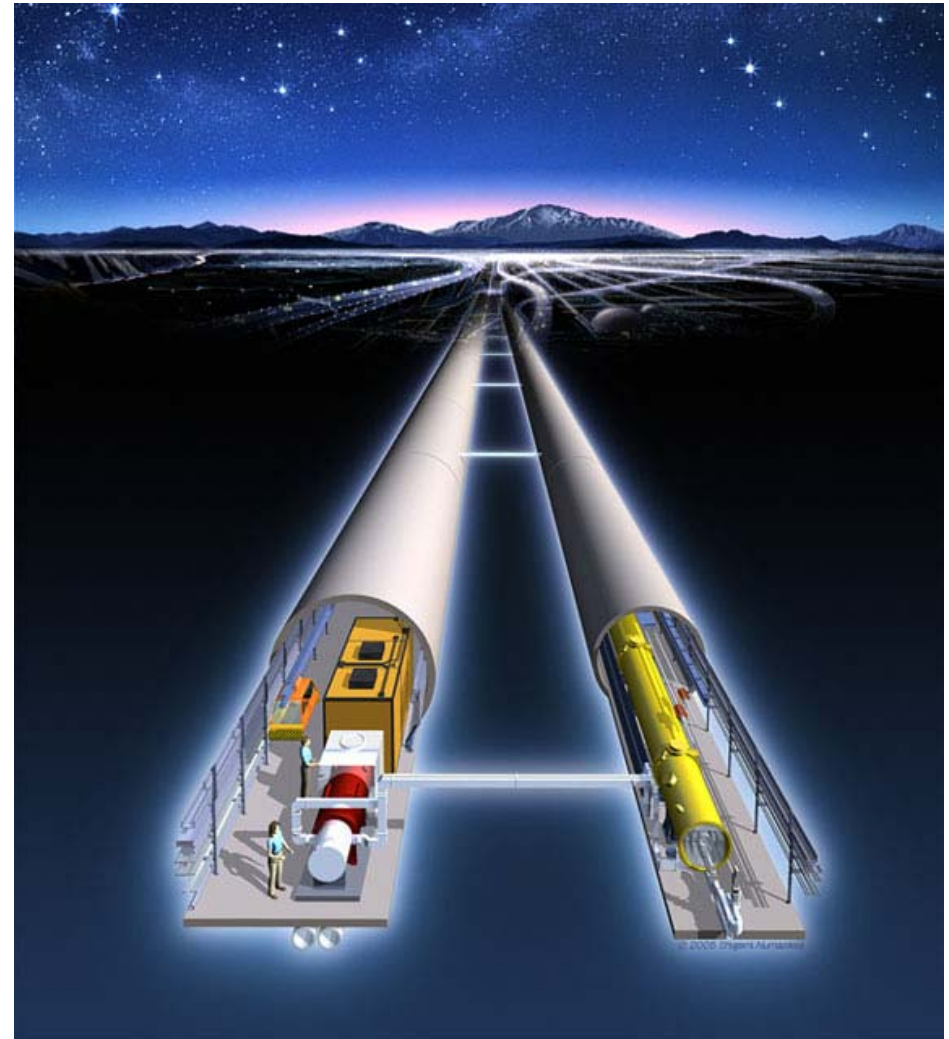
ATLAS



Le projet International **L**inear **C**ollider

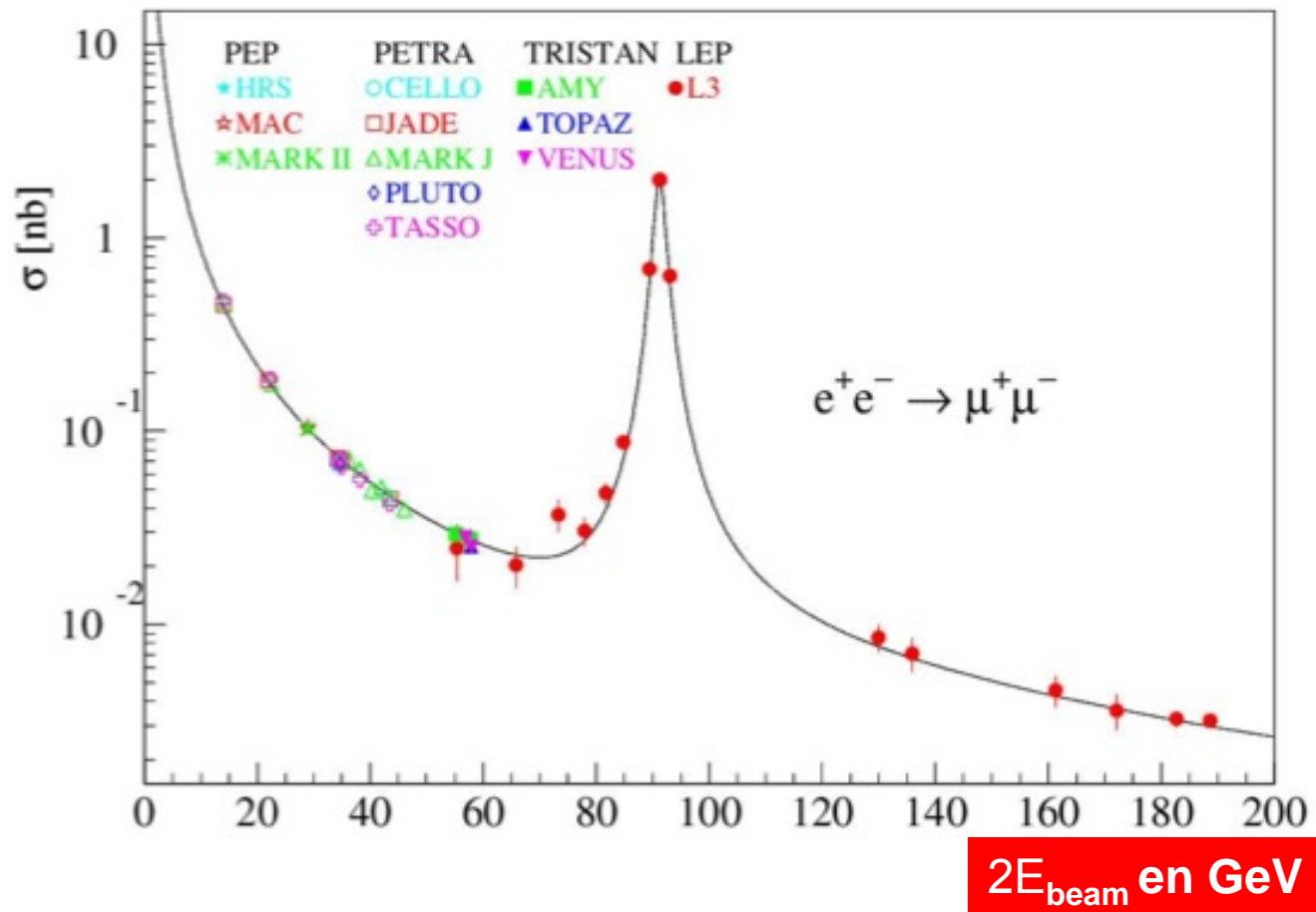
Buts :

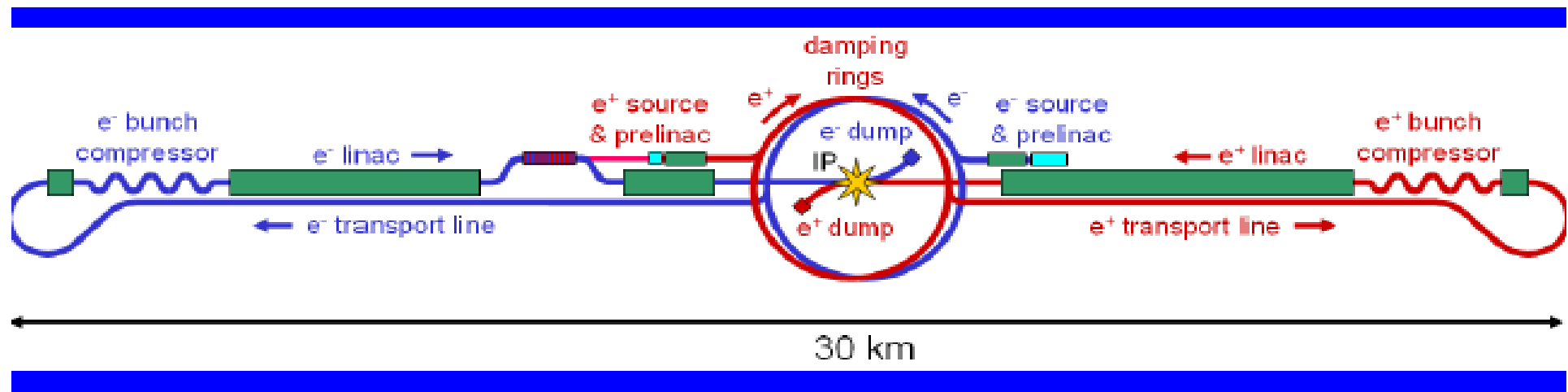
- Machine à Higgs, machine à top
- Mesures de précisions pour essayer de mettre en défaut le modèle standard
- Recherche de nouvelle physique



Le problème avec les hautes énergies :
 La probabilité qu'un électron interagisse avec un positron est en $1/E_{\text{beam}}$!

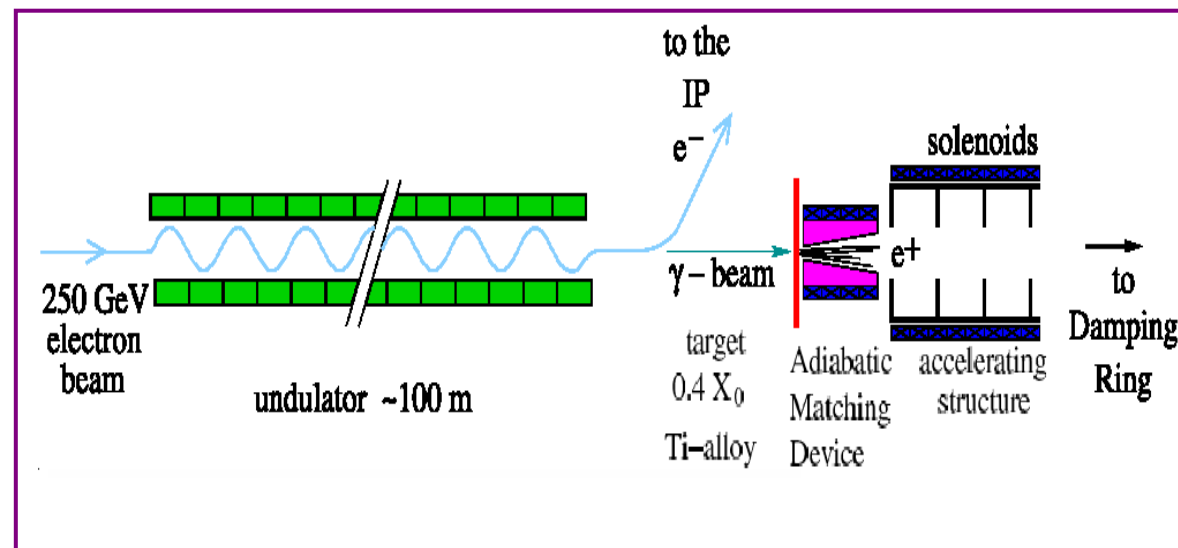
Ex. : $e^+e^- \rightarrow Z \rightarrow \mu^+\mu^-$ à LEP





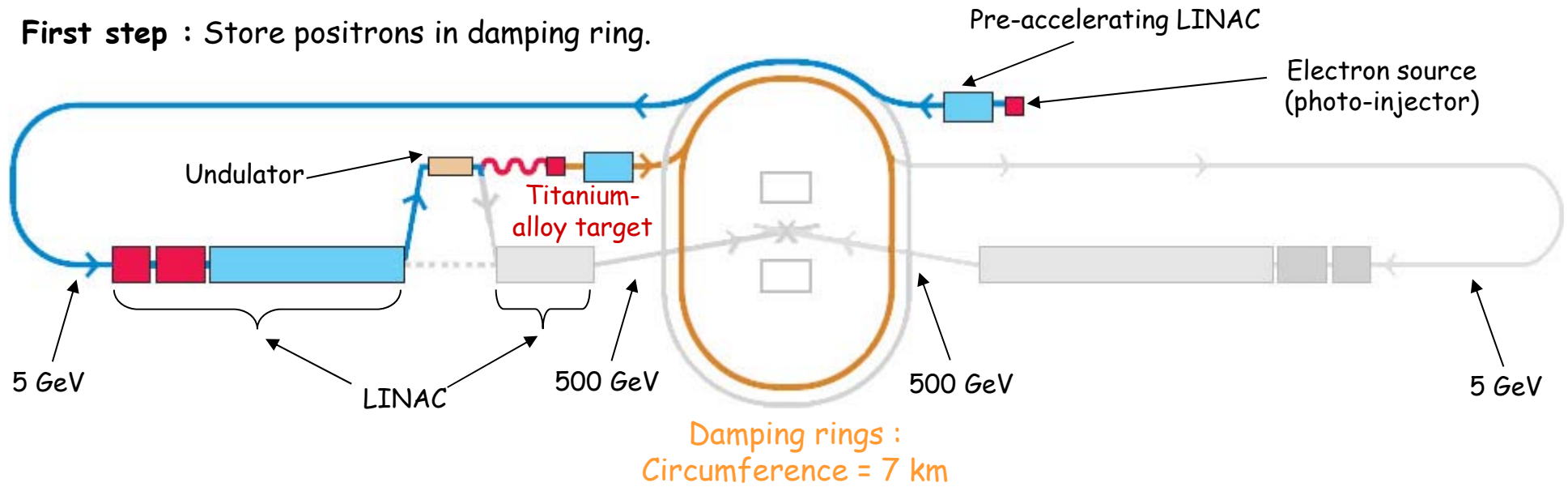
- **Faible émittance**
- **Il faut la garder dans le LINAC de ~15km !**
- **Contrôle micrométrique de la position des éléments du LINAC !**

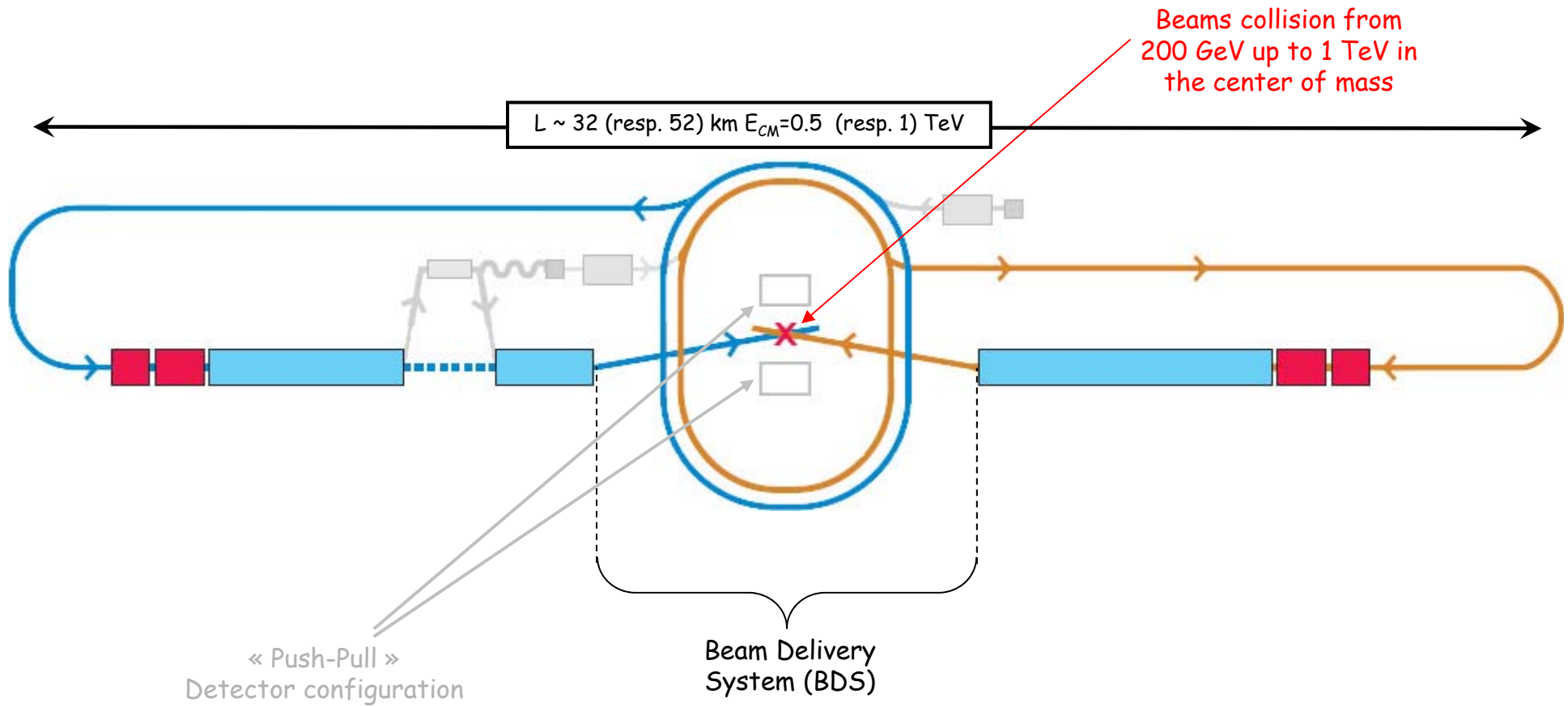
• **Comment faire des positrons polarisés**



Simplify schematic view of the ILC

First step : Store positrons in damping ring.





Comparaison des futurs collisionneurs linéaires et du LEP

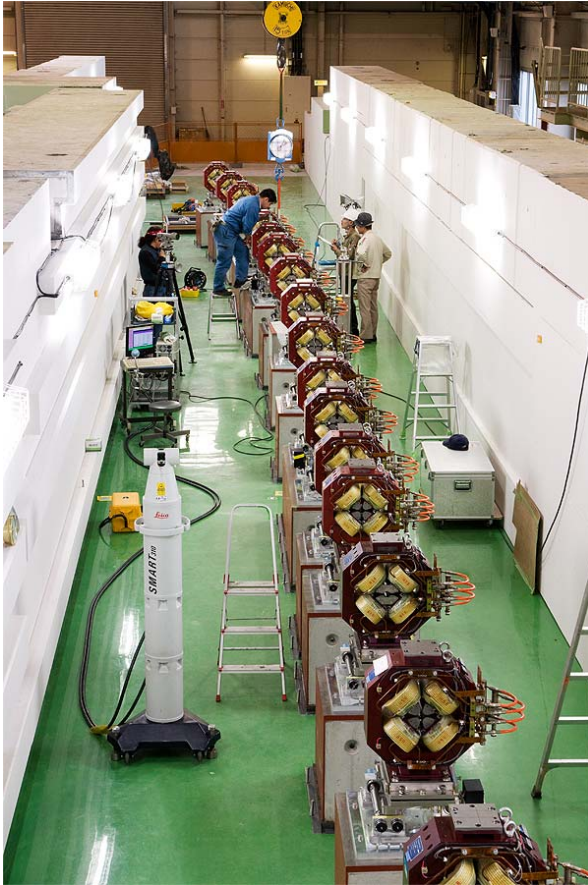
Type	LEP200	ILC500	<i>CLIC500</i>
Vertical beam size in nm	4000	5.7	2.3
Total P MW	65	216	129.4
Luminosity 10**31 (%)	5	1500	1400
Interval between bunches ns	>>>	176	0.5
Gradient MV/m	8	31.5	100

De nombreux enjeux technologiques → R&D accélérateurs nécessaire

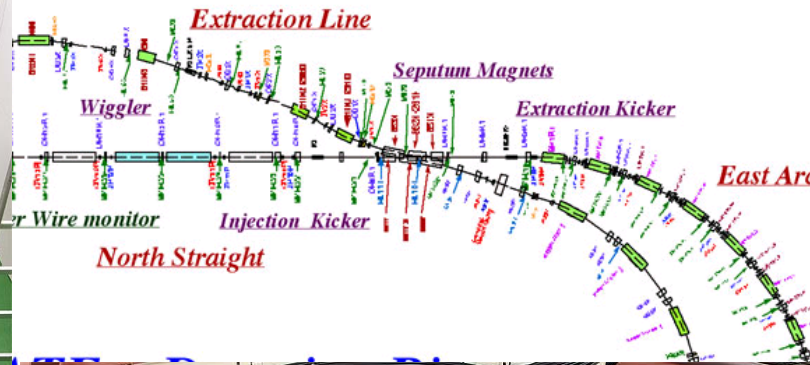
→ Test Facilities (accélérateur dédiés aux développements des nouvelles techno pour l'ILC)

exemples	Deliverable	Date
<i>Optics and stabilisation demonstrations:</i>		
ATF/Japon	Generation of 1 pm-rad low emittance beam	2009
ATF-2	Demo. of compact Final Focus optics (design demagnification, resulting in a nominal 35 nm beam size at focal point).	2010
	Stabilisation of 35 nm beam over various time scales.	2012
<i>Linac high-gradient operation and system demonstrations:</i>		
TTF/FLASH	Full 9 mA, 1 GeV, high-repetition rate operation	2009
STF/Japon & ILCTA- NML	Cavity-string test within one cryomodule (S1 and S1-global)	2010
	Cryomodule-string test with one RF Unit with beam (S2)	2012

Storage Test Facility (ATF) à KEK



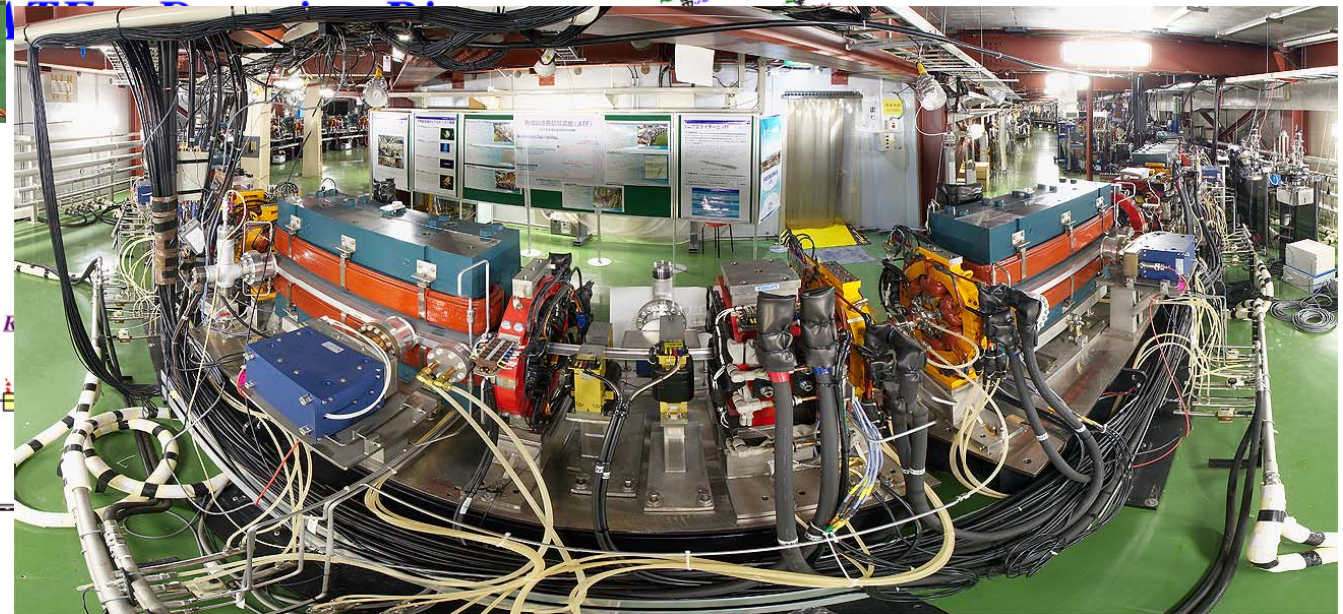
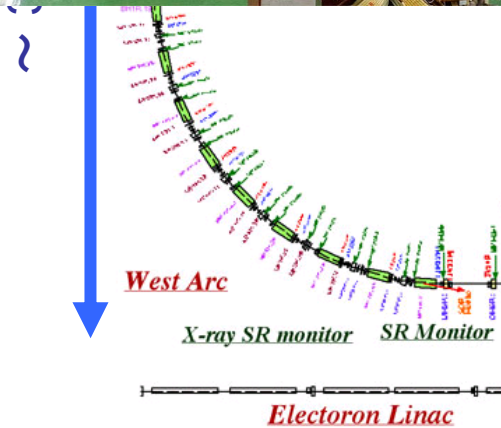
~ 54 m



Beam Energy

→ 1.28GeV

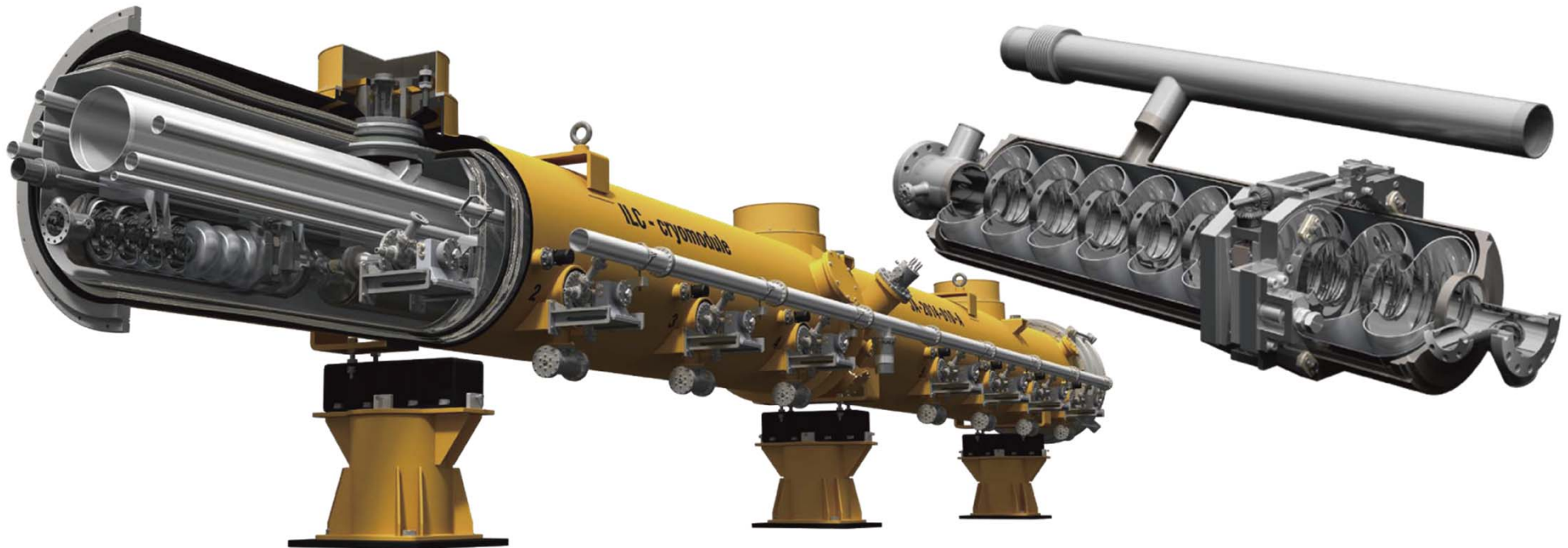
Beam Size



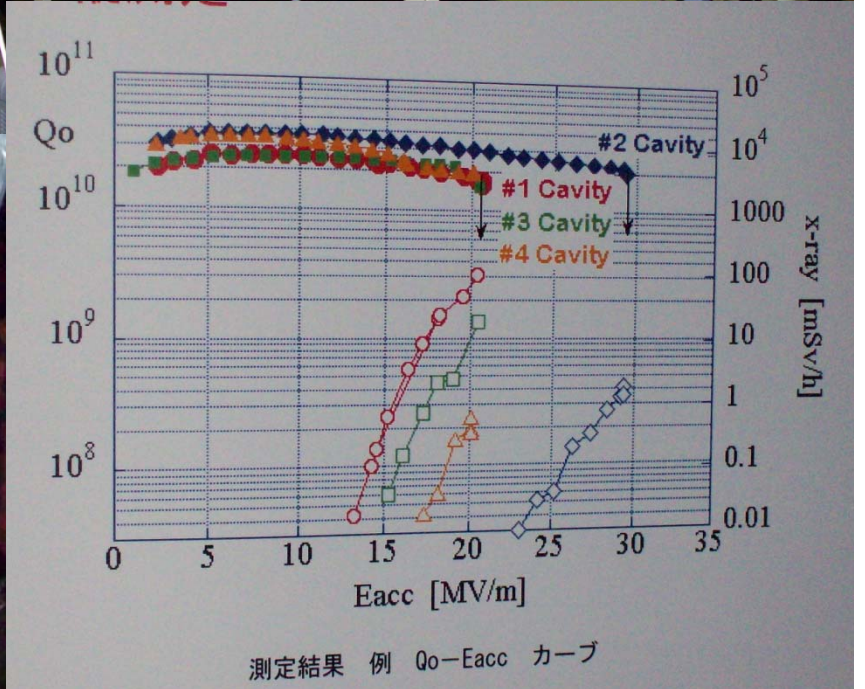
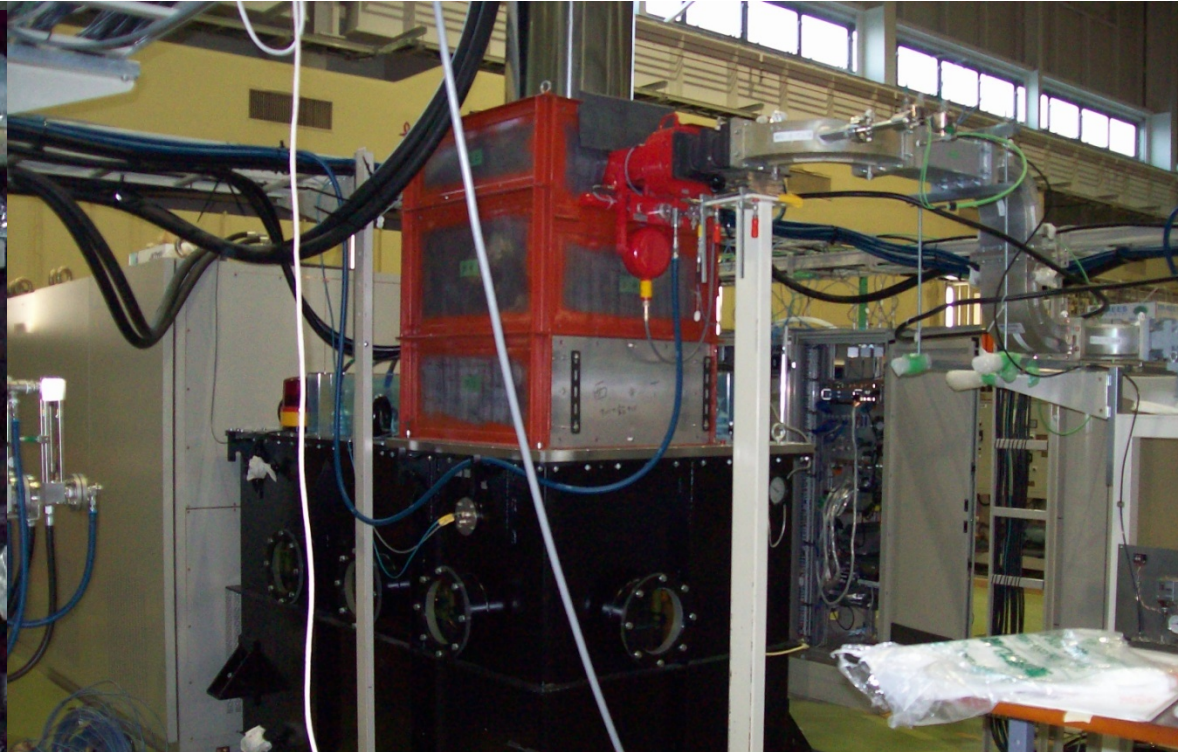
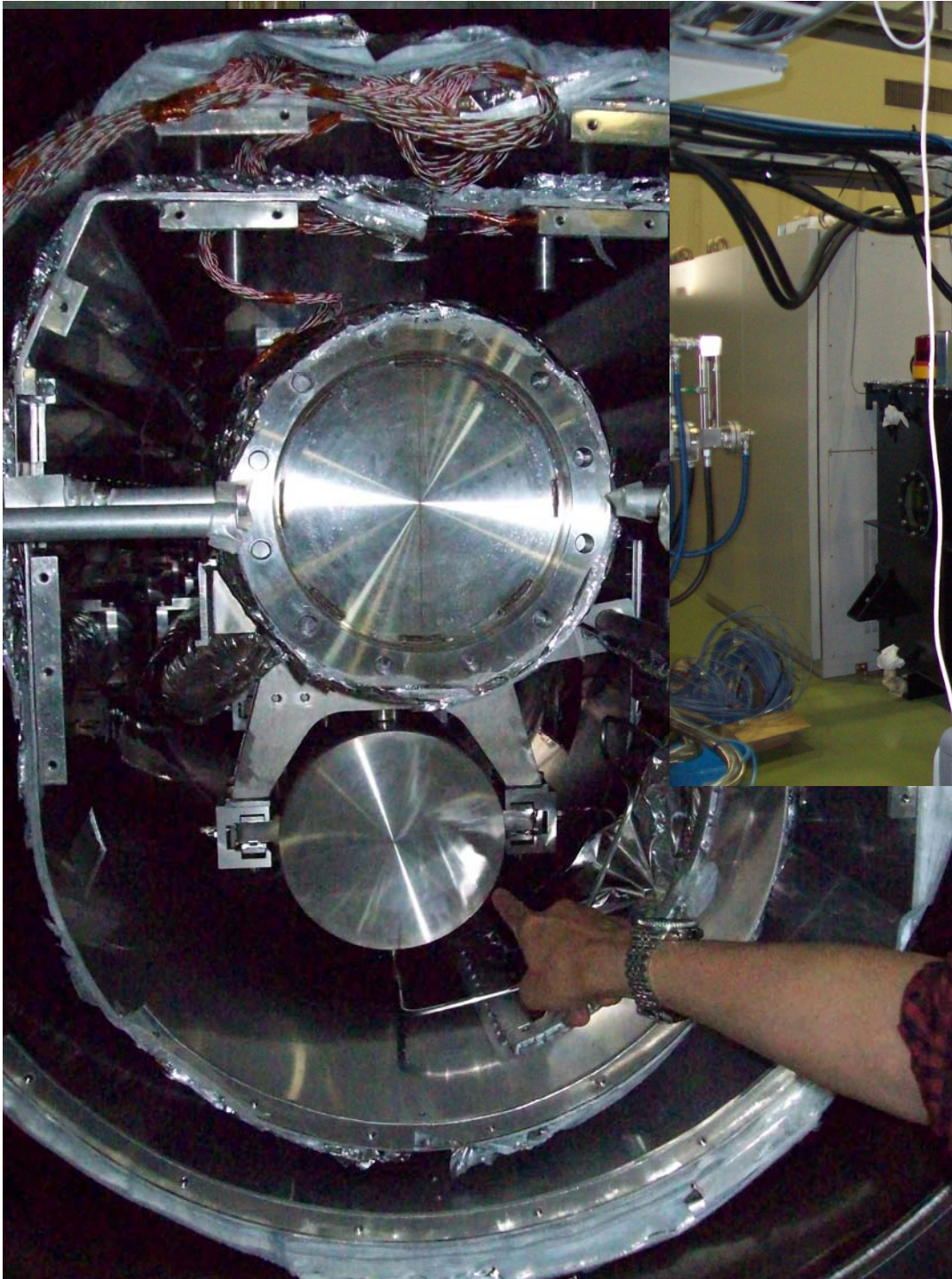
(H. Shimizu)

STF : ILC Cryostats and Cavities for Main linacs

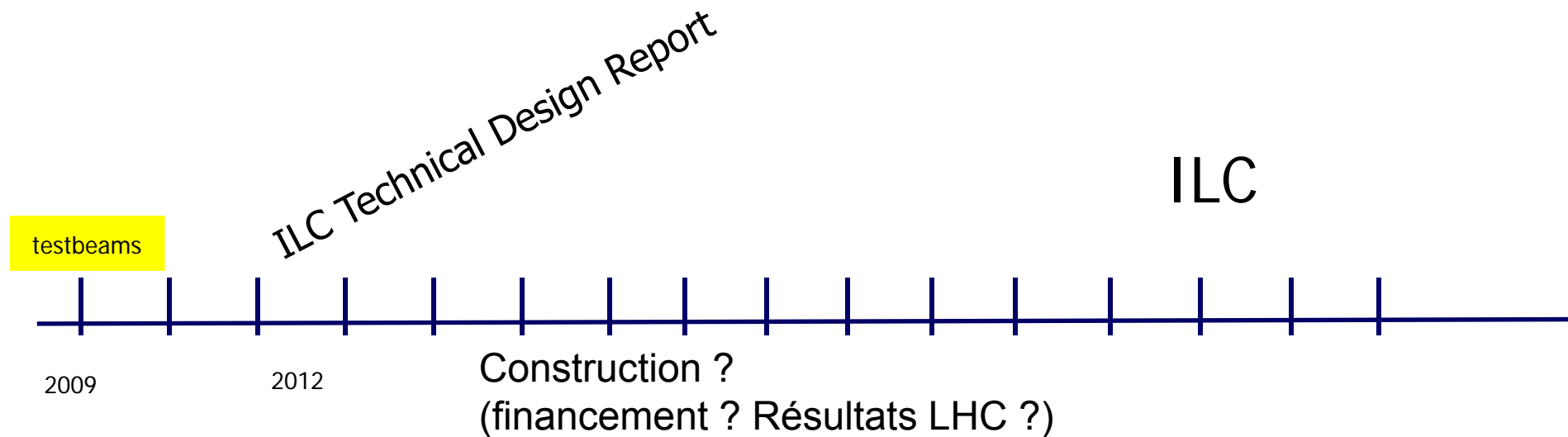
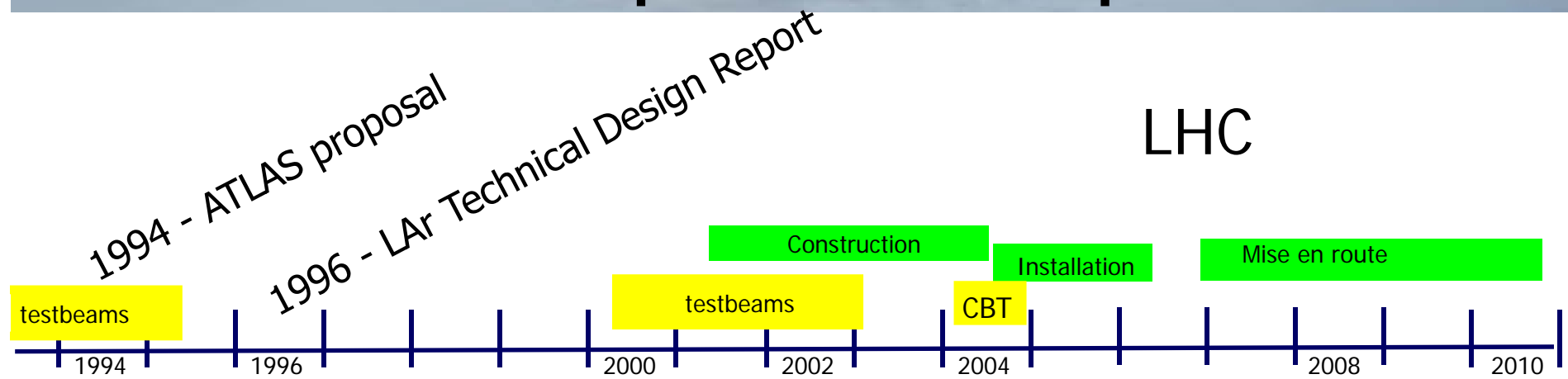
- 1 cryomodule contains 9 neodymium cavities ($E_{\text{acc}} = 31.5\text{MV/m}$ on average, each having a length $\sim 1\text{m}$)



- Total ~ 1700 cryostats, ~ 16000 cavities.
- 3 cryostats to be driven by one 10MW L-band klystron
- Total 560 RF units in e+/e- main linacs



De la conception à l'exploitation



III. Utilisation de l'interaction Laser-électron

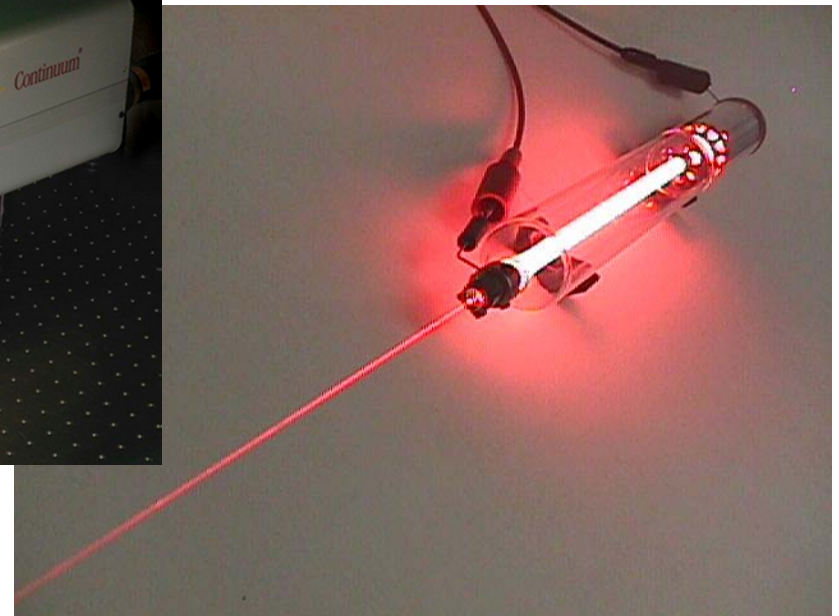
- ✓ Introduction : faisceau laser
- ✓ Les processus d'interaction laser-électrons
- ✓ La diffusion faisceau d'électron + faisceau laser
 - ✓ Les applications à basse énergie
 - ✓ Les applications à moyenne énergie

Le laser et les ondes électromagnétiques

→ faisceaux lumineux peu divergent qui se propagent 'autour' d'un axe



laser pulsé



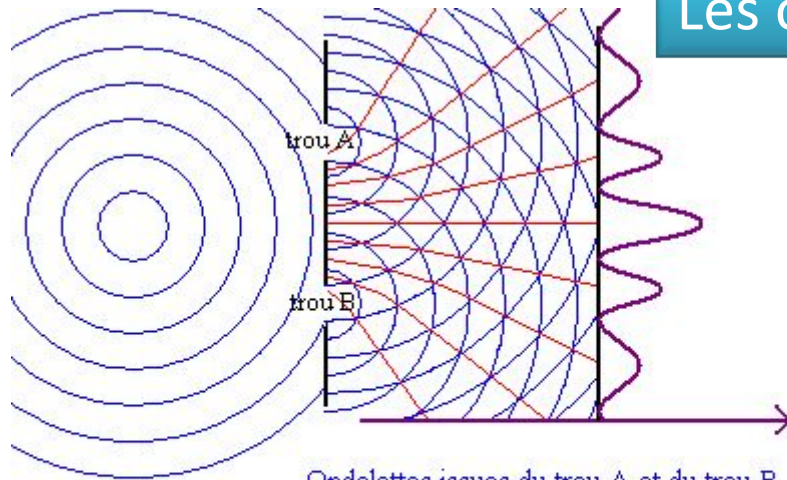
Laser continu




Qu'est ce qu'une onde: les ondes à la surface de l'eau



'Diffraction par un trou'

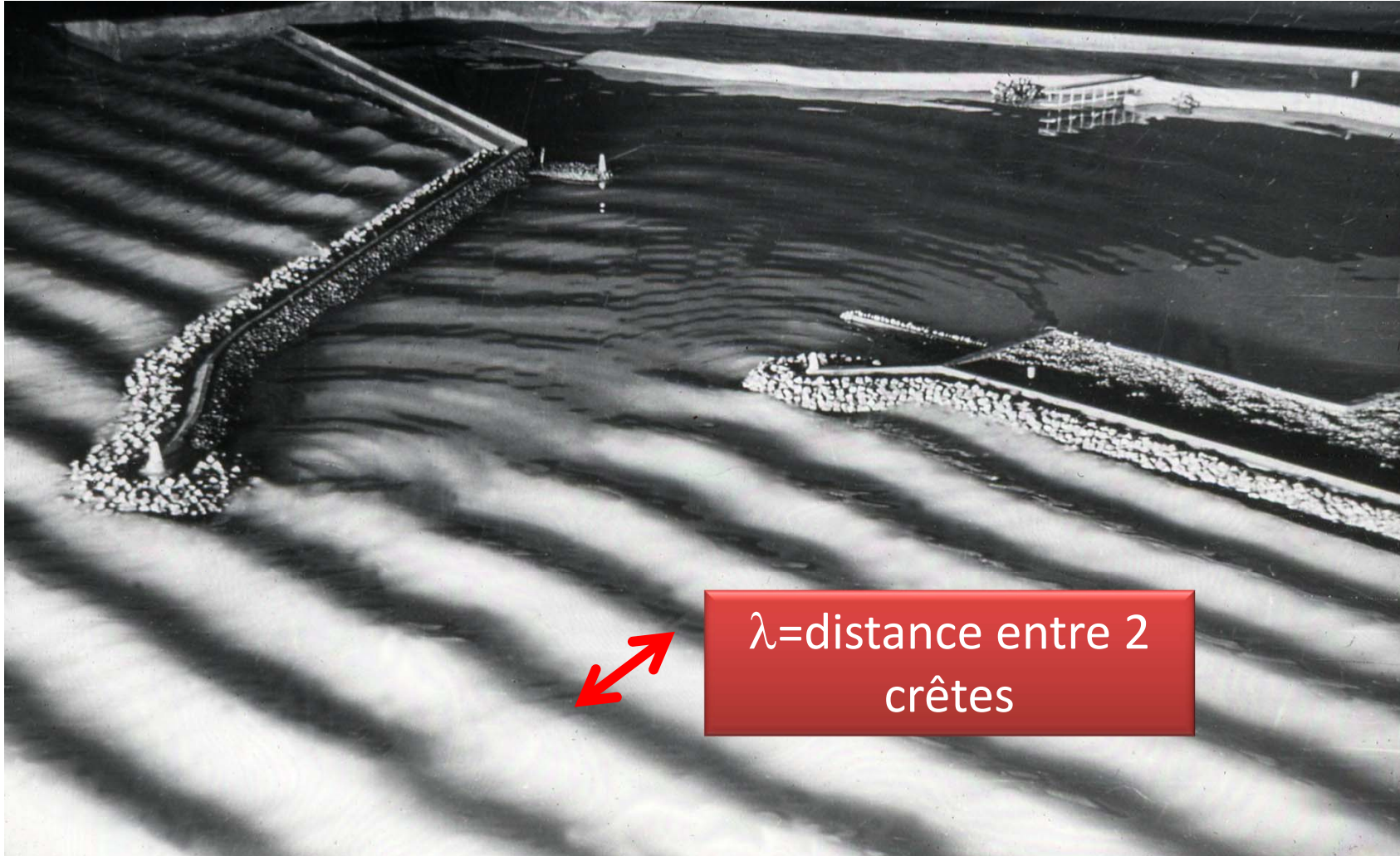
Les ondes 'interfèrent'



-  Ondelettes issues du trou A et du trou B entre la plaque et le détecteur
-  Figure d'interférence
-  Courbe donnant l'amplitude des interférences au niveau du détecteur

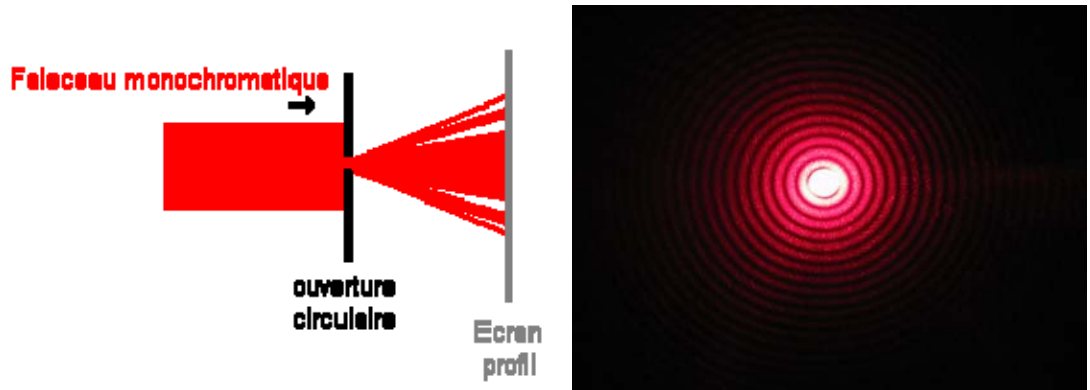


Longueur d'onde = λ



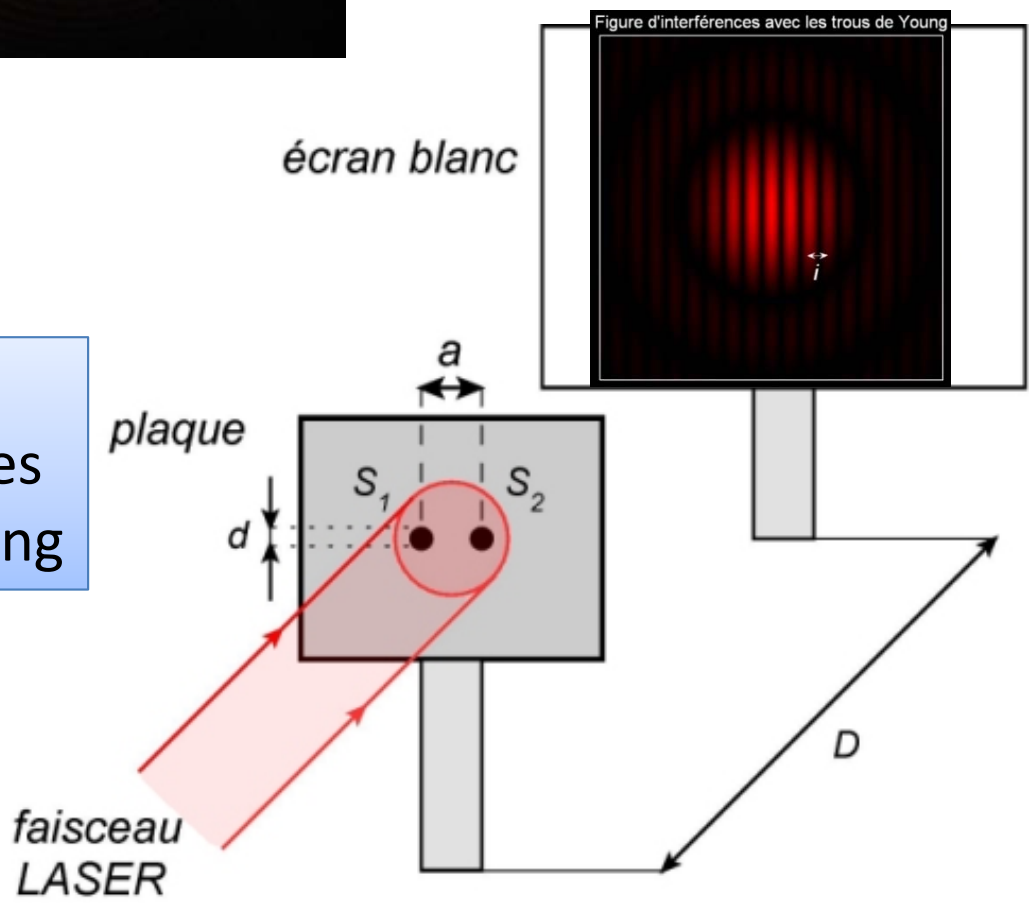
λ =distance entre 2 crêtes

Le faisceau laser est une onde 'electromagnétique' qui se propage dans le vide ...



'Diffraction par un trou'

Interférences
Expérience des fentes de Young



Rayonnement des ondes électromagnétiques

Une charge + et une charge - qui oscillent → rayonnement une onde elm

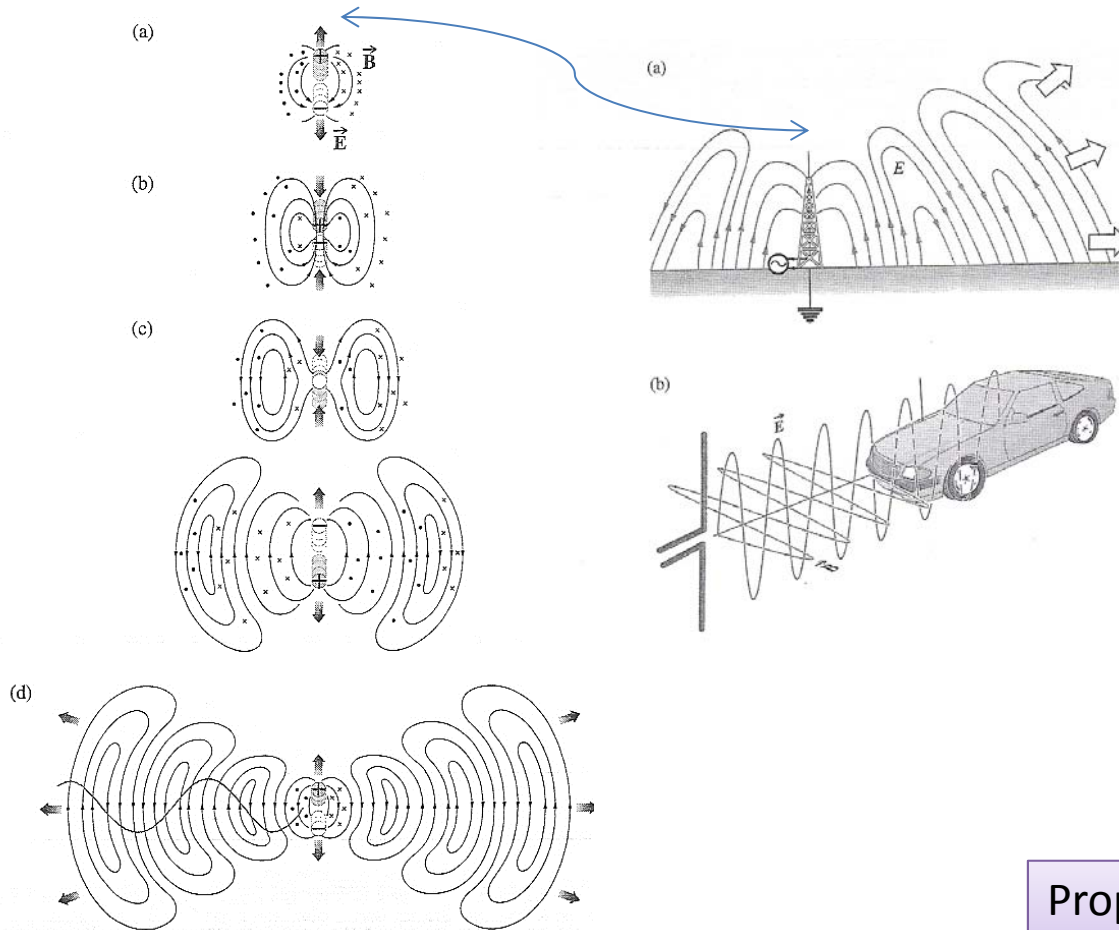
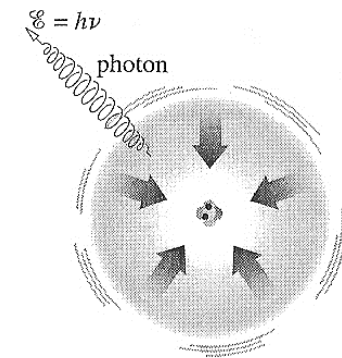


Figure 3.32 The \vec{E} -field of an oscillating electric dipole.

Désexcitation d'un atome



(c) De-excitation with emission of a photon

Propagation décrite par les équations de Maxwell

L'onde est décrite par un 'Champ Électromagnétique'

Champ électrique oscillant

$$\vec{E}(\vec{r};t) = \vec{E}_0 \cos(2\pi\nu t - \vec{k} \cdot \vec{r})$$

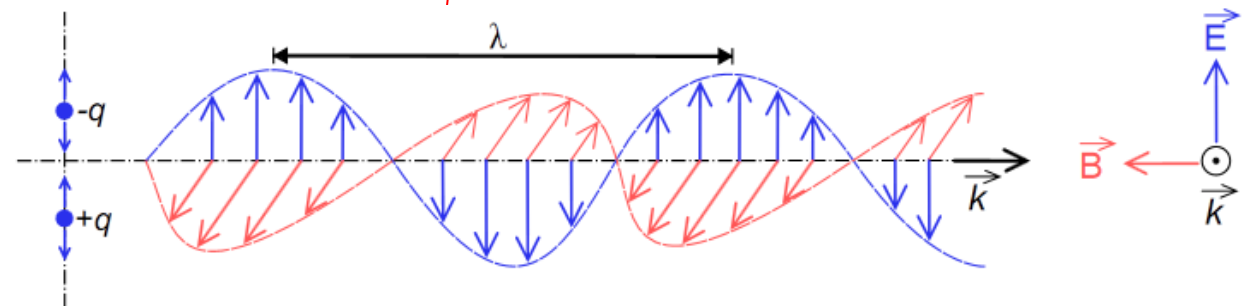
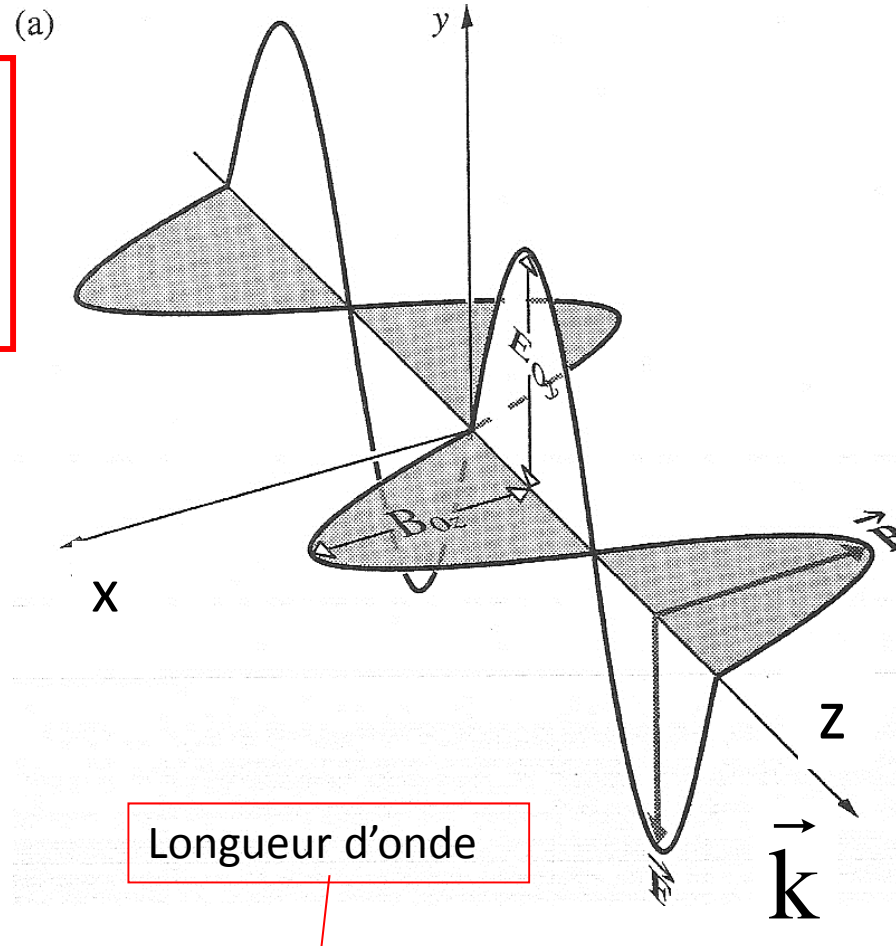
et

Champ magnétique oscillant

B : perpendiculaire à E dans le vide
et les milieux isotropes

Longueur d'onde λ

Fréquence $\nu = c/\lambda$

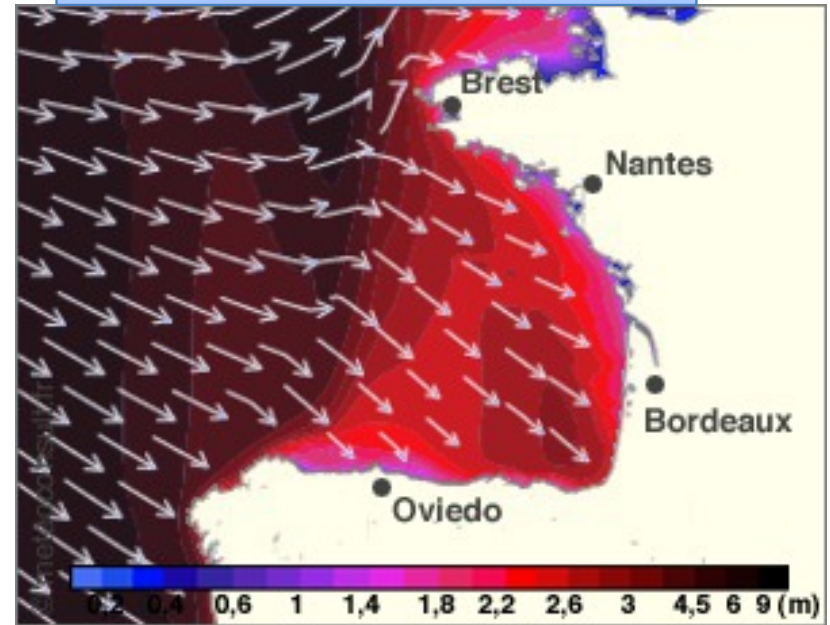


Le champ électromagnétique est 'vectoriel' : champs E et B

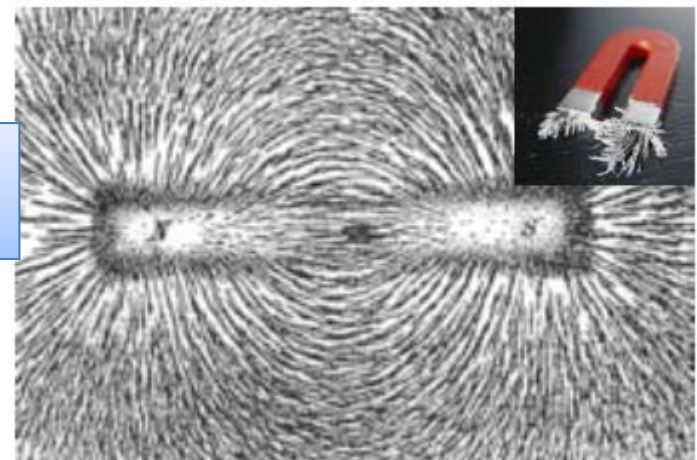
Exemple de 'champ scalaire' :
Le champ de pression atmosphérique



Exemple de 'champ vectoriel' :
Le champ de vitesse du vent

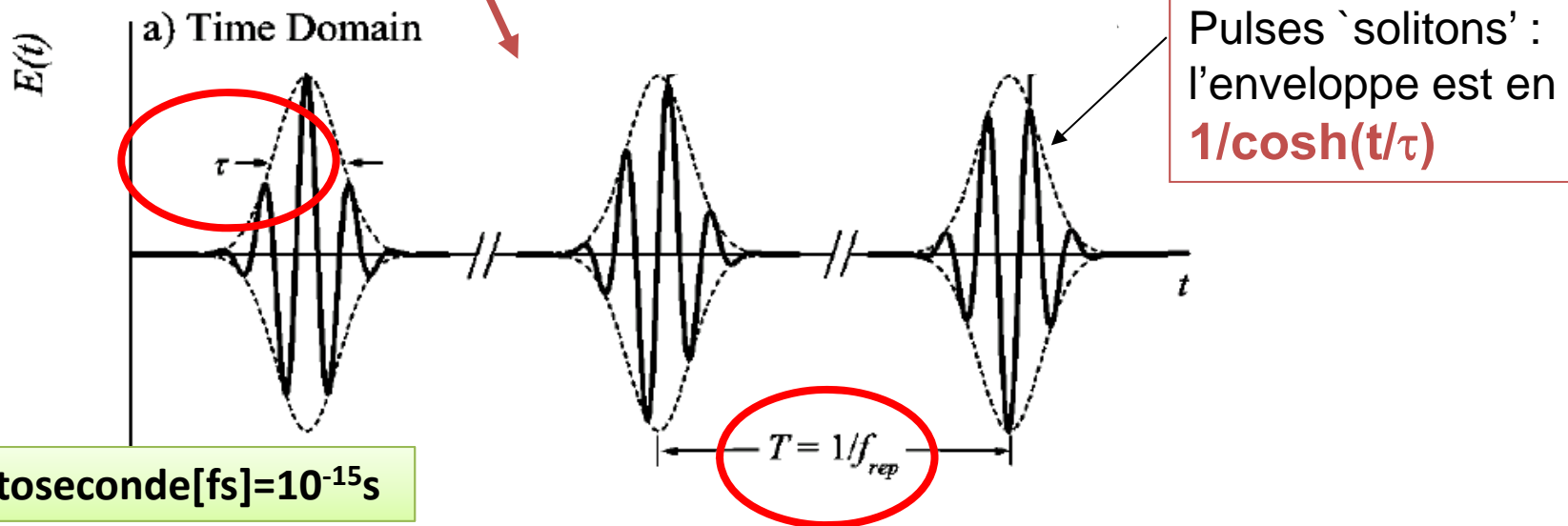


Exemple de 'champ vectoriel' :
Le champ magnétique statique



Faisceaux laser à impulsion

En un point z , on perçoit un champ électrique oscillant durant un temps très bref $\sim \tau$
C'est un 'cosinus' multiplié par une 'enveloppe'



E = énergie par pulse (en Joule)

$P_{moyenne} = E/T$ (en Watts)

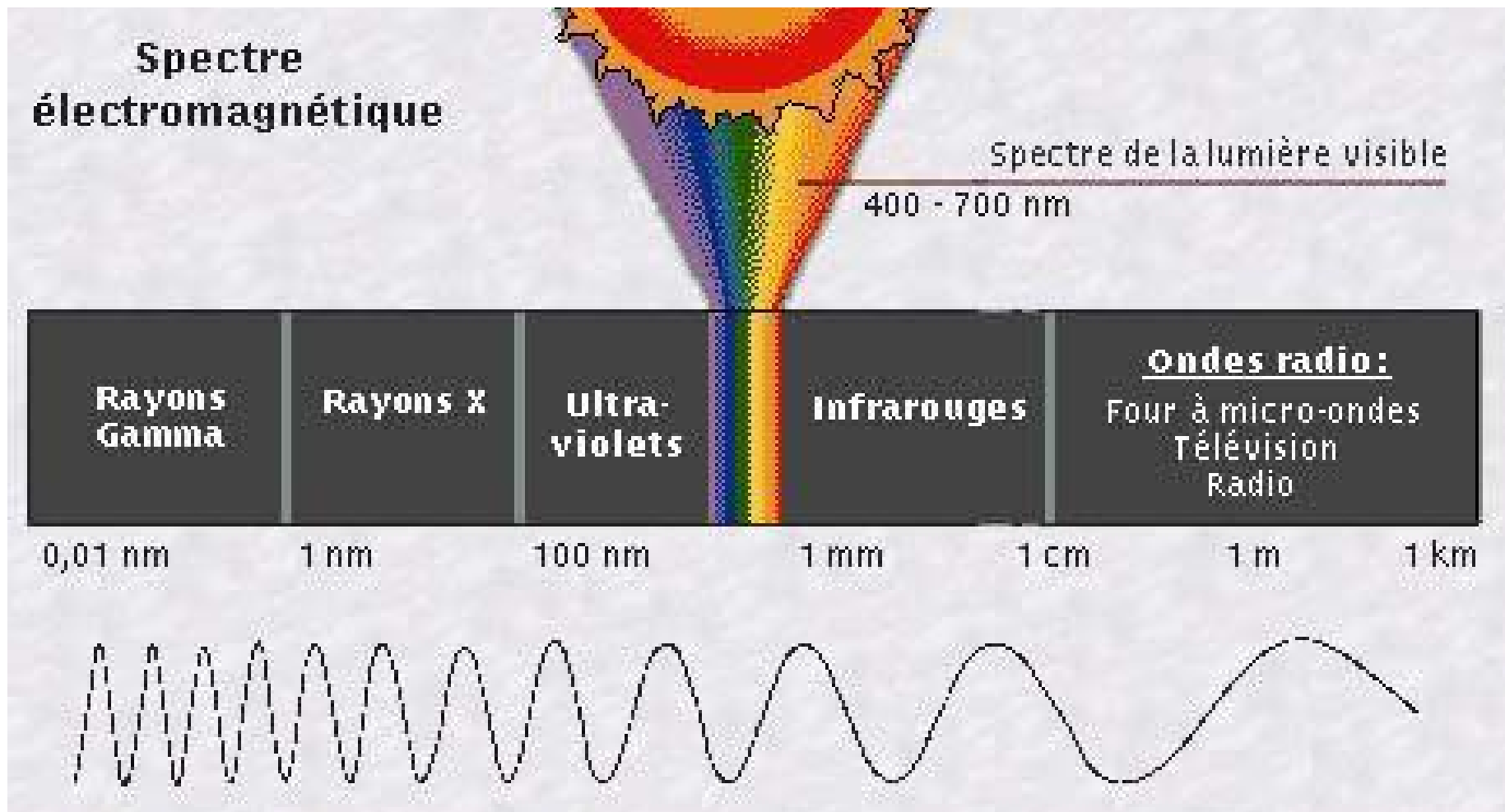
$P_{crête} = E/\tau$ (en Watts)

Ex. : YAG, $\lambda = 1\mu\text{m}$, $E = 3\text{J/pulse}$, $f_{rep} = 10\text{ Hz}$, $\tau = 30\text{fs}$

$P_{moyenne} = 30\text{W}$

$P_{crête} = 10^{14}\text{W} = 100\text{TéraWatts} = 0.1\text{PétaWatts} !!!$

L'intensité crête = $P_{crête} /$ ('surface' du faisceau)



----->

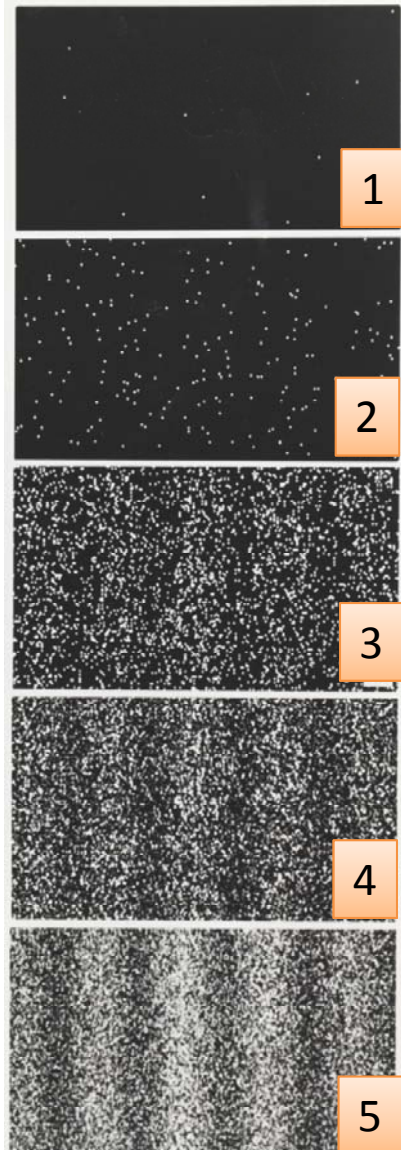
λ Longueur d'onde de l'onde elm

Mais une faisceau de lumière est aussi un ensemble de particules de lumière:
des photons d'énergie $E=h\nu=hc/\lambda$ ($E\sim 1\text{ev}$ pour $\lambda=1\mu\text{m}$)

Le nombre de photons dans un pulse laser = $E_{\text{crête}}/h\nu$

Si les fentes de Young sont éclairées par une onde lumineuse de 'très très' faible intensité

→ Les 'photons' arrivent 1 par 1 dans les fentes



La figure d'interférence se forme progressivement

→ au début la figure semble aléatoire mais peu à peu l'interférence prend forme

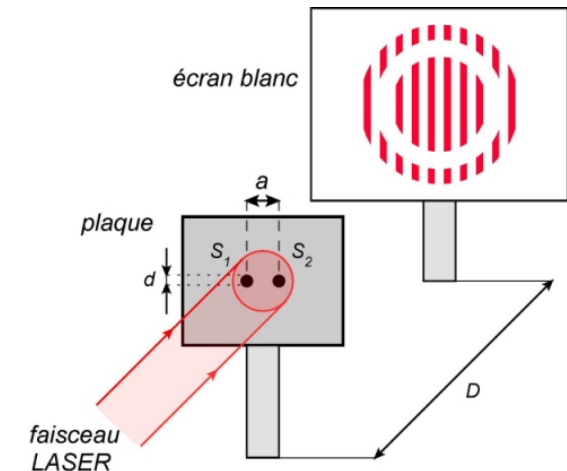
→ Si l'on considère 1 photon, on ne peut pas prédire où il va aller

→ à chaque nouvelle expérience, la première figure 1 change (elle n'est pas 'reproductible')

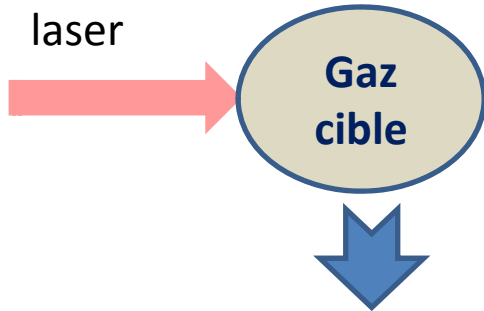
→ Mais si l'on attend un temps 'infini', on peut prédire la forme de la figure (5)

Cela suggère que l'on ne puisse 'déterminer' qu'une loi de probabilité ! = la probabilité de mesurer la présence d'un photon à un endroit donné et à un instant donné...

On renonce ainsi à prédire la trajectoire d'un photon...



Processus d'interaction laser électrons



Basse Intensité laser

$< 10^9 \text{W/cm}^2$

→ Optique, spectroscopie,...

Intensité laser 'moyenne'

$10^{10} - 10^{16} \text{W/cm}^2$

→ optique non linéaire

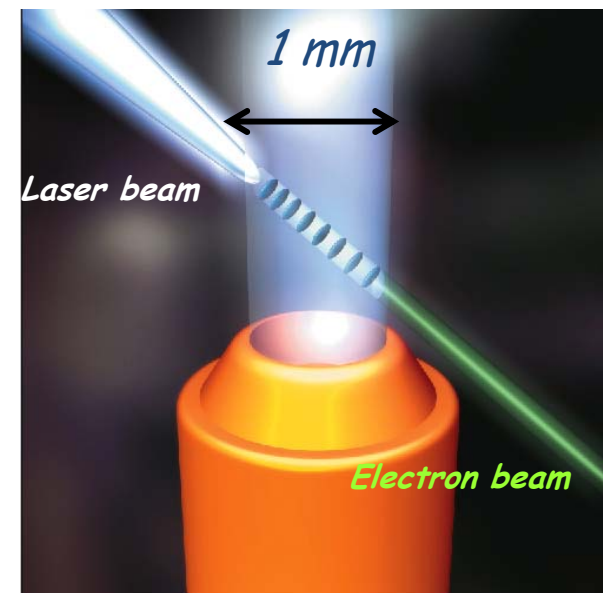
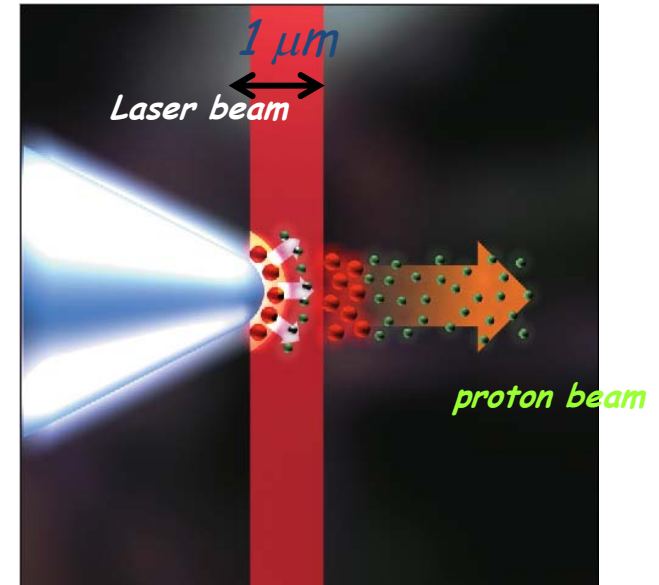
→ génération d'harmoniques
(visible → XUV)

Forte intensité

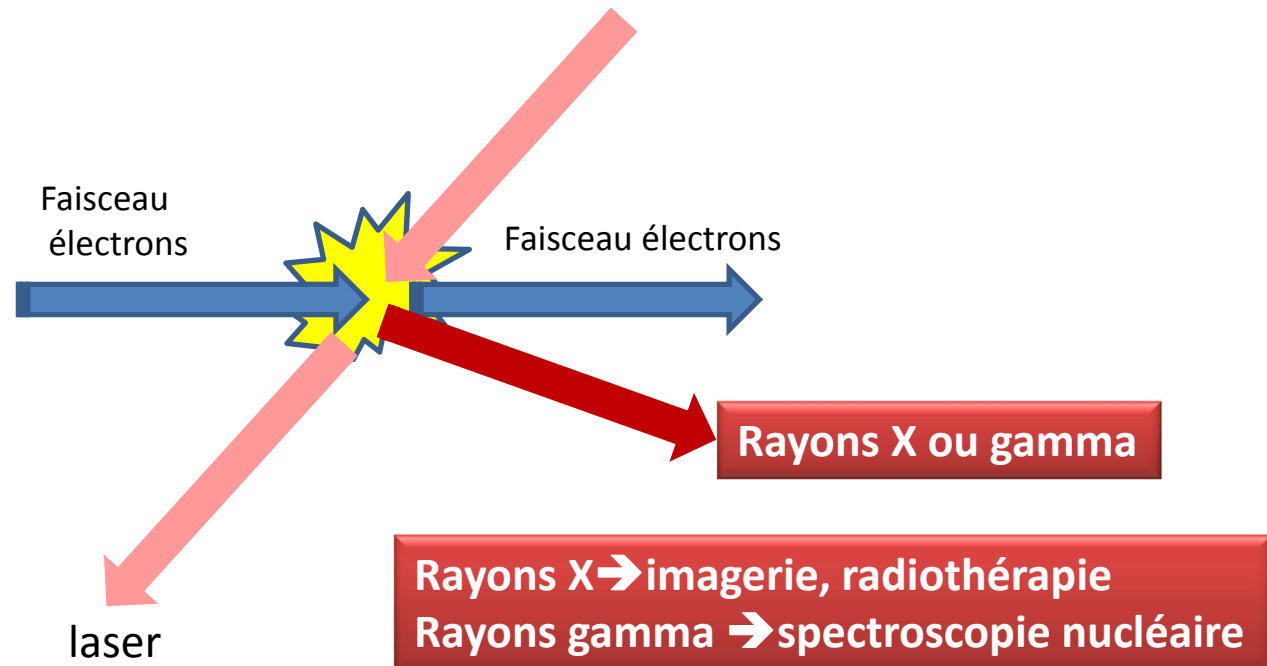
$> 10^{16} \text{W/cm}^2$ (ex. 10^{19}W/cm^2)

→ Création d'un plasma &
accélération laser-plasma

- Cible gazeuse : Faisceau électron
- Cible solide : faisceau de protons

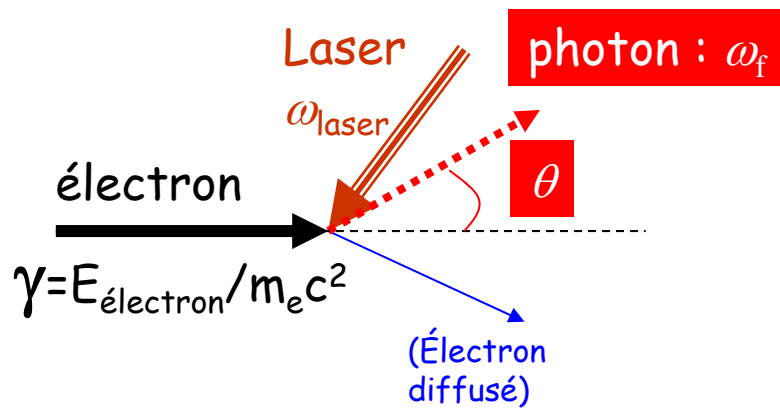


Processus d'interaction laser électrons 'diffusion Compton'



- ❖ A haute énergie on décrit la réaction en considérant l'interaction d'un photon du laser avec un électron du faisceau (diffusion Compton)
- ❖ A 'basse énergie' on peut considérer que l'électron oscille dans le champ électrique oscillant de l'onde électromagnétique et qu'il rayonne (diffusion Thomson)

Diffusion Compton



$$\omega_{f,\max} = 4\gamma^2 \omega_{\text{laser}}$$

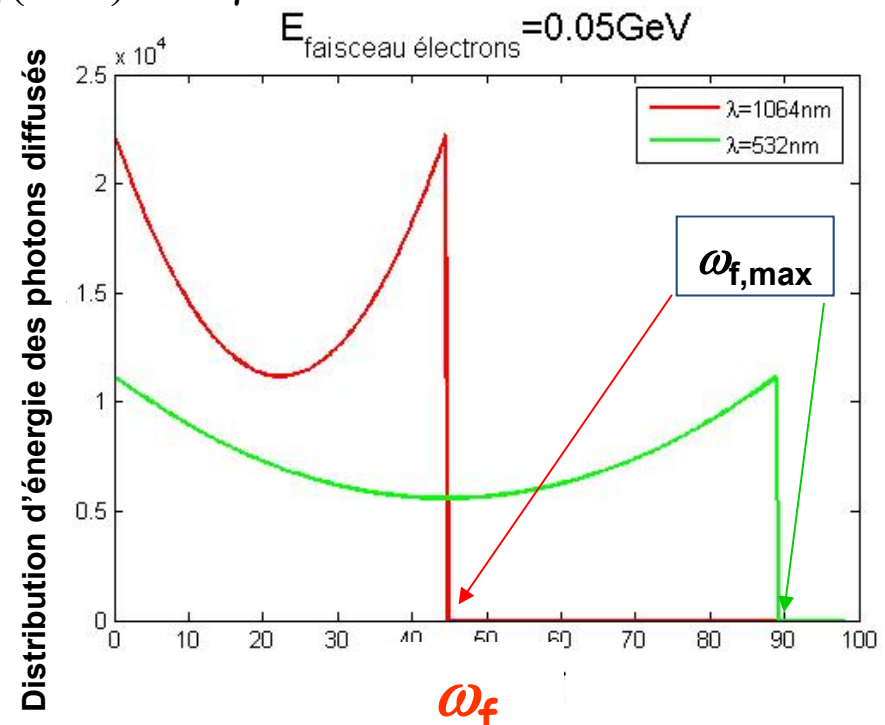
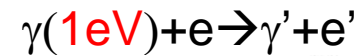
Avec $\gamma \sim 100$ ($E_{\text{électron}} = 50 \text{ MeV}$)
 $\rightarrow \omega_{f,\max} = 45000 \text{ eV}$ si $\omega_{\text{laser}} \approx 1 \text{ eV}$

L'interaction Compton est le mécanisme le plus efficace pour 'booster' l'énergie

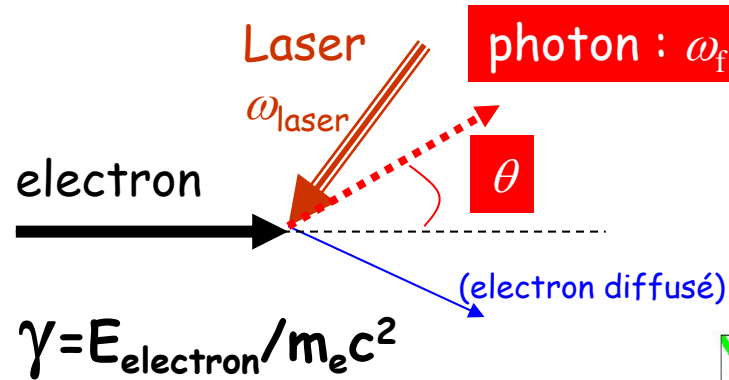
Exemple du faisceau laser YAG

$\lambda \approx 1 \mu\text{m}$ \rightarrow énergie des photons du faisceau laser $E_{\text{laser}} \approx 1 \text{ eV}$

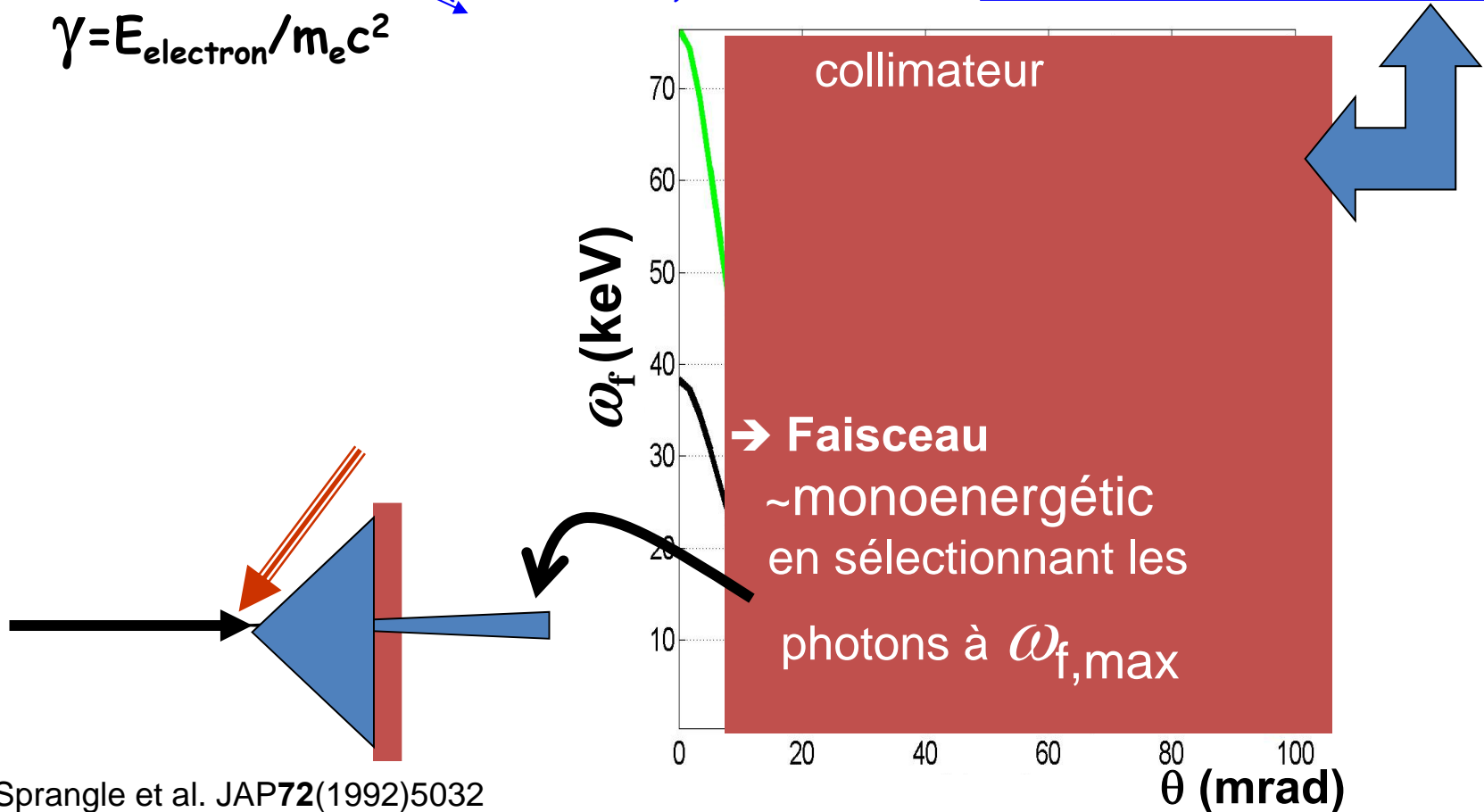
• On peut décrire la diffusion Compton laser électron via le processus élémentaire



Correlation cinématique entre l'angle et l'énergie du photon

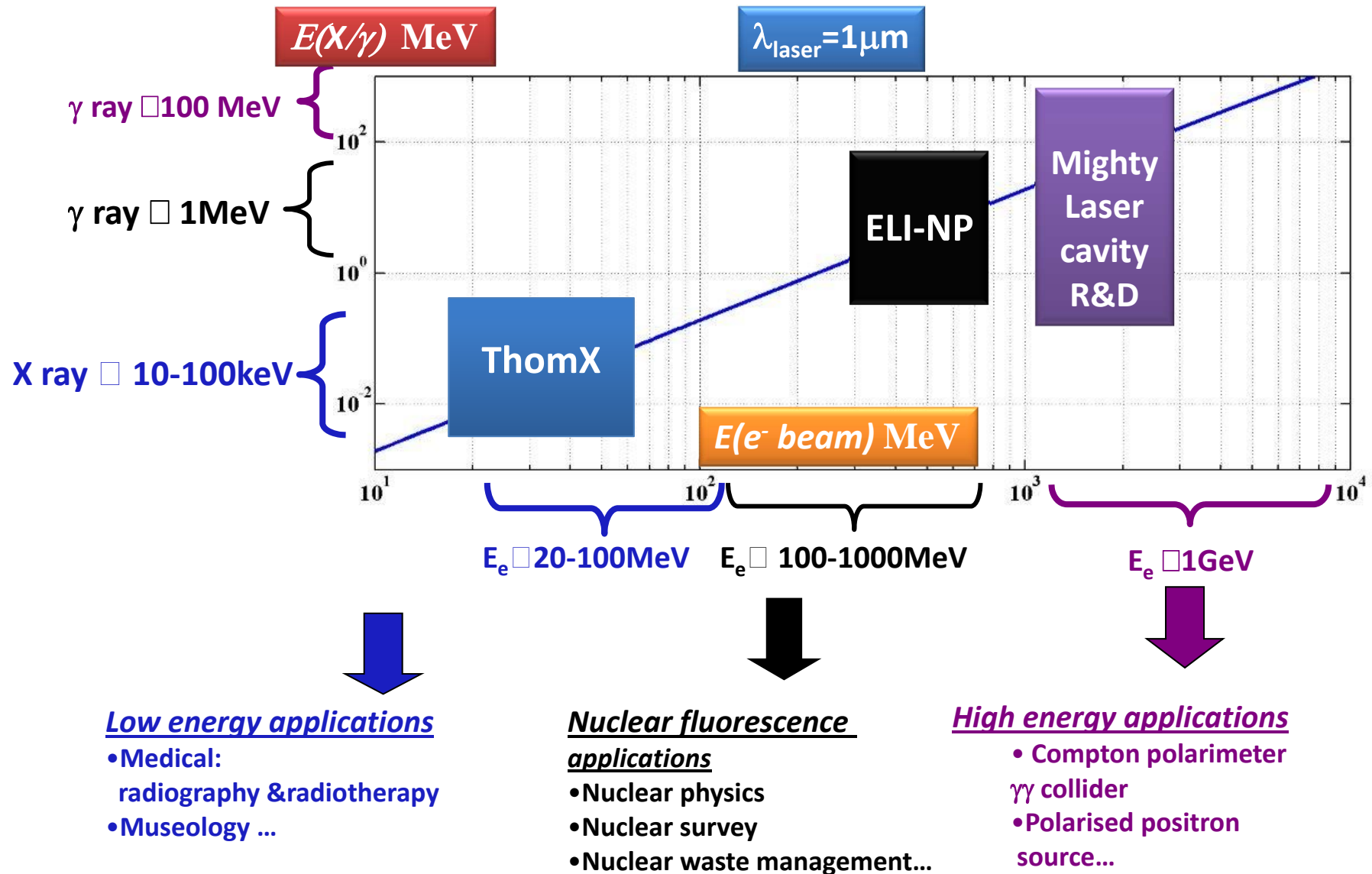


La diffusion Compton
 Photon_laser + e → photon + e'
 est un processus
 À 2 corps → cinématique
 relativiste : $\omega_f = f(\theta)$



Applications of Compton scattering

$e^- \text{ beam} + \text{laser} \rightarrow e^- + \text{X}/\gamma \text{ ray}$

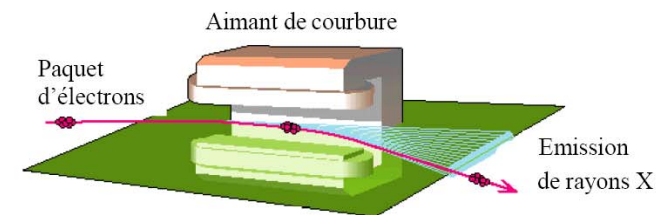
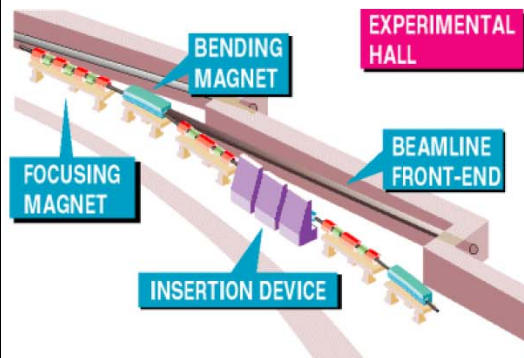


Applications de l'interaction laser-faisceaux d'électrons à basse énergie

• Ce qui a été fait auprès des gds accélérateurs à rayonnement synchrotron avec les rayons X et que l'on voudrait refaire dans une petite salle (**grâce à l'interaction Compton**) → **mais qui nécessite beaucoup moins de brillance !**

- muséologie
- radiothérapie

ESRF



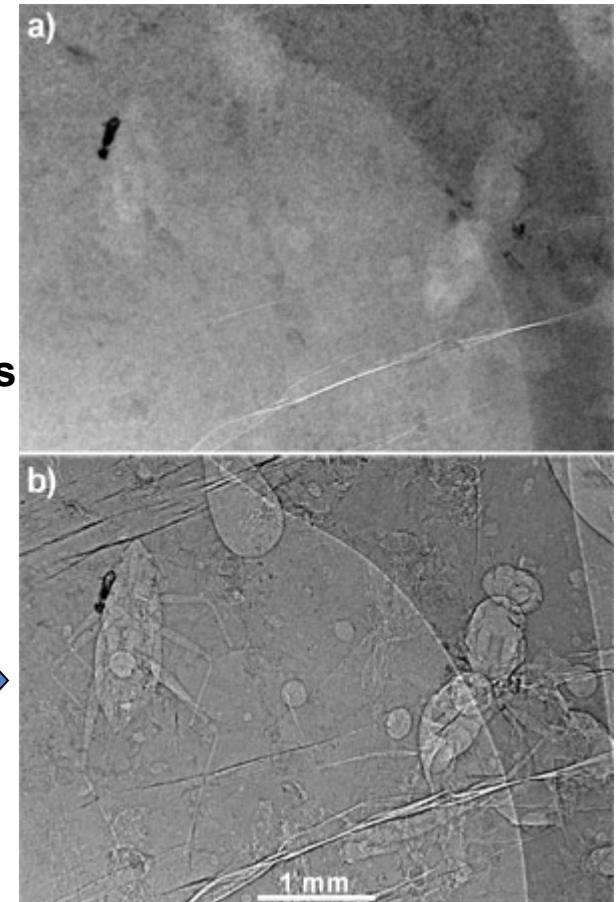
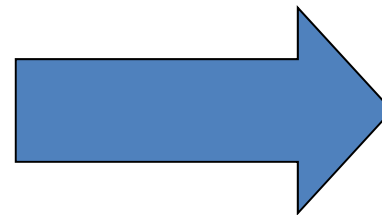
Applications en paléontologie

<http://www.esrf.eu/news/general/amber/amber/>

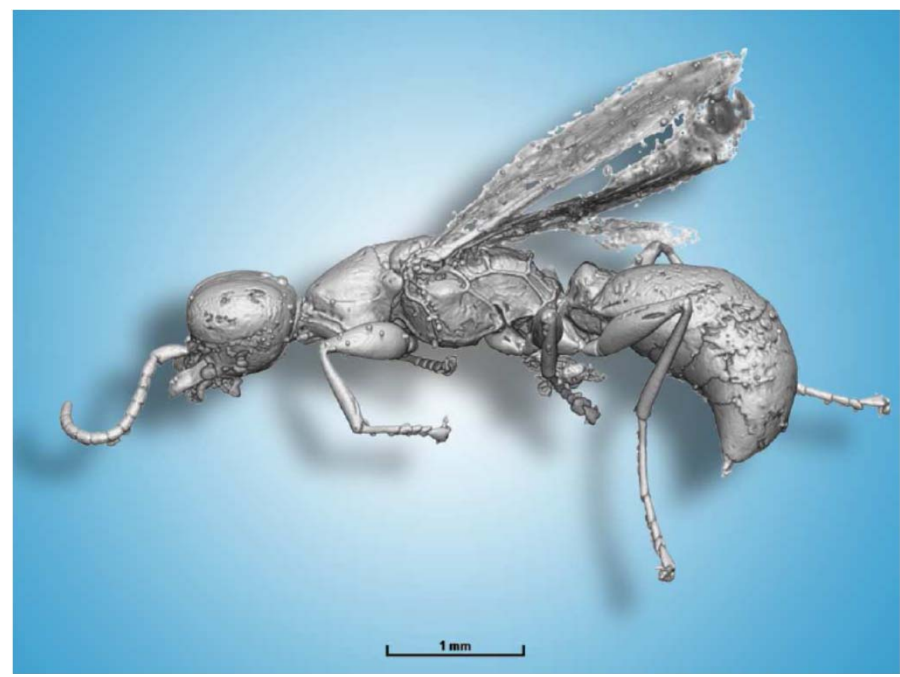
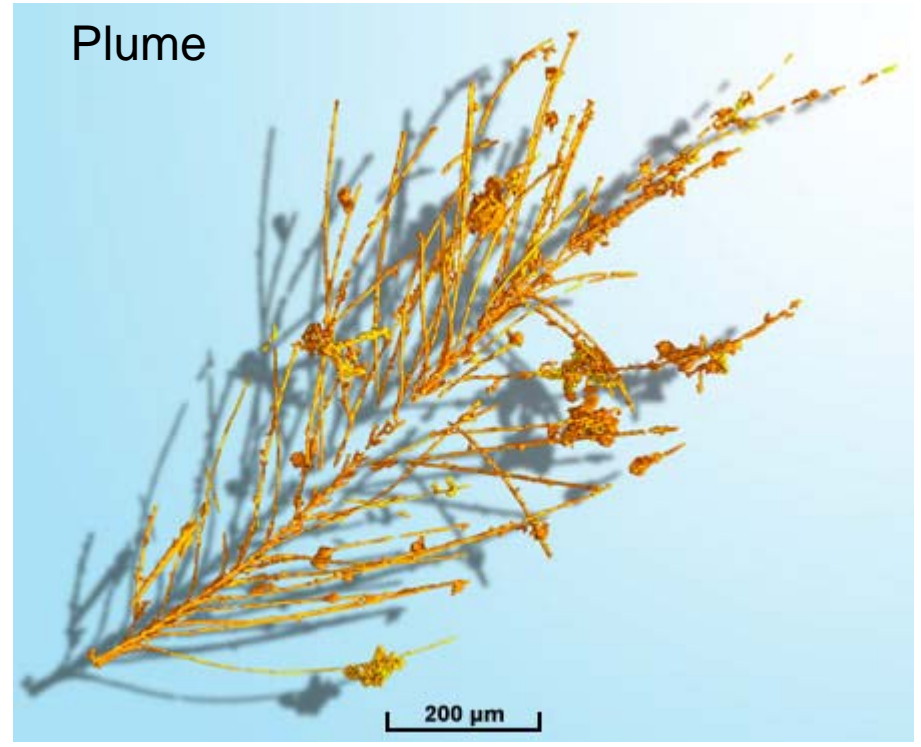
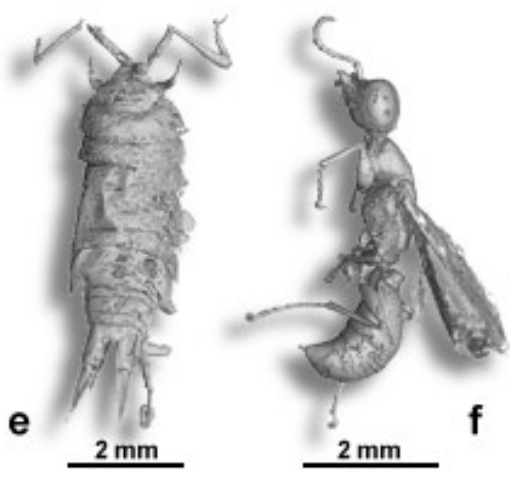
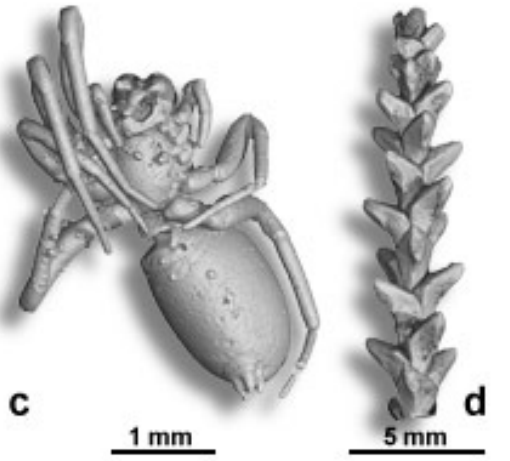
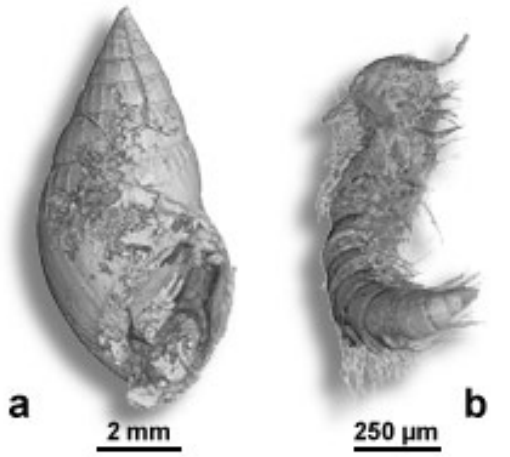


Morceau d'ambre datant de
100 millions d'années avant JC (charentes)

Rayons X
monochromatiques
qqes dizaines
de keV
ESRF



La très grande qualité optique des faisceaux de l'ESFR
→ reconstruction non destructive en 3D
des éléments piégés dans l'ambre il y a plus de 100M d'années !!!



(Tafforeau, ESRF)

Application à l'étude des oeuvres d'art

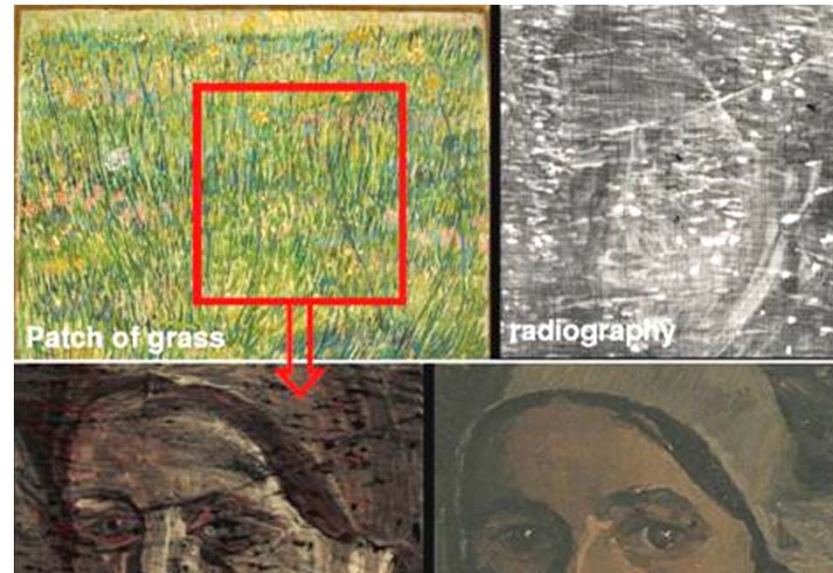
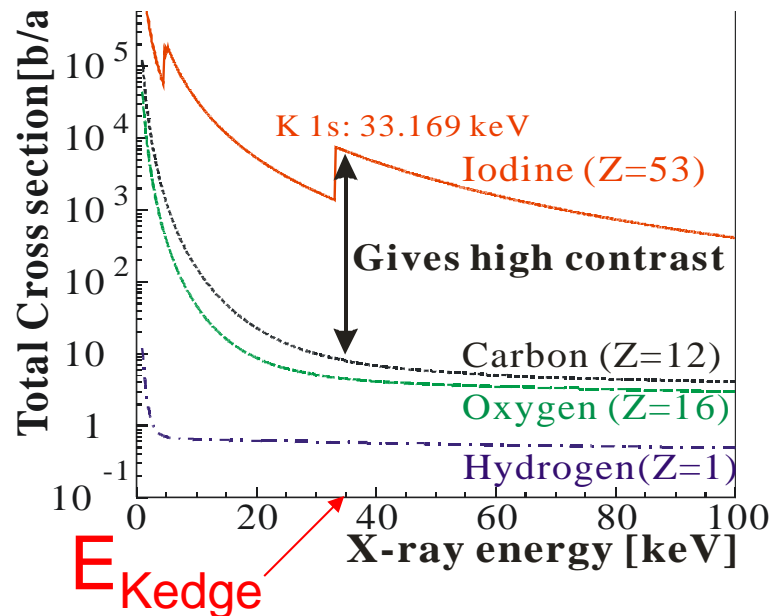
'K edge imaging'

1. Les pigments contiennent des éléments chimiques lourds
2. 'Couche K' de ces éléments excités par rayons X → identification

K-edge imaging sur les éléments lourds de pigments (Pb → blanc, Hg → vermillon ...)

Total Cross Section of X-ray attenuation

for various elements



**Mais ~30keuros d'assurance pour 2 jours
→ machine compacte dans un musée
Souhaitée...**

J. Dik et al., *Analytical Chemistry*, 2008, 80, 6436

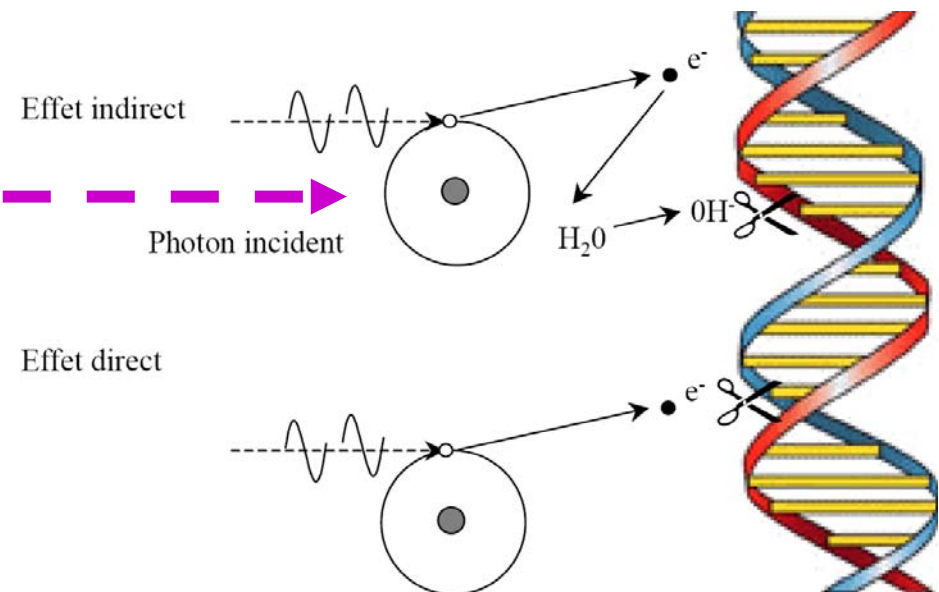
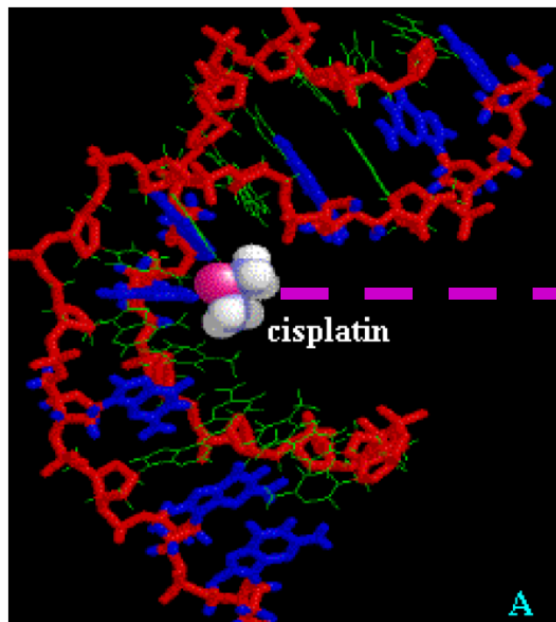
Cours d'histoire de l'art sur cette étude !

<http://www.vangogh.ua.ac.be/>

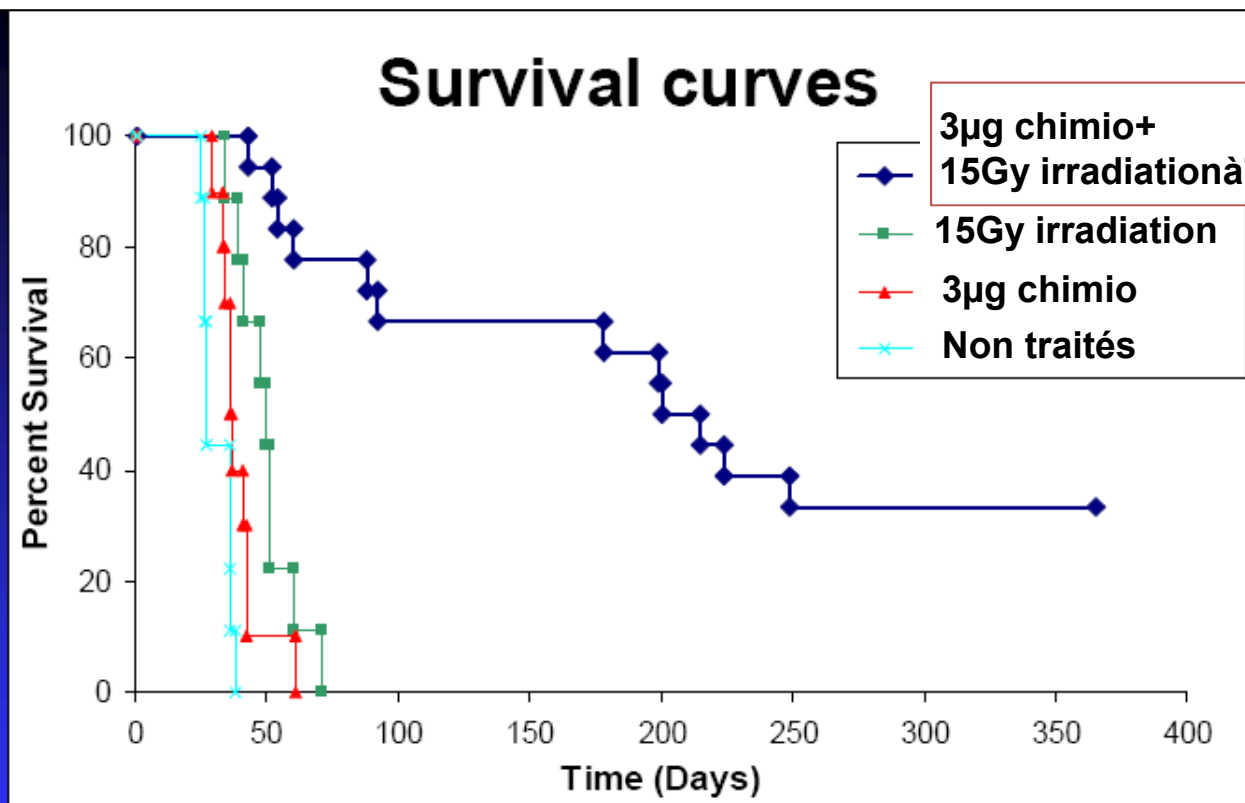
Une application médicale à l'ESRF (ligne ID17): radiothérapie pour le traitement des gliomes

Pas de traitement pour le 'glioblastome' aujourd'hui (7 cas/ 10^5 par an en France...)
•**Idée** (cf thèses S. Corde, J.F. Adam, ESRF) fixer un élément lourd (**platine**) sur l'ADN cancéreuse

•**Puis** exciter l'atome par un rayonnement X (**78 keV=couche K**) pour détruire cette ADN...



Mesures effectuées à l'ISRF sur des rats (auxquels on a inoculé le gliome)
→ Phase d'essais cliniques à l'ESRF (chats et chiens...)



3µg chimio+
15Gy irradiation à 78keV 13 jours après

15Gy irradiation

3µg chimio

Non traités

694 % Increase in life span relative to median survival time

M.C. Biston, et al., Cancer research, 64, 2317-2323 (2004)

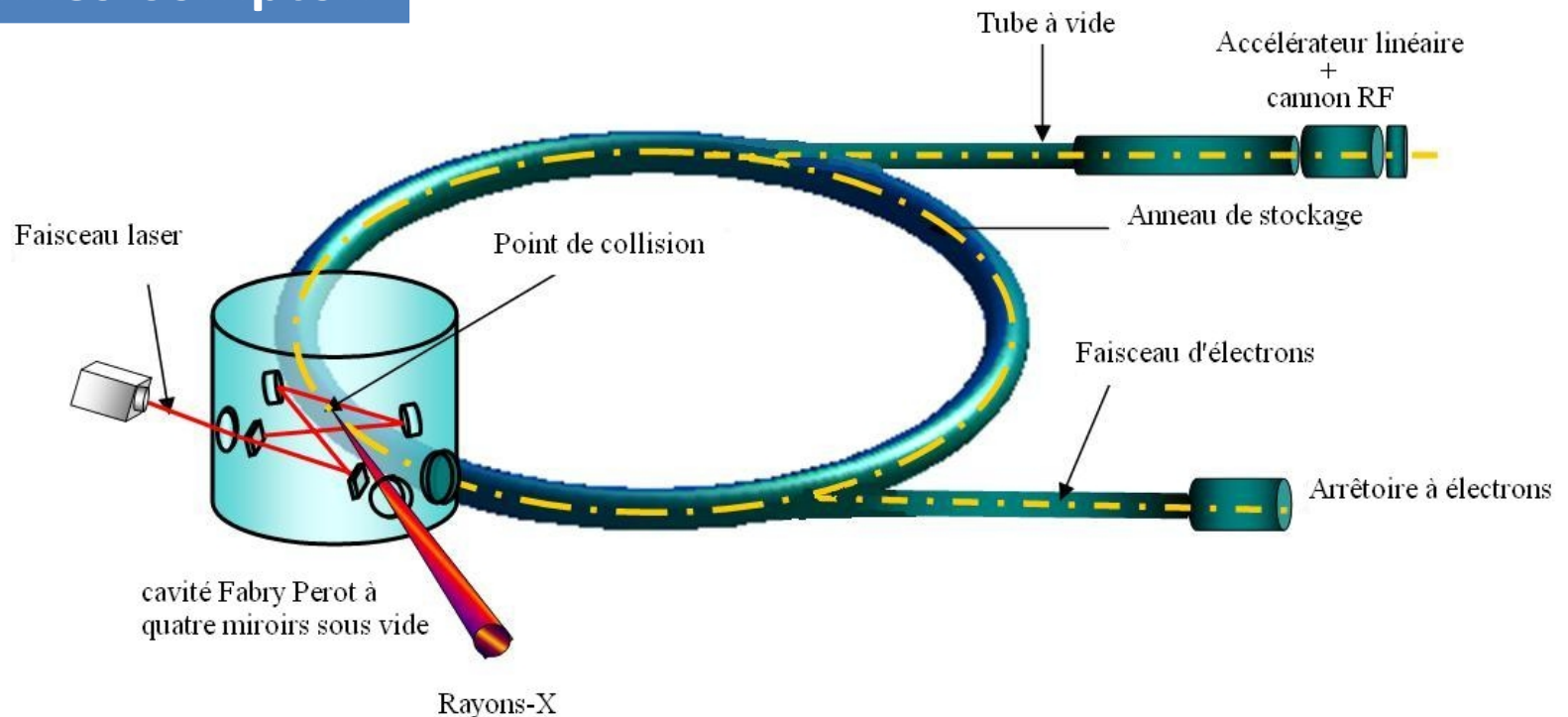
A. Bravin, www.ca.infn.it/alghero2008

Exemple tiré d'une
publication médicale
de l'ESRF

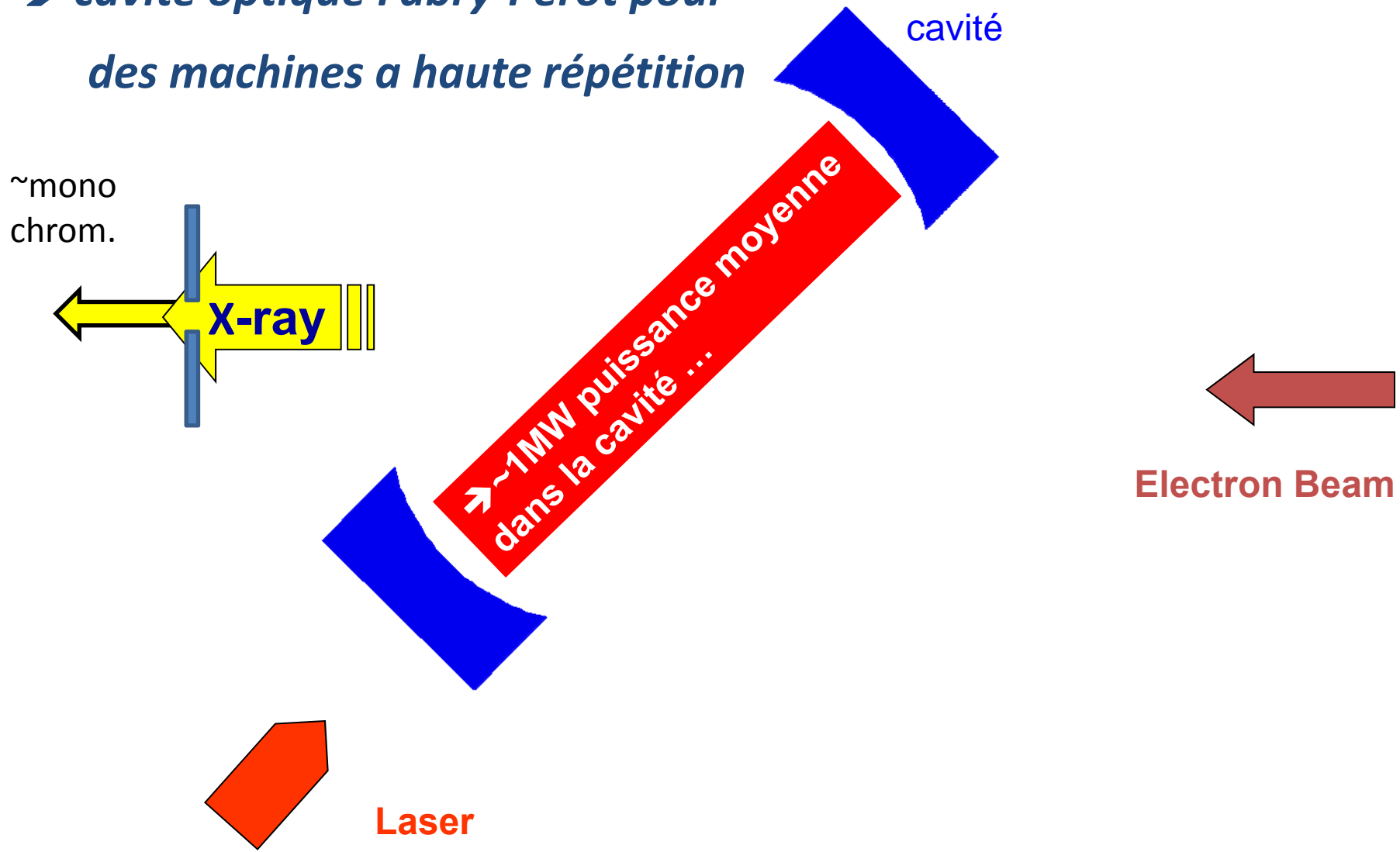
However, a routine use of synchrotron light for human treatment will necessitate the development of new X-ray monochromatic sources devoted to medical use. The next decade should be productive in developing such technology.

[S. Corde et al. cancer reas. 63 (2003)3221]

Les machines Compton



Mais la 'section efficace' Compton est très petite
→ il faut de fortes puissances laser
→ cavité optique Fabry-Perot pour
des machines à haute répétition



From Shimizu-san
KEK

The ThomX project: monochromatic high flux X-ray source for Low-energy applications



□ Collaboration between:

LAL (A. Variola, project leader),

SOLEIL (Synch. Rad. machine, Saclay),

CELIA (Laser lab., Bordeaux)

NEEL (Instr. X, Grenoble)

+ C2RMF/CNRS (scientific lab. of Le Louvre museum, led by P. Walter)
at start (C.R. Physique 10 (2009)676)

+ New archeological Lab. in paris (P. Walter)

+ **ESFR&INSERM** (Grenoble, Synch. Rad. Machine, medical ligne group,
A. Bravin)

+ **Thales** for industrial applications

□ ThomX funded by the 'grand emprunt national'

→ ~10M€



The ThomX machine



- ~50MeV electrons
- Compton Scattering perturbations
- Intra beam Scattering ...

→ 'Transient machine' (we will start with 20ms beam life time)

Size ~10mx7m

Optical resonator

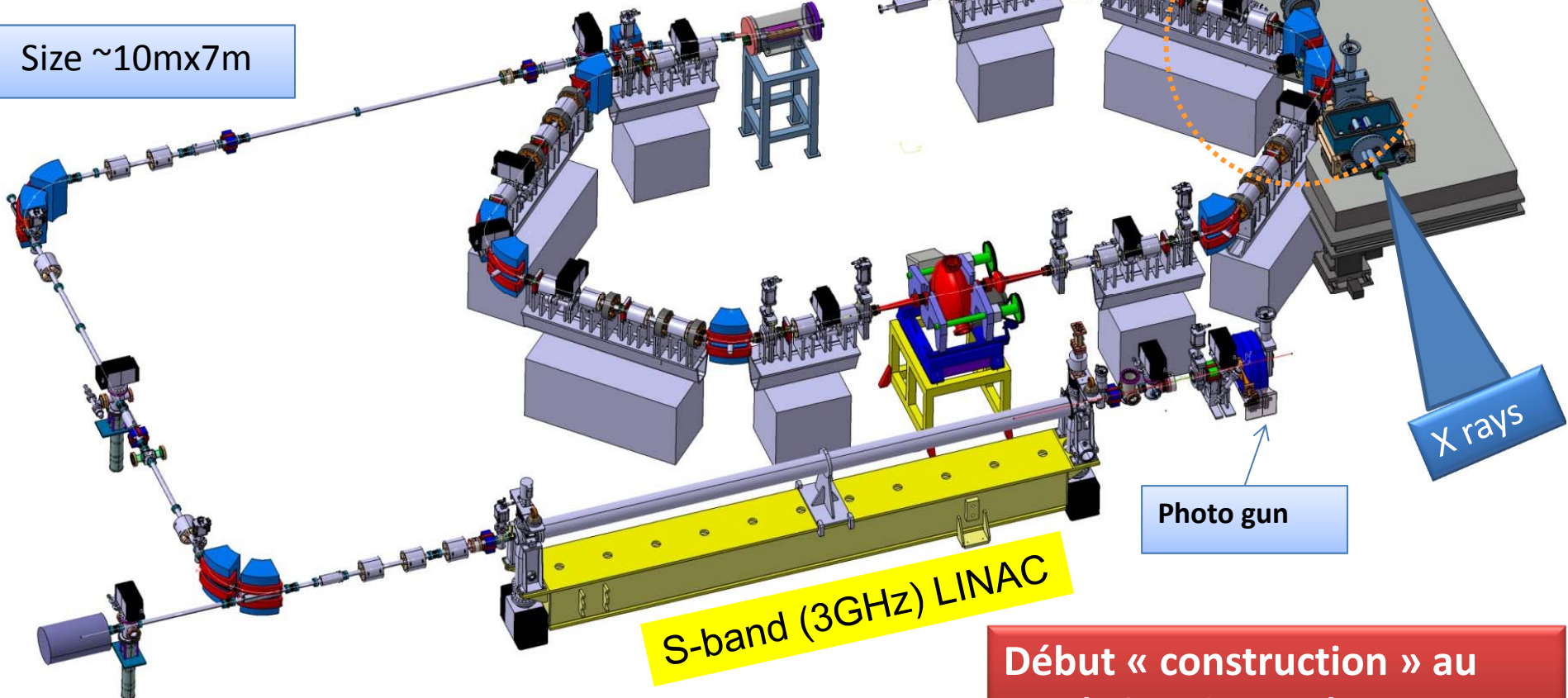


Photo gun

X rays

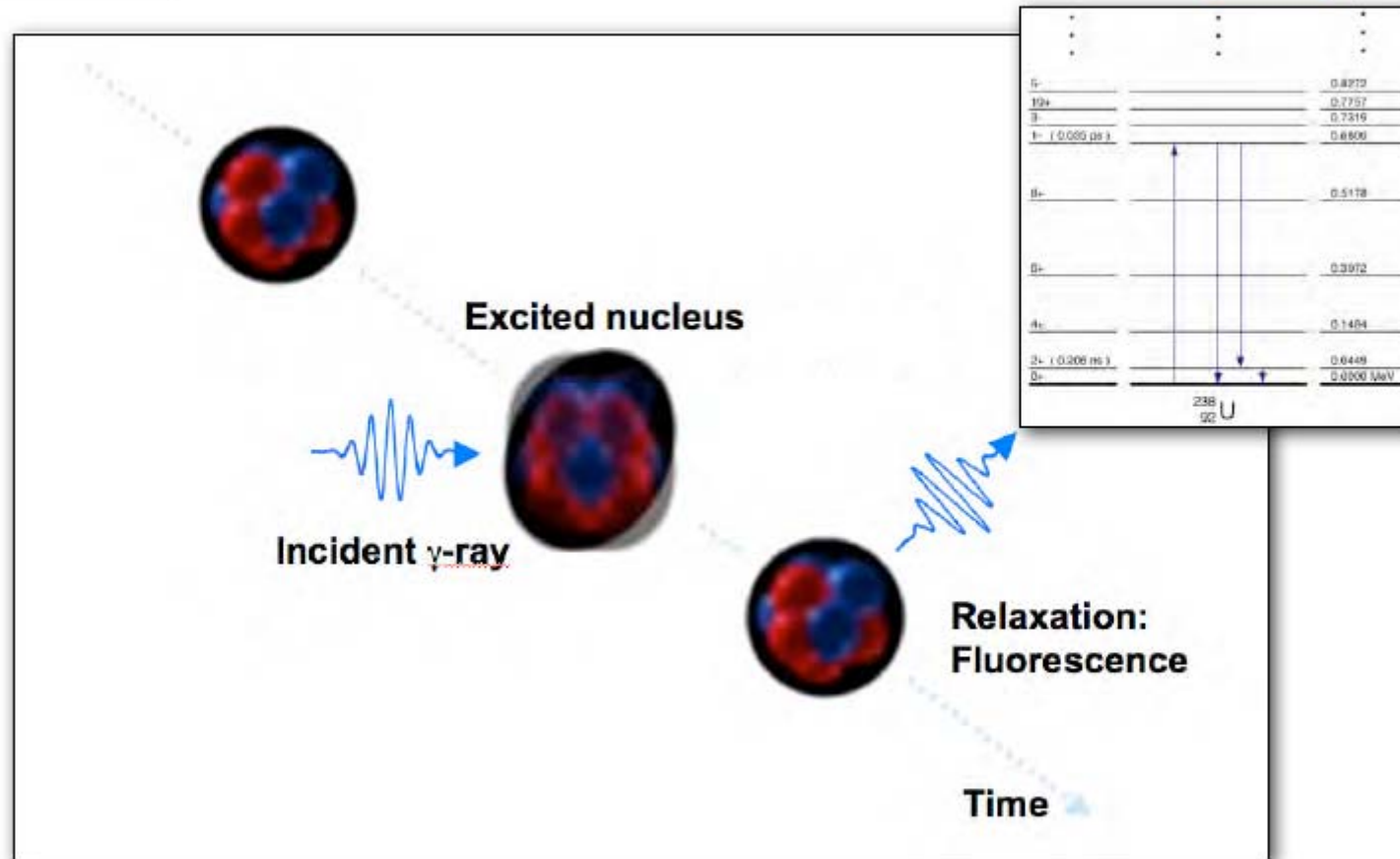
S-band (3GHz) LINAC

Début « construction » au LAL (igloo de Lure) 2012

Application à moyenne énergie : fluorescence nucléaire

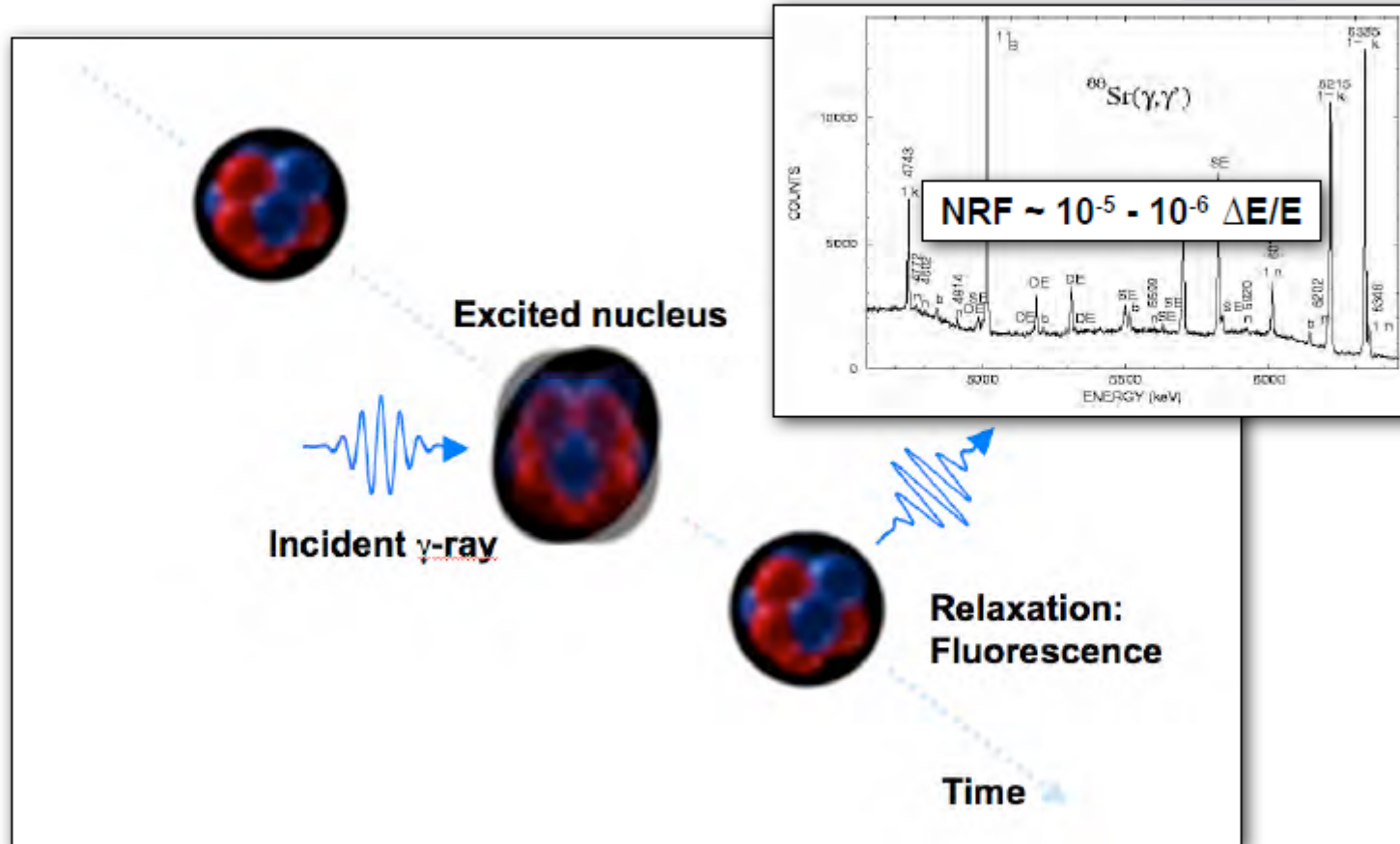
- **Projet américain (LLNL)**
 - Machine à rayon gamma monochromatique pour identifier la présence d'Uranium aux frontières
 - La machine doit tenir dans un camion !
- **Projet japonais**
 - Mesurer la composition des éléments radioactifs dans les 'bidons' de déchets à enterrer

Nuclear resonance fluorescence is easily excited narrowband laser-Compton sources



Nuclear Resonance Fluorescence depends upon the number of protons and the number of neutrons in the nucleus and is an isotope-specific material signature

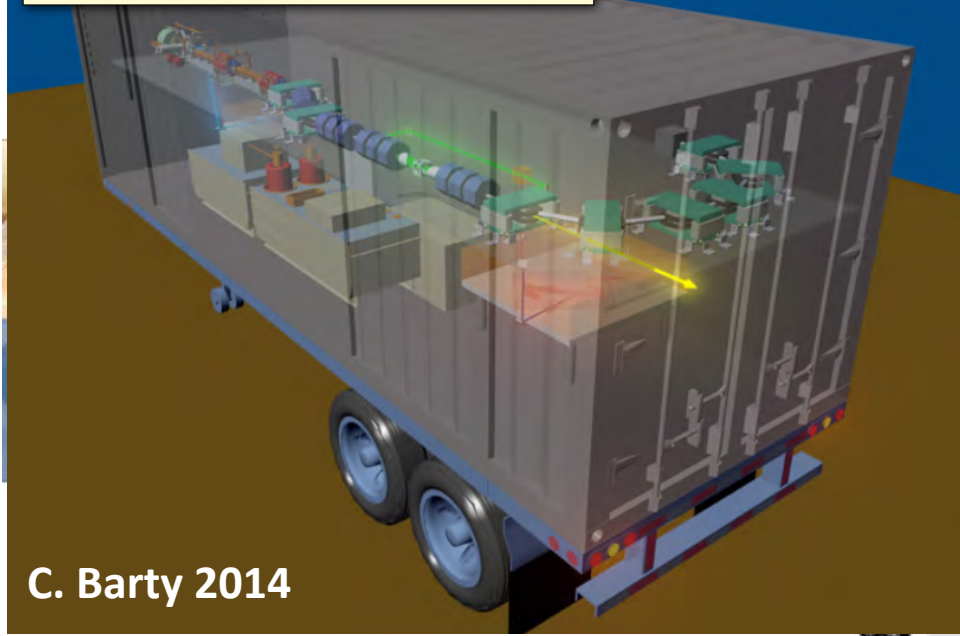
Intrinsic NRF widths are of order meV but are thermally (Doppler) broadened to of order eV



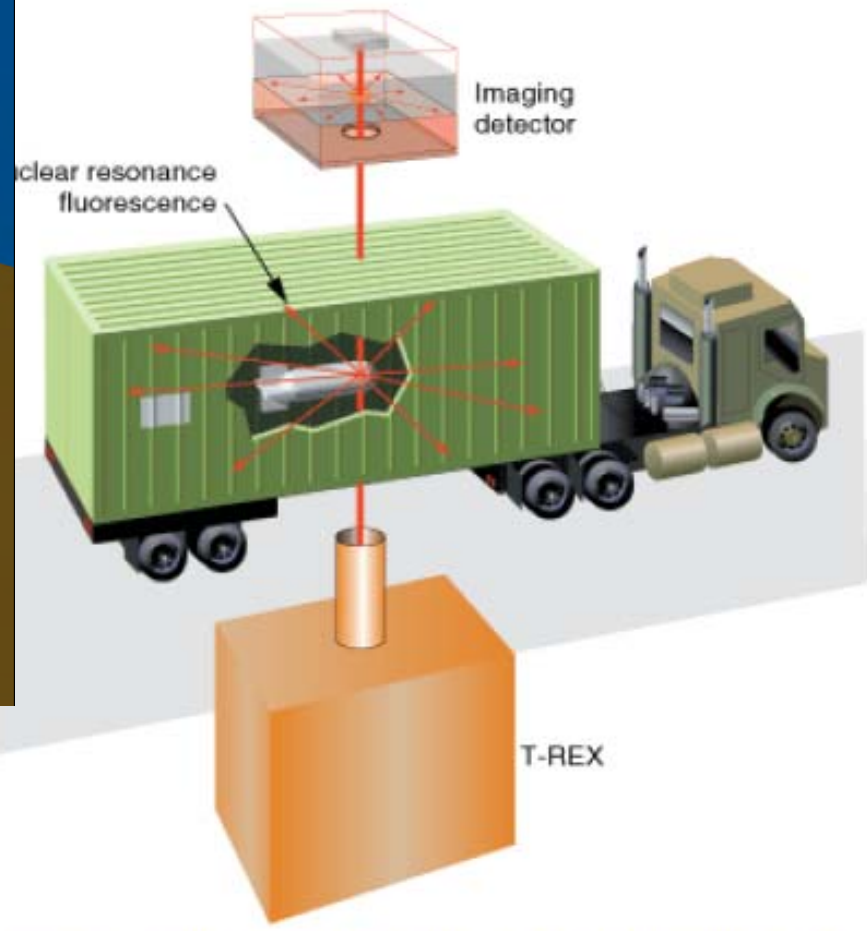
Selective excitation of NRF transitions is possible with laser-Compton gamma-ray source bandwidths of order $\Delta E/E \sim 10^{-3}$

Besoin : Source de rayons gamma dequasi 'mono-énergie'

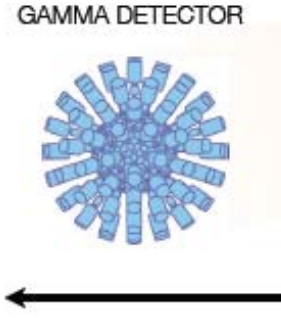
Many applications also require that the underlying technologies be robust and compact



C. Barty 2014



need 10^{13} γ/s



Livermore researchers are developing a system that combines the capabilities of a Thomson-radiated extreme x-ray (T-REX) system with a nuclear resonance fluorescence technique to detect small amounts of nuclear materials and image their isotopic distribution. The system could be used to inspect well-shielded objects, such as cargo containers moving through a terminal.

Applications : gestion des déchets nucléaires



Radioactive waste in JAEA

Applications of high-flux γ -ray beams to nuclear and radioactive waste management



R. Hajima
ERL Development Group,
Japan Atomic Energy Agency

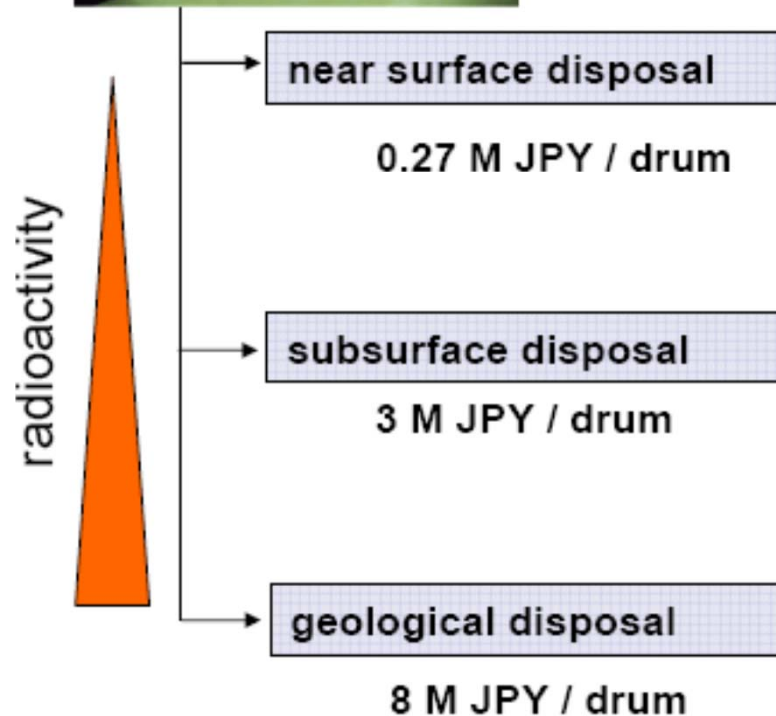
cleanup of all the waste in JAEA costs \$20 billion and 80 years.



the most urgent issue !

Gestion des déchets nucléaires

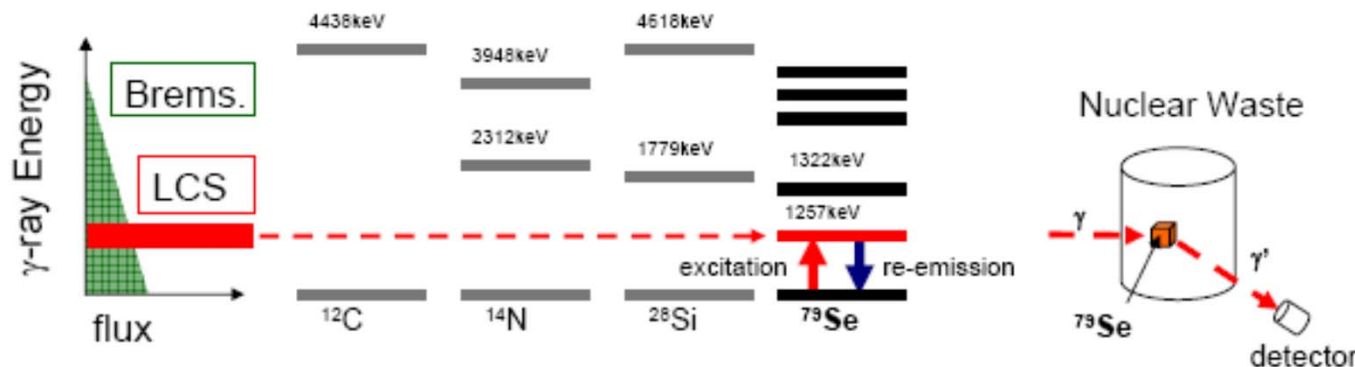
68,900 drums stored in JAEA (Agence Nucléaire du Japon)



Le stockage des déchets est une procédure très onéreuse : on enterre les bidon suivant leur dangerosité **MAIS** les mesures de radioactivité ne sont pas assez précises

- Besoin d'identifier les isotopes radioactifs dans les bidons (U238, ...)
- Fluorescence nucléaire résonnante avec 1-4 MeV rayons gamma
- Faisable avec une machine Compton
 - 320 MeV electrons
 - ~600kW puissance moyenne, 2ps@130MHz, 1µm longueur d'onde laser

Nondestructive Assay by Nuclear Resonant Fluorescence



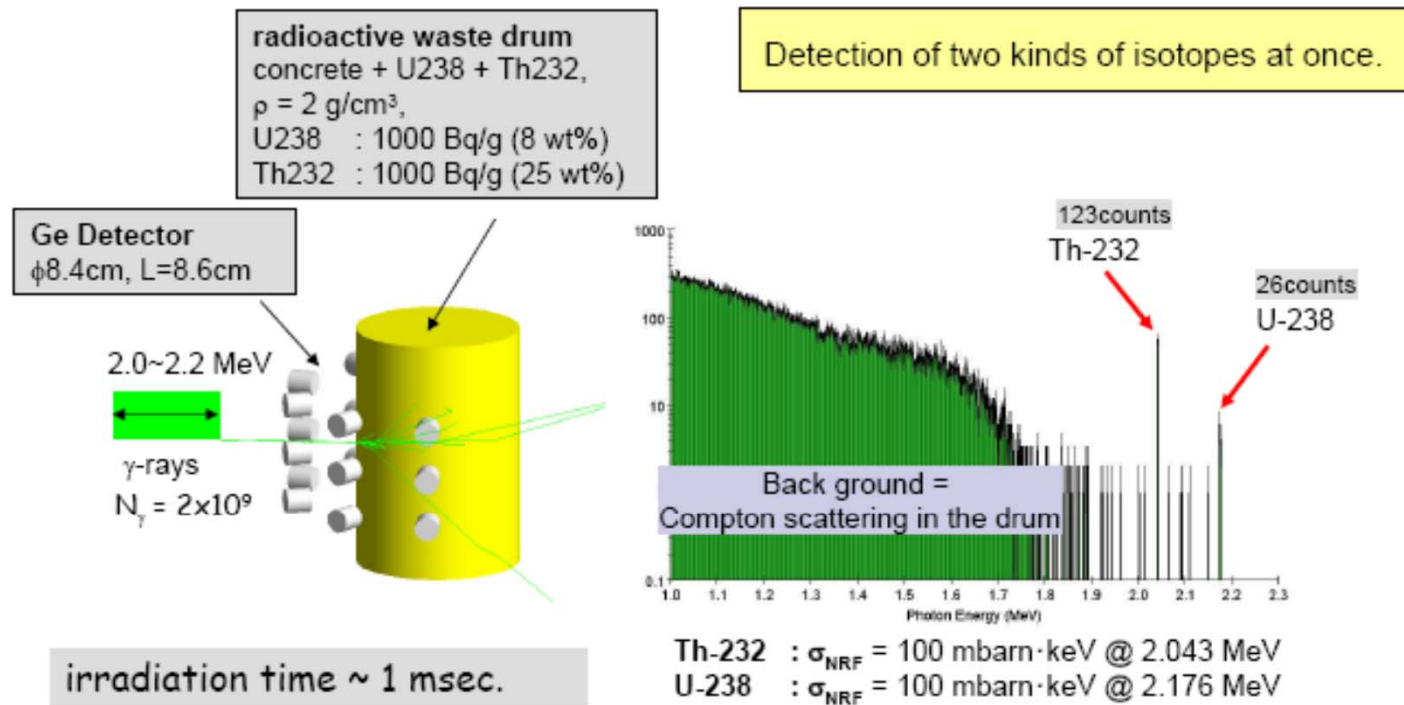
- Irradiation of γ -rays tuned at a NRF energy of nuclide to detect
- Detection of scattered γ -rays by energy-resolved detectors
- NRF is a unique fingerprint of nuclides \rightarrow radioactive and stable nuclides can be detected
- Using 1-4 MeV γ -rays \rightarrow applicable to thick objects

Un accélérateur d'électrons de 350 MeV est nécessaire pour cette application

Caractéristiques du laser :

**\rightarrow ~600kW average power,
2ps@130MHz, 1 μm laser wavelength**

Nondestructive Detection of Isotopes



Simulation by GEANT4 (with NRF extension)

N. Kikuzawa et al.,
Proc. AccApp'07

**Projet européen
Extrem Light Infrastructure–Nuclear Pilar
(ELI-NP-GS)**

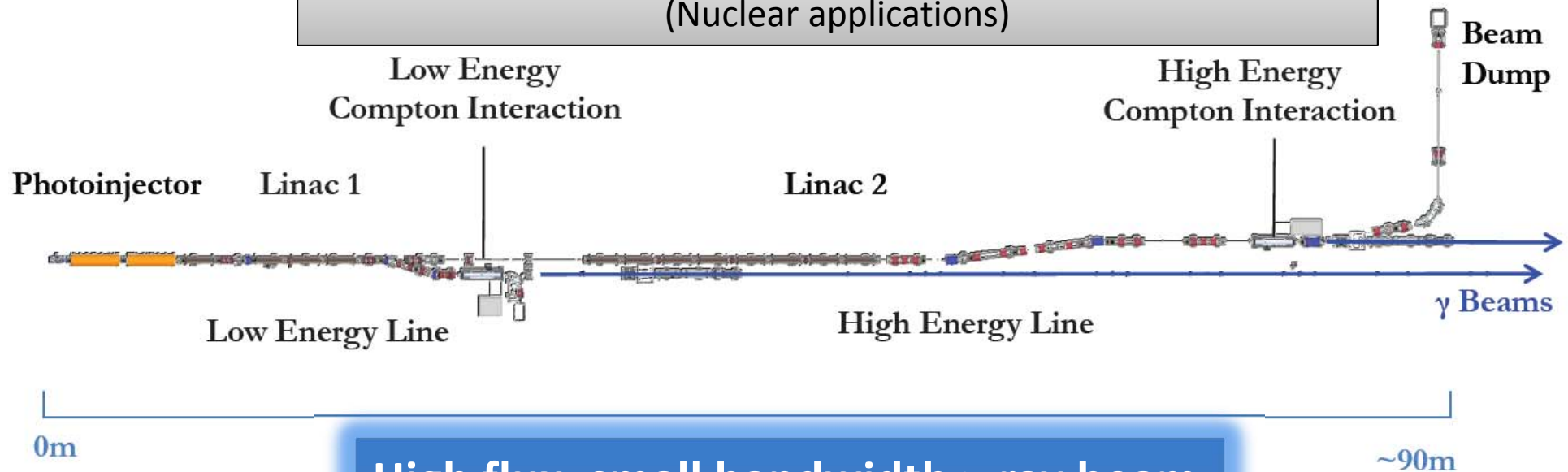
**→ Produire des rayons γ
de ~ 1 MeV à 20MeV
pour faire de la physique nucléaire**

**→ besoins technologiques
au-delà des possibilités
technologiques
actuelles**

Futur: ELI-NP γ -ray beam (European answer to a EC tender)



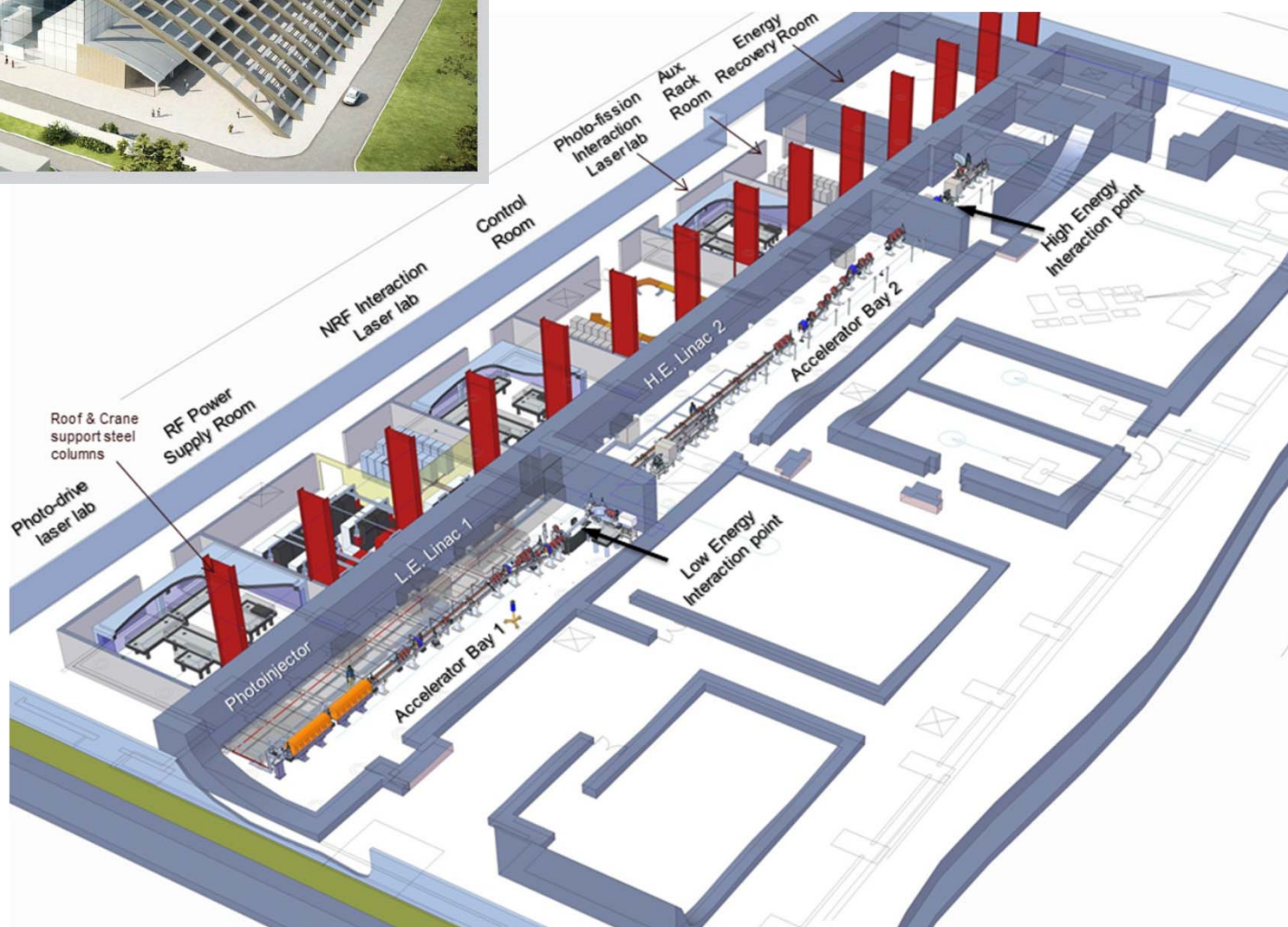
S&C band 700MeV e^- 100Hz LINAC with 2 Compton IPs \rightarrow Bucarest
(Nuclear applications)



High flux, small bandwidth γ -ray beam
(~100 better than state of the art)

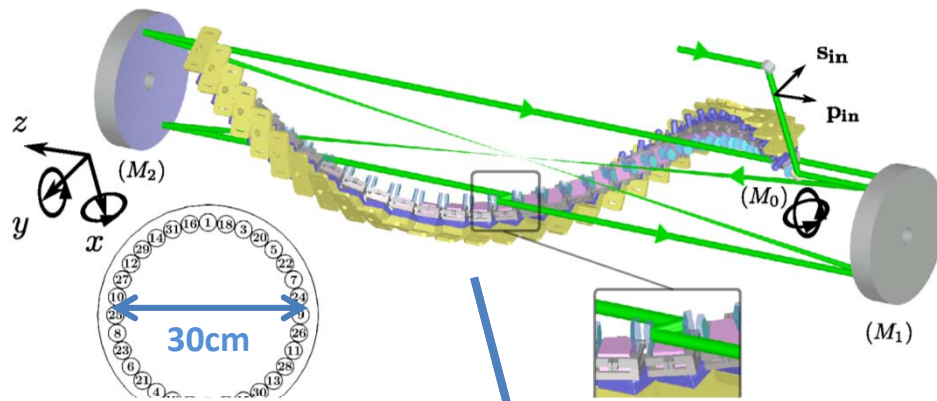


In Romania, Magurele, the ELI pillar will focus on laser-based nuclear physics. For this purpose, an intense gamma-ray source is foreseen by coupling a high-energy particle accelerator to a high-power laser.

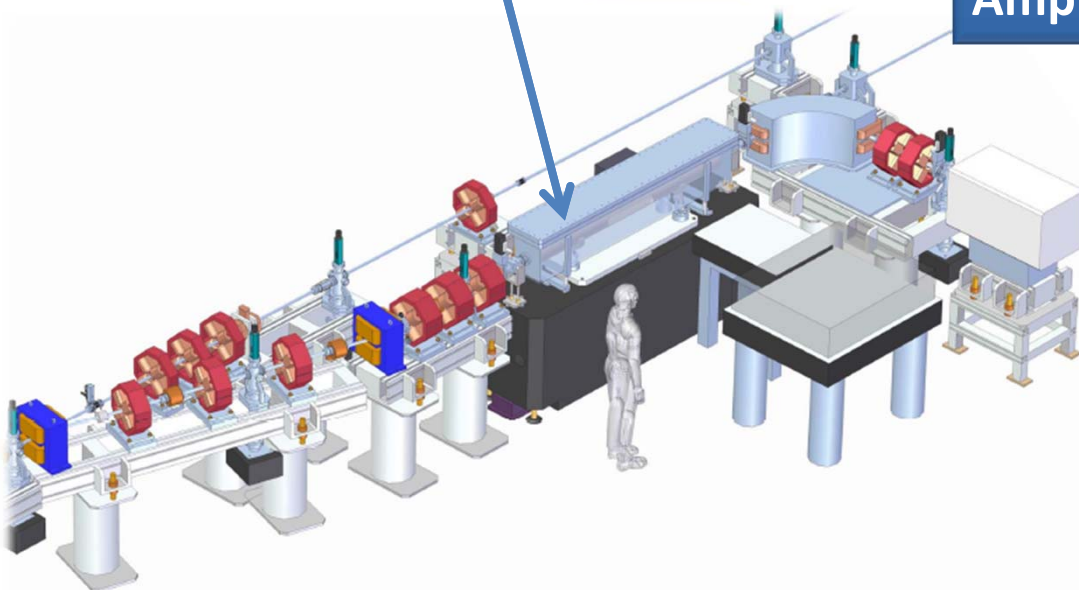


LAL contribution to ELI-NP

Design, alignment, synchronization, commissioning of a 32-pass 3D recirculator
→ High precision 'aberration free' optical setup

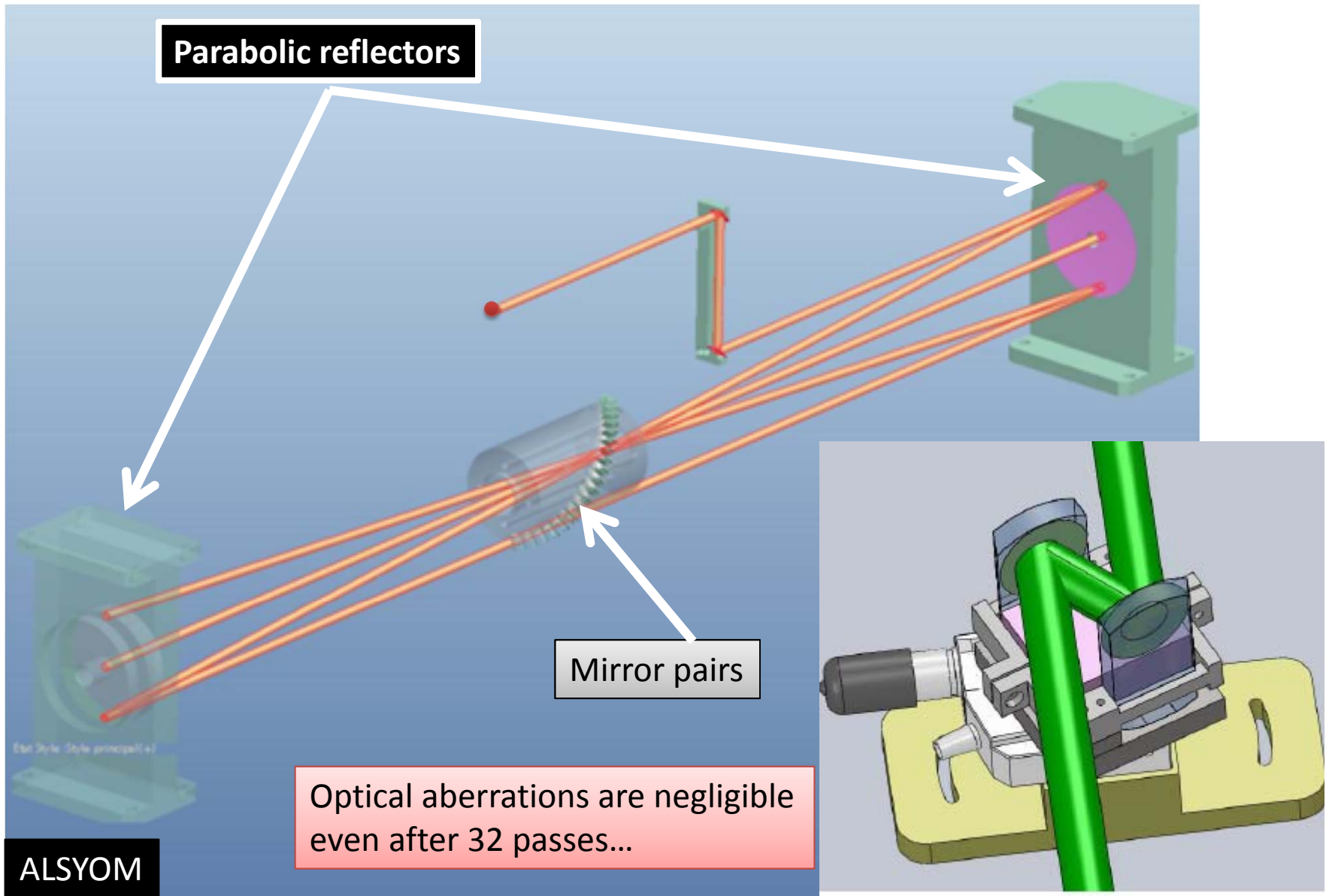


- <100fs synchronization
 - Tolerances & cleanliness & damage issues similar to Laser Mega Joule
- Close collaboration with ALSYOM CO. in charge of manufacturing, optical pre-alignments, installations
Amplitude Co. for the lasers



Le CNRS a signé la réponse à l'appel d'offre qui sera remis cette semaine en Roumanie

ELI-NP solution: a laser beam 3D recirculator



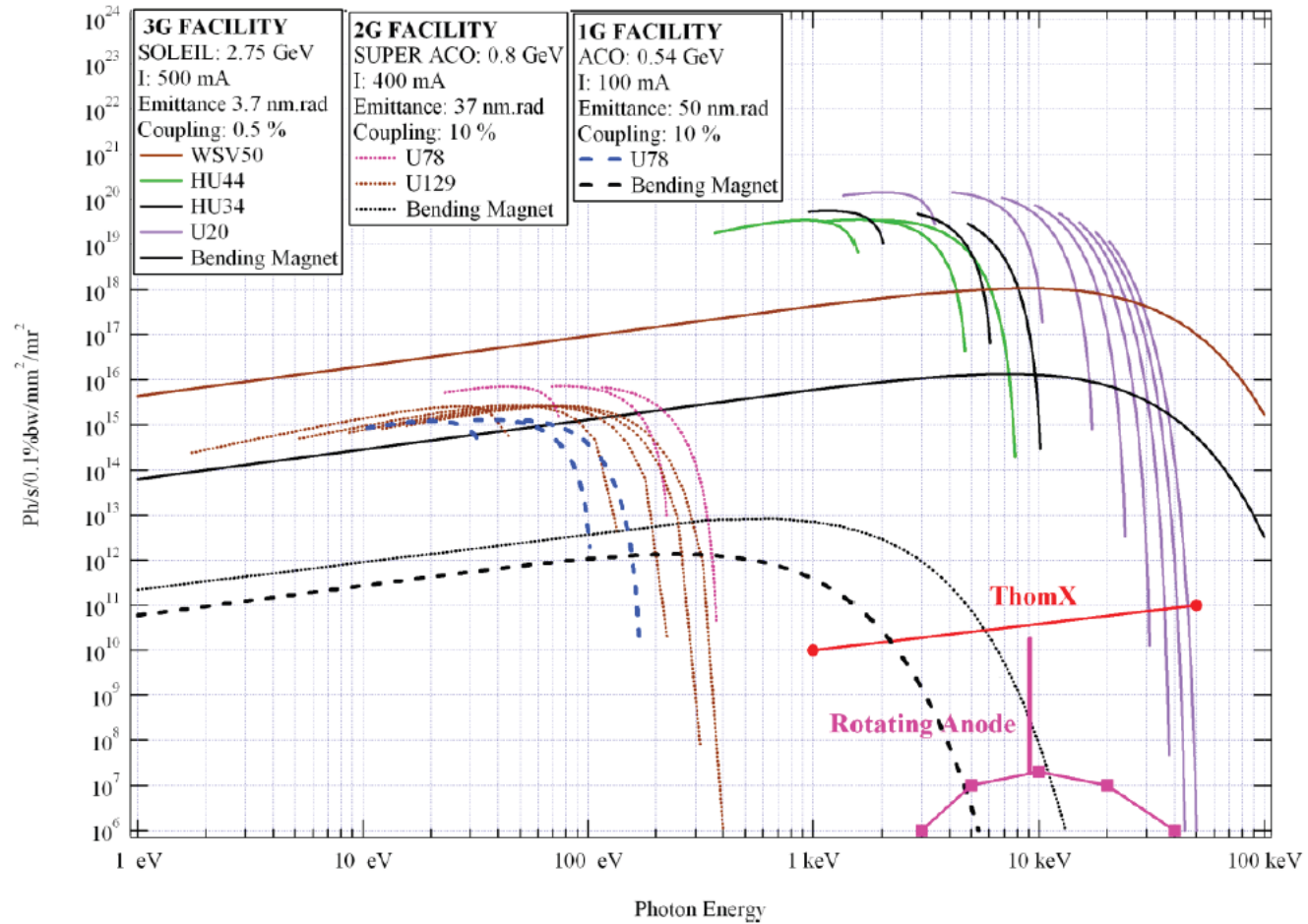
Applications de la diffusion Compton à haute énergie

- 'Laser wire'
- Polarimètre Compton
- Source de positrons polarisés
- Collisionneur photon-photon

Résumé

- La diffusion Compton permet de produire des faisceaux de rayons X et rayons gamma
 - Des spectres quasi-monochromatiques
- Technologie mature
 - Plusieurs machines en construction
 - Nécessite de la R&D sur les systèmes optiques pour atteindre les performances requises pour les applications
- Déjà utilisé pour des diagnostics faisceaux

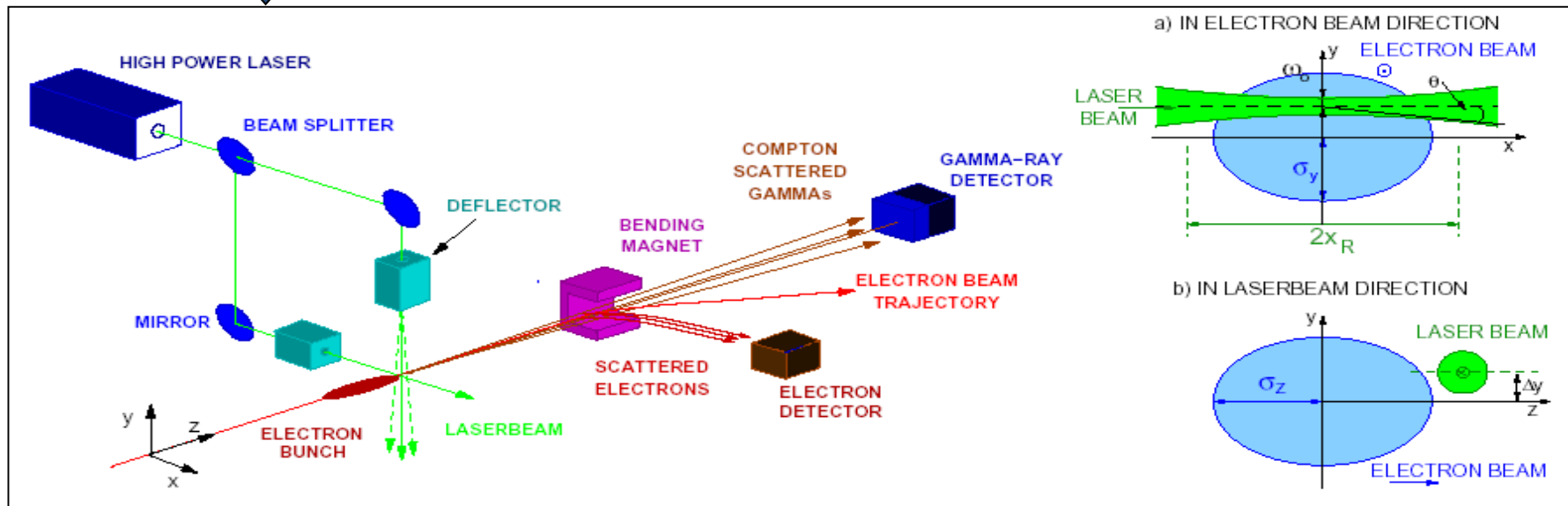
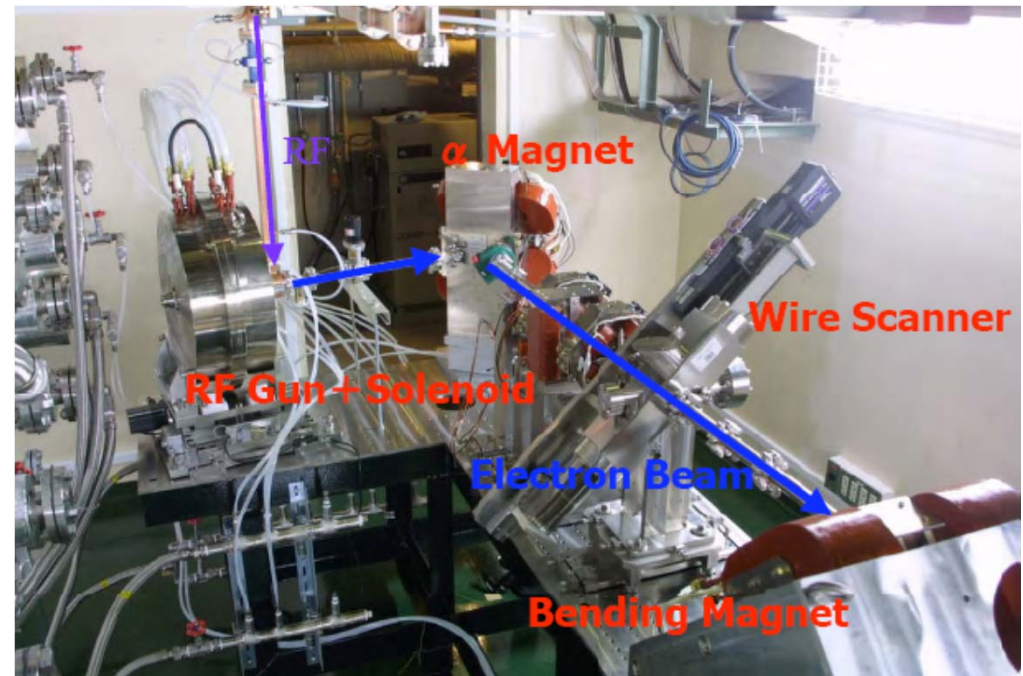
Higher flux than rotating anodes But worse brilliance than Synch. Rad. Machines...



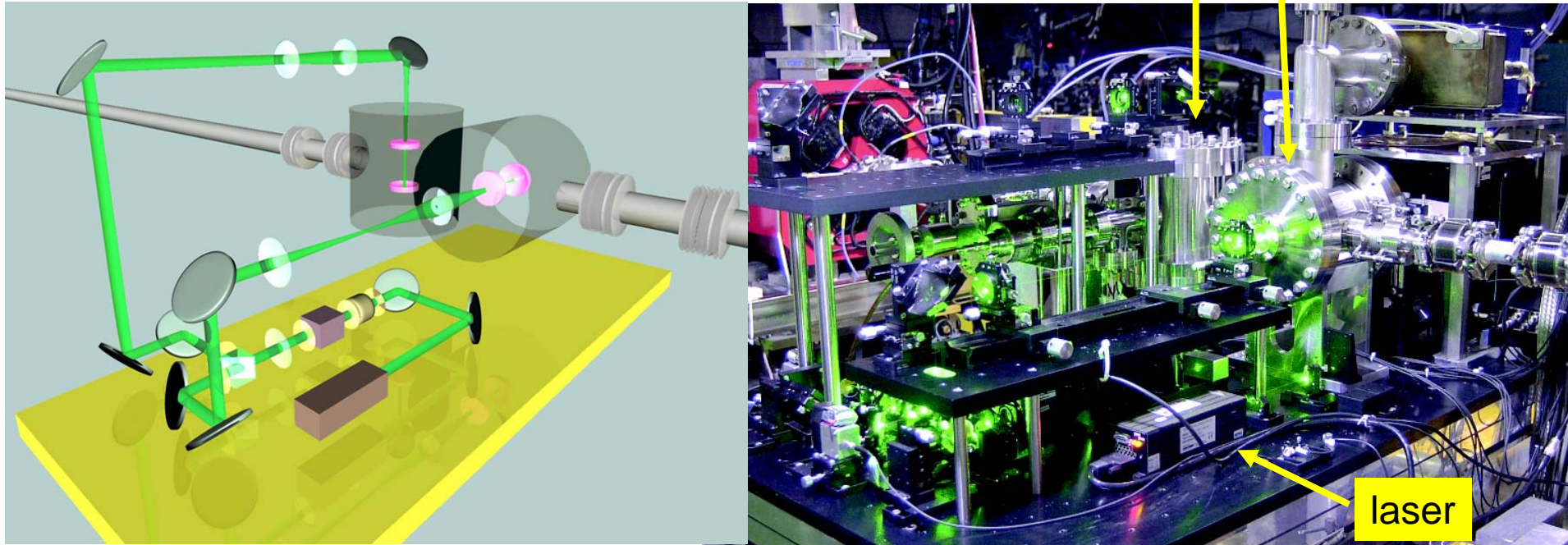
Mesure du profil transverse des faisceau d'électrons

On utilise des 'wire scanner'

- Mesure destructive
 - Meilleure résolution $\sim 10\mu\text{m}$
 - Besoin méthode non destructive et précise pour l'ILC
- Le 'laser wire'



Expérience de faisabilité :
CW Laser wire beam size monitor in ATF/KEK



**CW 300mW 532nm Solid-state
Laser fed into optical cavities**

J. Urakawa

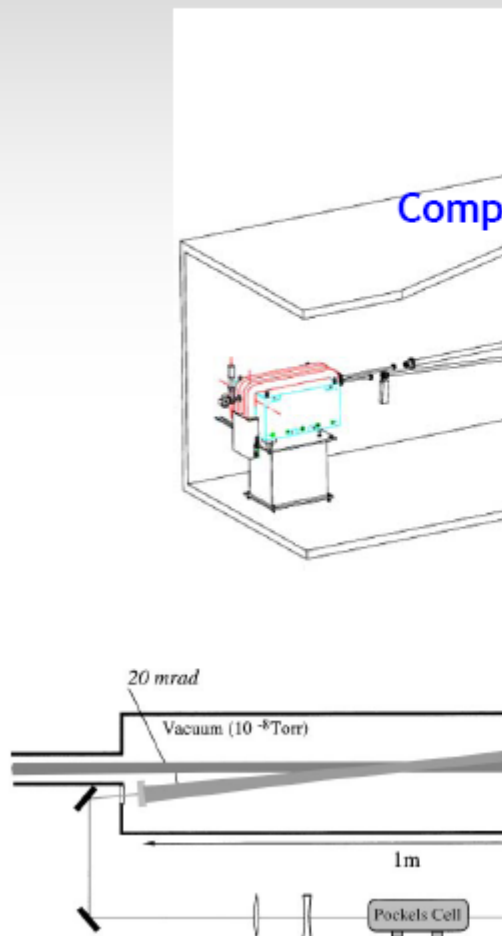
**14.7 μ m laser wire for X scan
5.7 μ m for Y scan
(whole scan: 15min for X,
6min for Y)**

Ongoing project Oxford/ATF: high power pulsed fiber laser

Pour mesurer la 'polarisation' des électrons on change la polarisation du laser et on mesure la 'distribution d'énergie' de photons Compton

Compton Polarimeter at Jefferson Lab e- 4GeV

[CEA Saclay/LPCClermont NIMA412(1998)1]



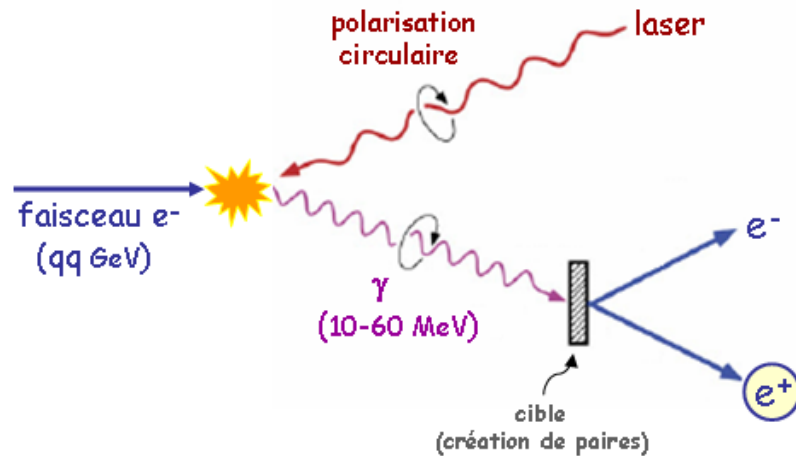
→ Polarimètre Compton similaire à HERA (e- 27GeV), LAL&CEA en 2000

Source de positrons polarisés pour l'ILC

Moortgat-Pick et al. Phys.Rep.460(2008)131

Araki et al. arXiv:physics/0509016

Une technique possible pour créer des positrons polarisés :



(SLAC-PUB-8477, 2000)

Expérience de faisabilité ATF/KEK

- Omori et al. PRL 96(2006)114801

Grosse R&D nécessaire pour les e^+ de l'ILC

→ 10 faisceaux laser de plus de 10MW puissance moyenne chacun

...

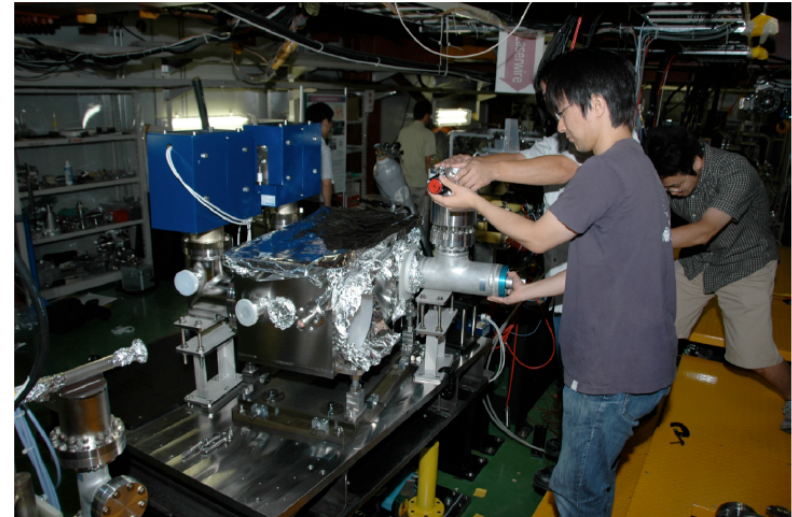
R&D sur les cavités Fabry-Perot

October 2007: Install the 2-mirror cavity into ATF-DR

•Exp. faisabilité ATF/KEK

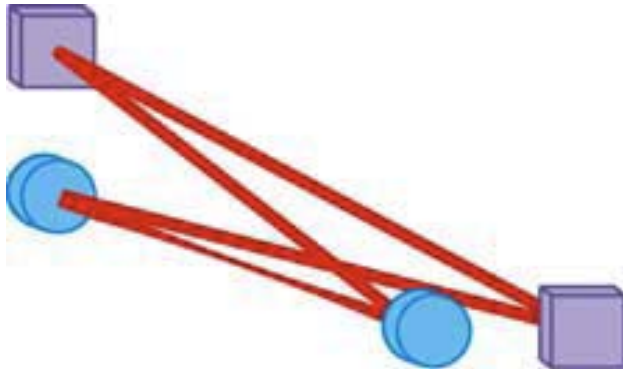
- 2-mirror cavity
- ~1ps laser pulses@357MHz
- Finesse <1000

Shimizu et al.
J.Phys.Soc.Jpn.78(2009)074501



R&D actuel (CELIA/Hiroshima/KEK/LAL):

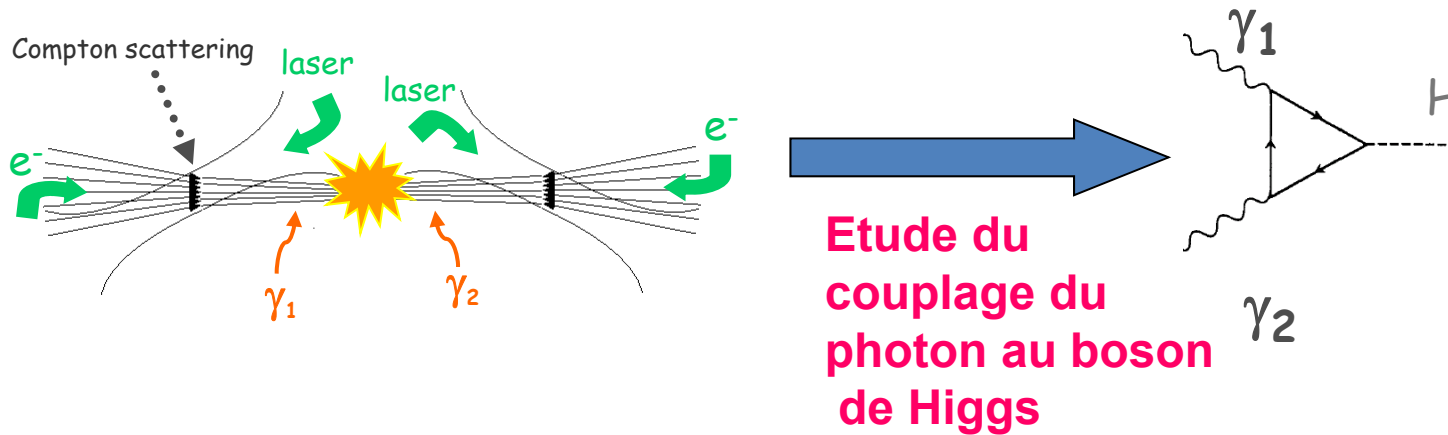
- 3D 4-mirror cavity, BUT : 1MW, 1ps, 178MHz



- Increase laser power: low power picosecond Yb doped oscillator (<1W) and fibre amplification → 200W average power@178MHz

gamma-gamma Collider, 'PLC'

Telnov, NIMA355(1995)3



On 'joue' avec les orientations des spins de rayons gamma (e^- & laser polarisation)

- **Mesure la plus précise du couplage Higgs/photon (i.e. 'masse/radiation')**

Faisceau d'électrons de 250 GeV avec ~3000 pulses par trains @ 5Hz & 5J/pulse !

Peu d'études techniques :

- LLNL Mercury laser + regenerative cavity