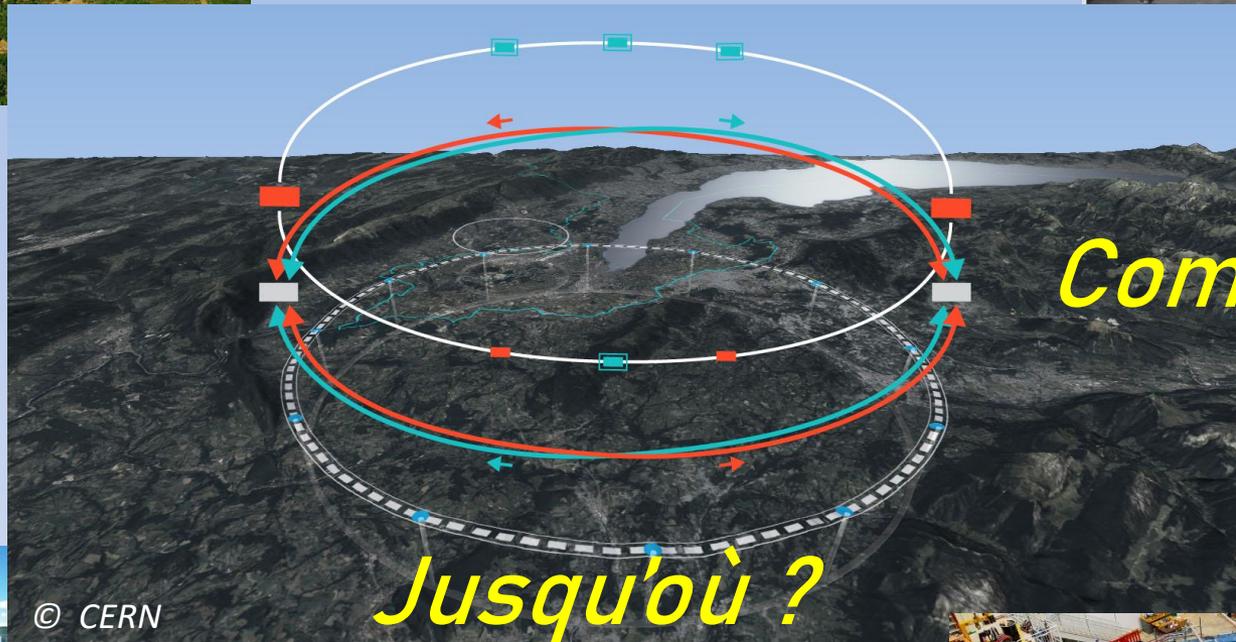
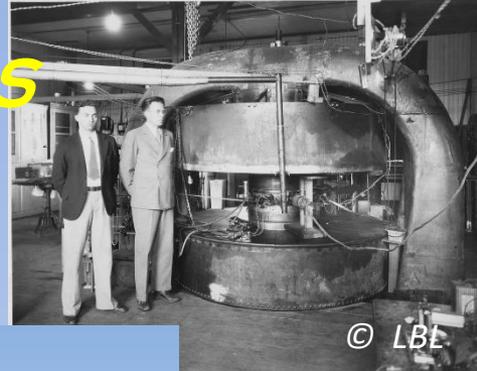


Les Hautes Energies

Pourquoi ?



Comment ?

Jusqu'où ?



Physique
Des hautes énergies



Physique des particules
élémentaires



« *Big Science* »

- Grands instruments
- Gros moyens techniques et humains
- Coût élevé
- Impact sur la société ?

Un dialogue permanent entre théorie et expérience

- *Succès de la théorie*
- *Limites de la théorie*

Pourquoi de grandes énergies pour sonder la structure de la matière ?

Sonder la matière, comment ?

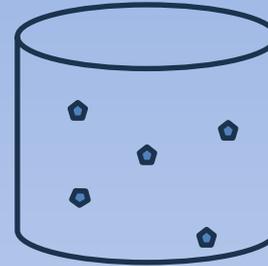
Sur quels principes fonctionnent les accélérateurs de particules ?

Pourquoi monter encore plus en énergie est-il crucial pour la suite de notre exploration de l'infiniment petit. Que nous dit la théorie ?

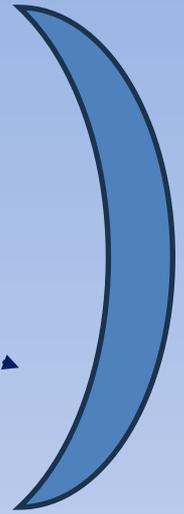
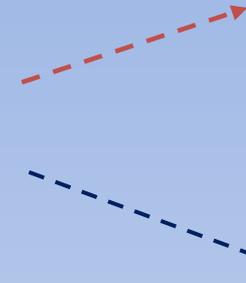
Jusqu'où ? Quelles sont les pistes possibles et réalistes en vue de disposer de machines capables d'atteindre les objectifs des physiciens ?

Sonder la structure de la matière

Faisceau de « particules » connues



Cible macroscopique



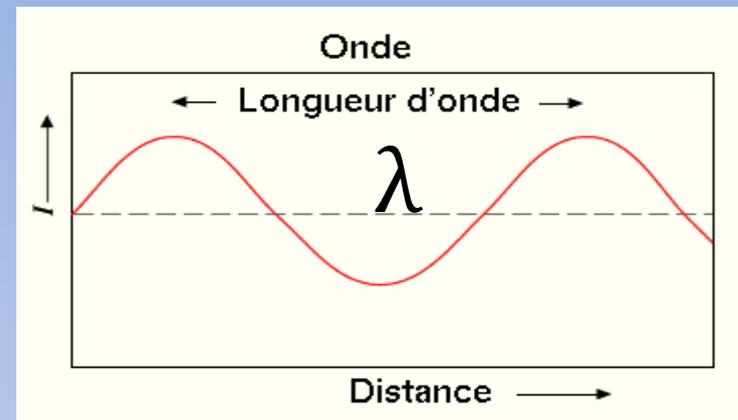
Détecteur

Pourquoi de grandes énergies pour sonder la structure de la matière ?... Physique Quantique

Hautes énergies → Domaine Relativiste

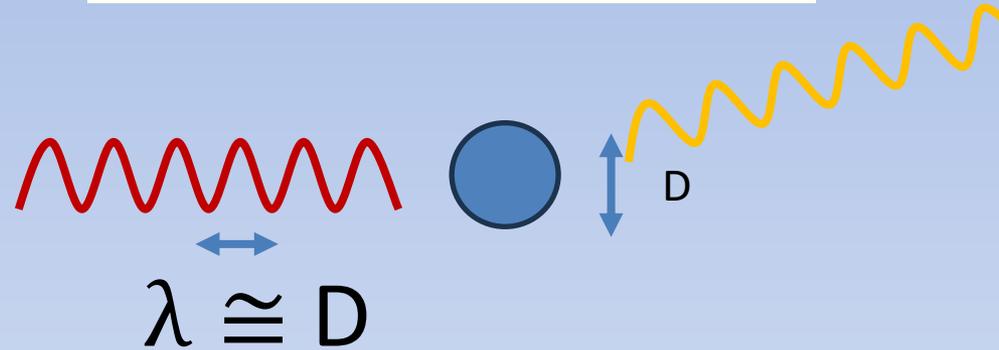
Description des interactions entre particules :
→ Mécanique Quantique et Relativité

Sonde = Lumière = onde
 « + » photons
 = « **Objet quantique** »



$$\lambda = \frac{2\pi\hbar c}{E}$$

$E \nearrow \Rightarrow \lambda \searrow$



Sonde = électrons (particules élémentaires de masse non nulle)
 = « **Objet quantique** » = longueur d'onde de De Broglie $\lambda_e = \frac{2\pi\hbar}{mv}$

« *Domaine
 Ultra-
 Relativiste* »

Si $E_e \gg m_e c^2$

$$E_e = T_{cin} + m_e c^2 \approx T_{cin}$$



$$\lambda_e \approx \frac{2\pi\hbar c}{E_e}$$

Sonder les (très) courtes distances → sonde de haute énergie

$$D \approx \lambda_e \approx \frac{2\pi\hbar c}{E_e} \implies E_e = \frac{2\pi\hbar c}{D}$$

« Voir » un noyau :

$$D \approx 10^{-15} m \implies E_e \approx 1000 m_e c^2 \gg m_e c^2$$

« Voir » les quarks dans un proton :

$$D \approx 10^{-17} m \implies \text{gagner un facteur 100}$$

Ordres de grandeurs et unités utilisées

eV, MeV, GeV, TeV...

$$m_e c^2 \approx 0,5 \text{ MeV}$$

$$m_p c^2 \approx 1 \text{ GeV} \cong 2000 m_e c^2$$

Accélérateurs actuels les plus puissants:

LEP au CERN (fermé) : électrons ou positrons

$$E_e \approx 100 \text{ GeV}$$

LHC au CERN :
protons

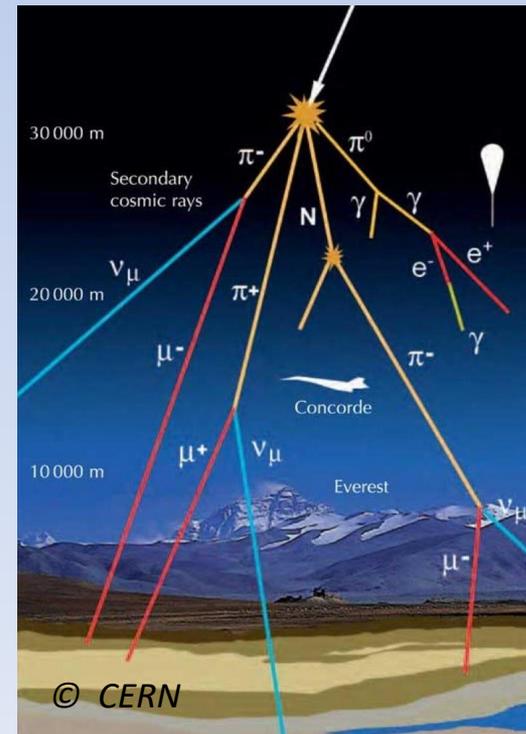
$$E_p \approx 7 - 14 \text{ TeV}$$
$$\approx 10\,000 m_p c^2$$

E_{LHC}



Les accélérateurs les plus puissants
sont situés dans l'Univers lointain !

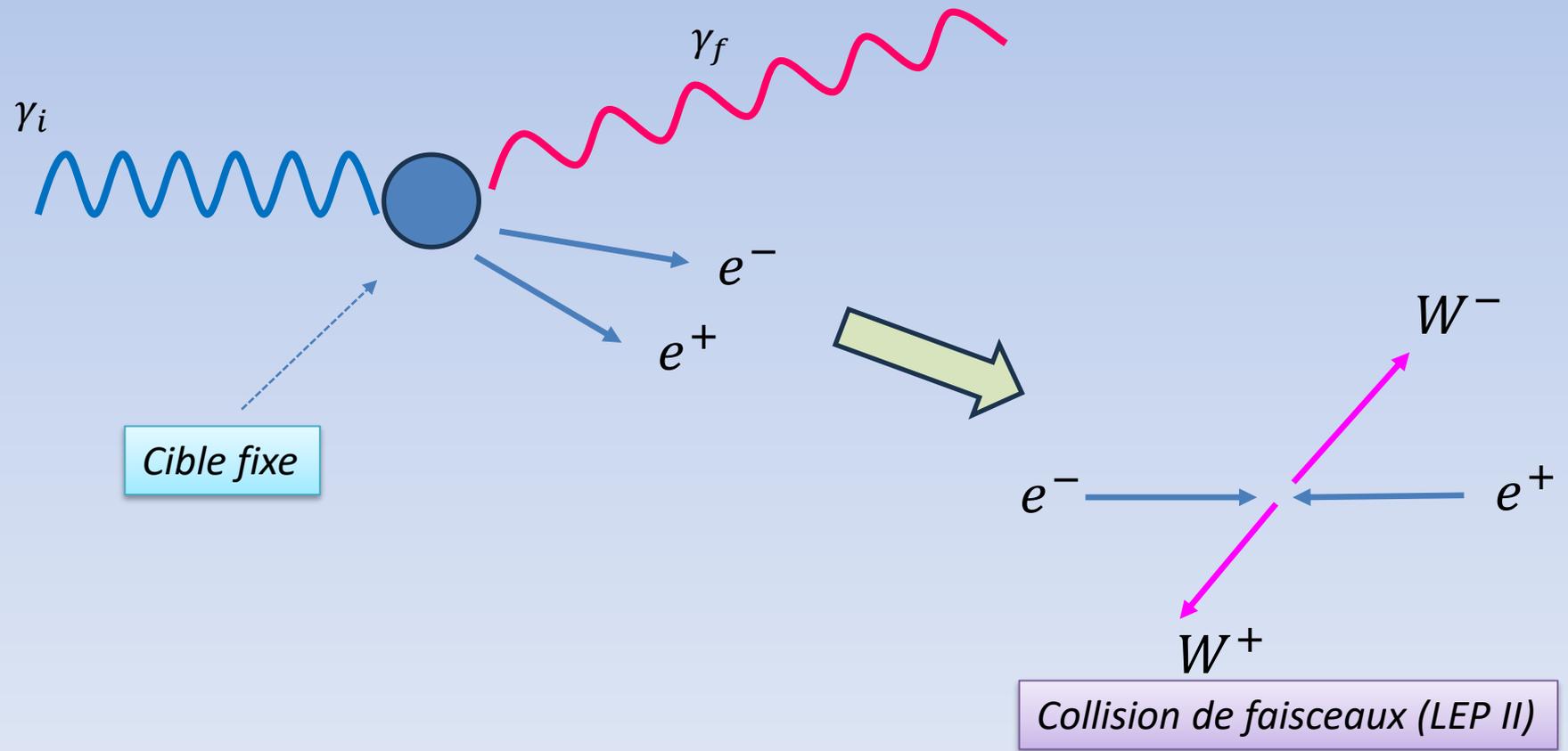
Rayons cosmiques (rares)
 $E \approx 10^9 \text{ TeV} \approx 100 \text{ millions } E_{LHC}$
(160 Joules = 1 balle
tennis à 300 km/h)



Domaine relativiste : énergies \gg énergies de masse

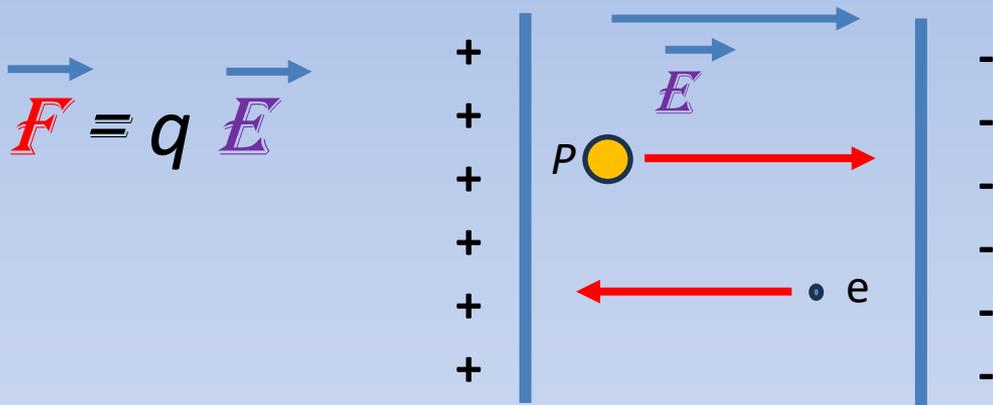
→ Un autre phénomène, complémentaire à « sonder la matière »

Transformation de l'énergie en matière →
création de nouvelles particules !

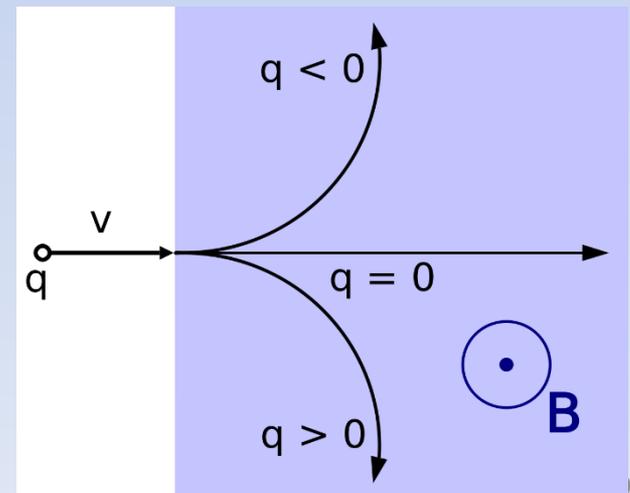


Comment atteindre les « Hautes énergies » ?

Donner de l'énergie à des particules chargées (électrons ($q < 0$) ou protons ($q > 0$)): en les accélérant grâce à un Champ électrique \vec{E}



Guider des particules chargées: grâce à des champs magnétiques \vec{B}



Accélérateur linéaire de Stanford (électrons)

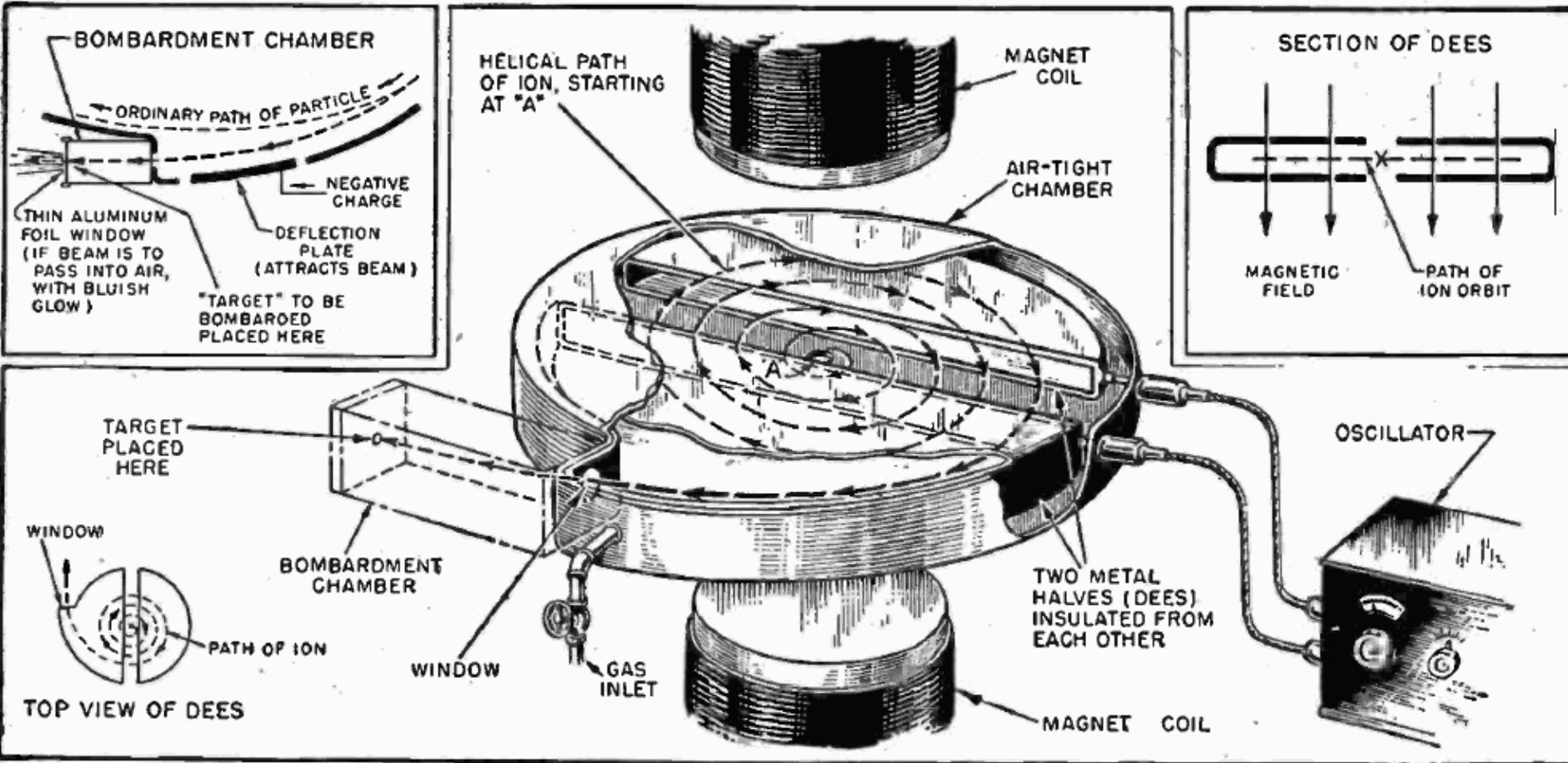
3,2 km de long , E (électrons) 60 GeV au max (*10 GeV en pratique*)

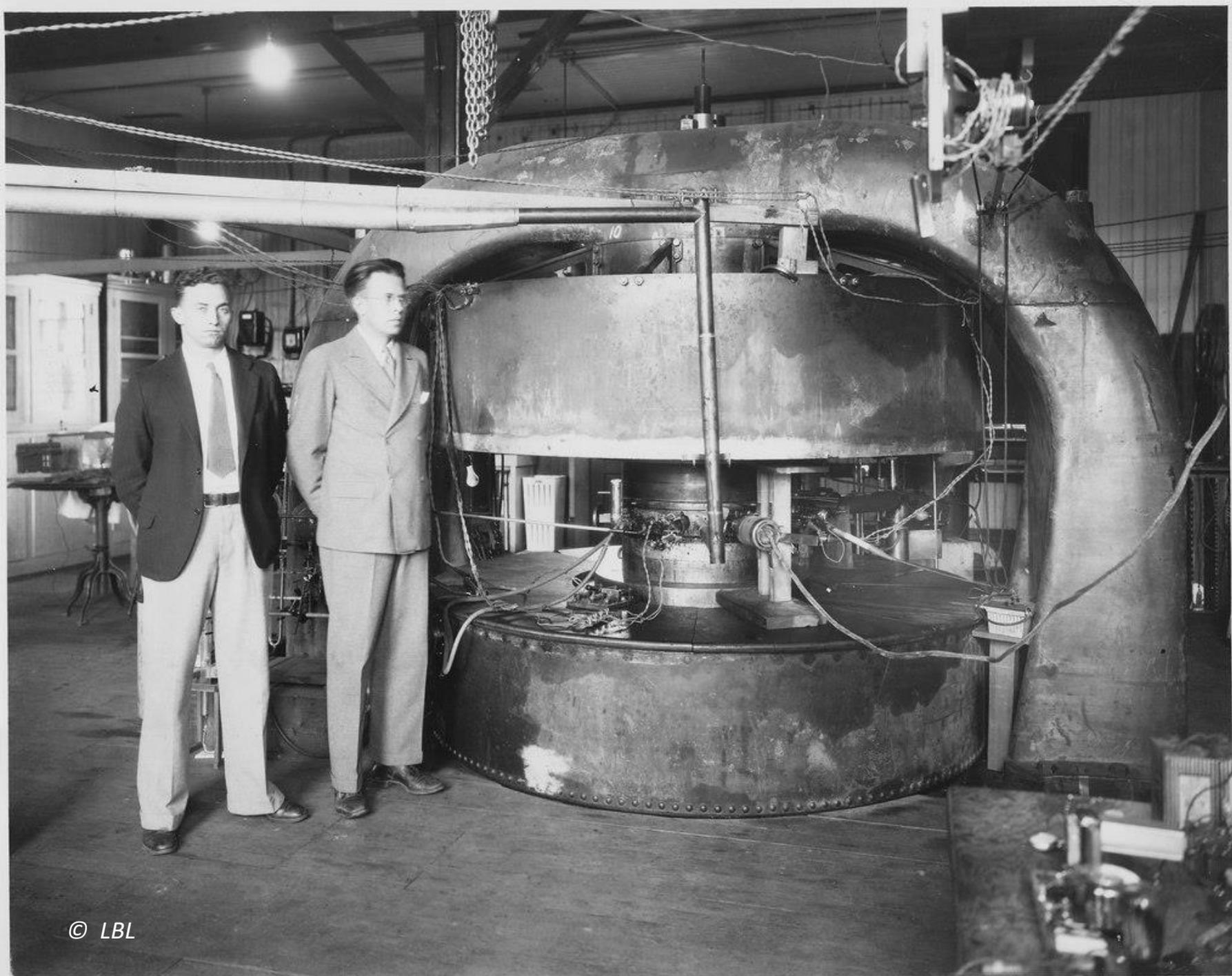
Electrons accélérés par « cavités électromagnétiques », collision avec une cible fixe:
mise en évidence de la structure en quarks des protons et neutrons (années ' 70)



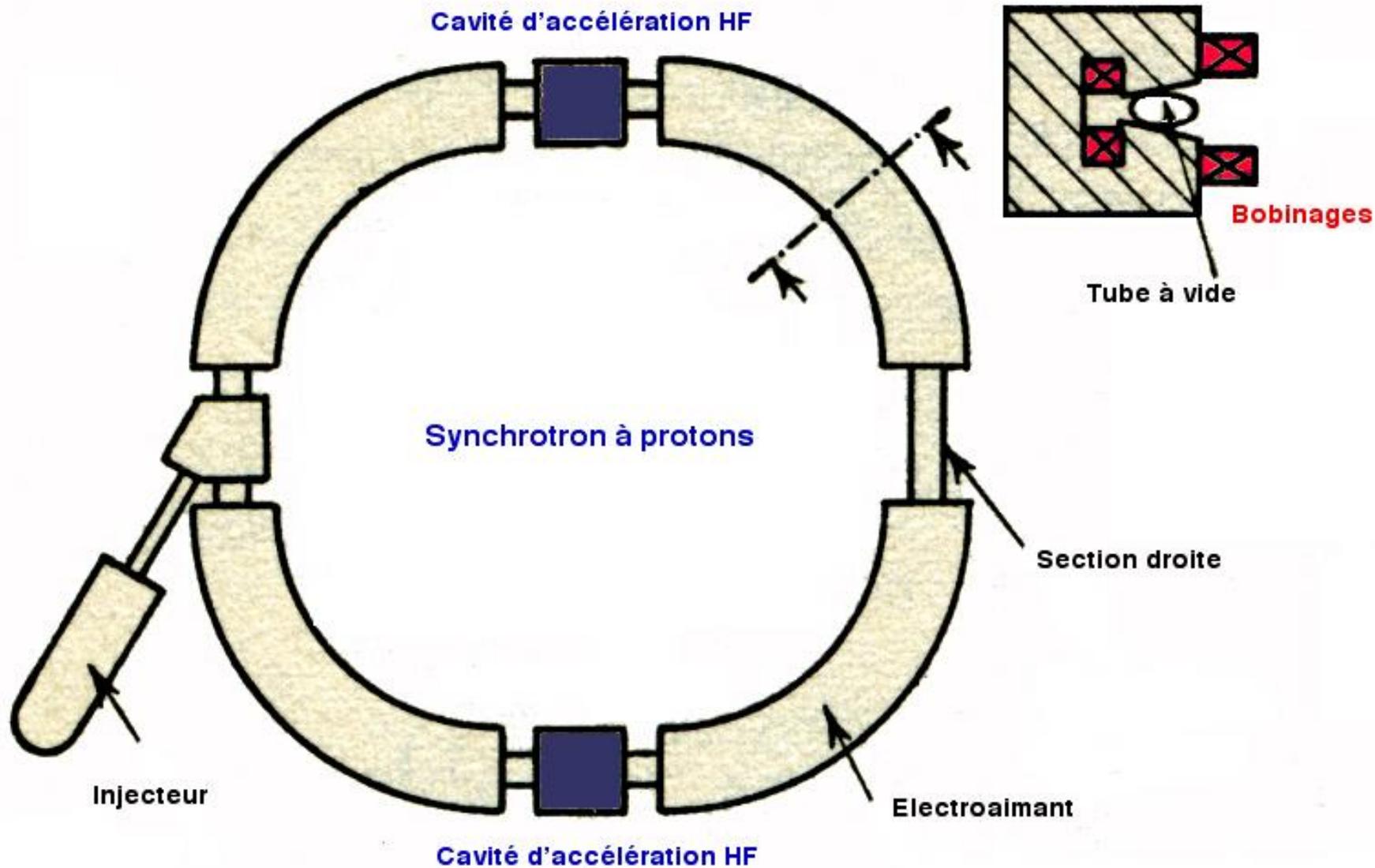
Linéaire → Circulaire

Cyclotron (1931)





Synchrotron



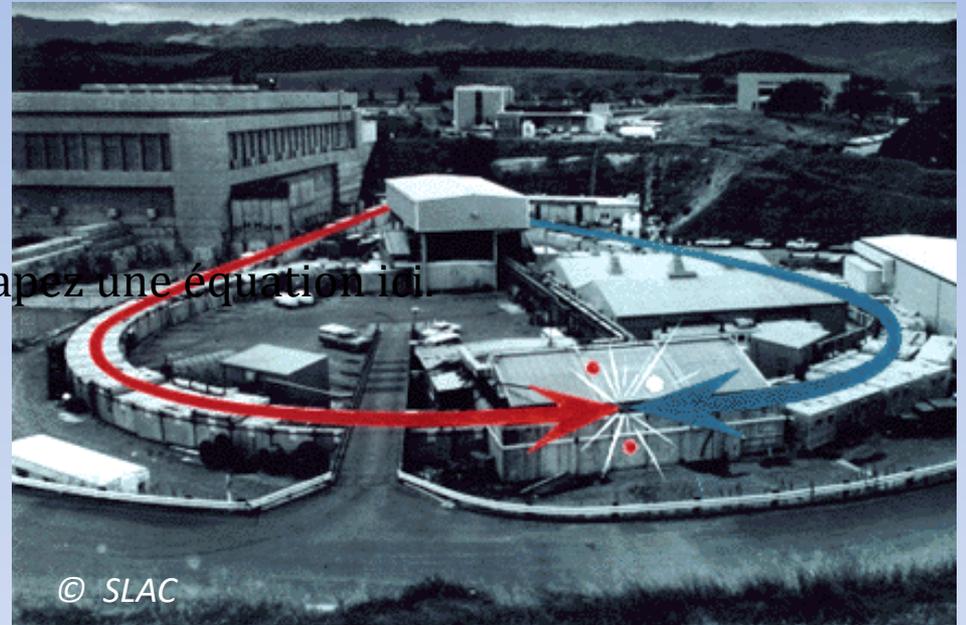
Les champs magnétiques jouent un rôle essentiel



Synchrotron à protons du CERN (1959-)

$E_p \approx 30 \text{ GeV}$ (faisceau sur cible fixe) $E_{\text{utile}} \approx 8 \text{ GeV}$

Tapez une équation ici



Anneau SPEAR de Stanford (1972): collisions e^+e^-

$E_{e^-} = E_{e^+} \approx 4 \text{ GeV}$
faisceaux en collision
 $E_{\text{utile}} = 4 + 4 = 8 \text{ GeV}$

La machine « idéale »: collisionneurs circulaires $e^+ e^-$ de haute énergie ??
→ quelques inconvénients...



Le Rayonnement Synchrotron !!
Un outil merveilleux ...ou une nuisance !!

Si $E \times 2 \rightarrow \Delta E \times 16$
Si $E \times 10 \rightarrow \Delta E \times 10\,000$!!

A rayon R fixé,

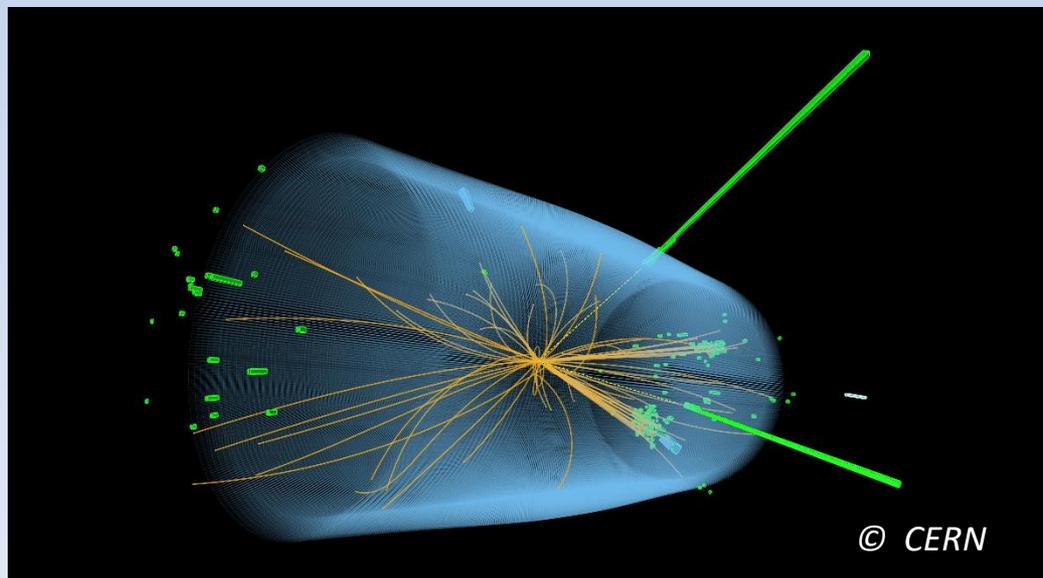
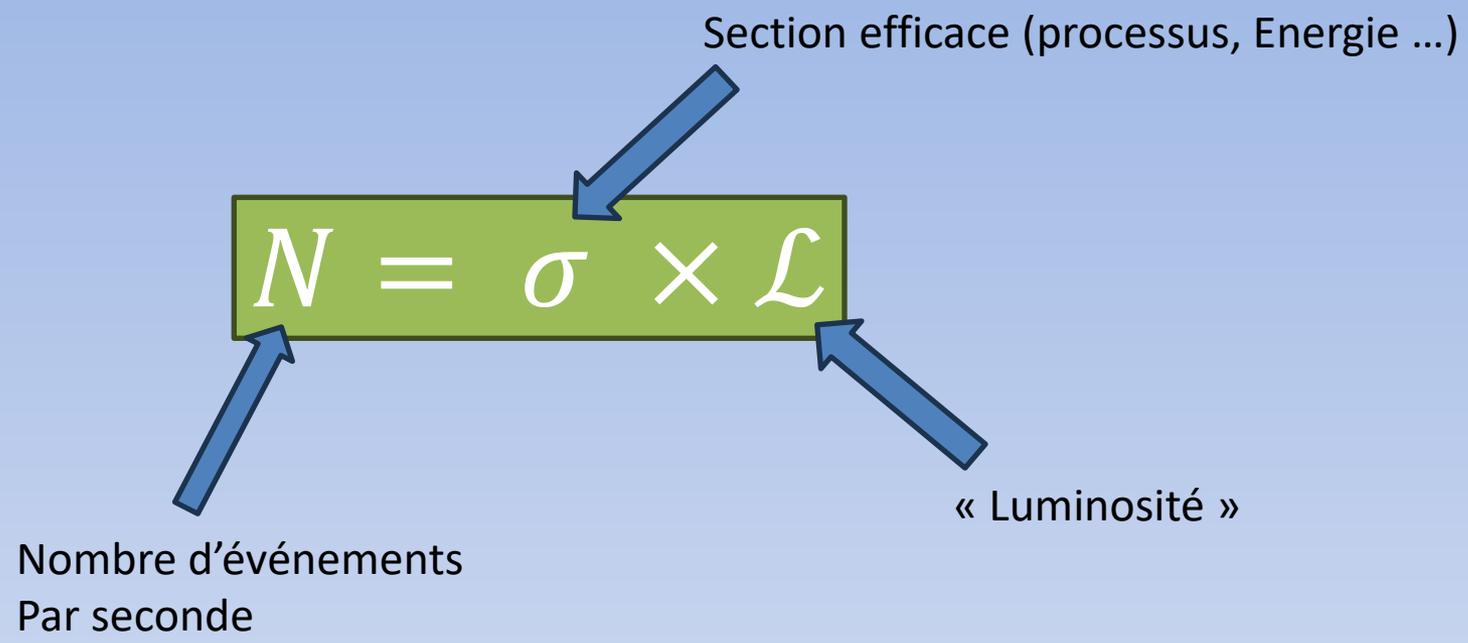
$$\text{pertes } \Delta E \approx \left(\frac{E}{m_e} \right)^4$$

Solution: augmenter le rayon R

$$m_e \rightarrow m_p \approx 2000 m_e$$

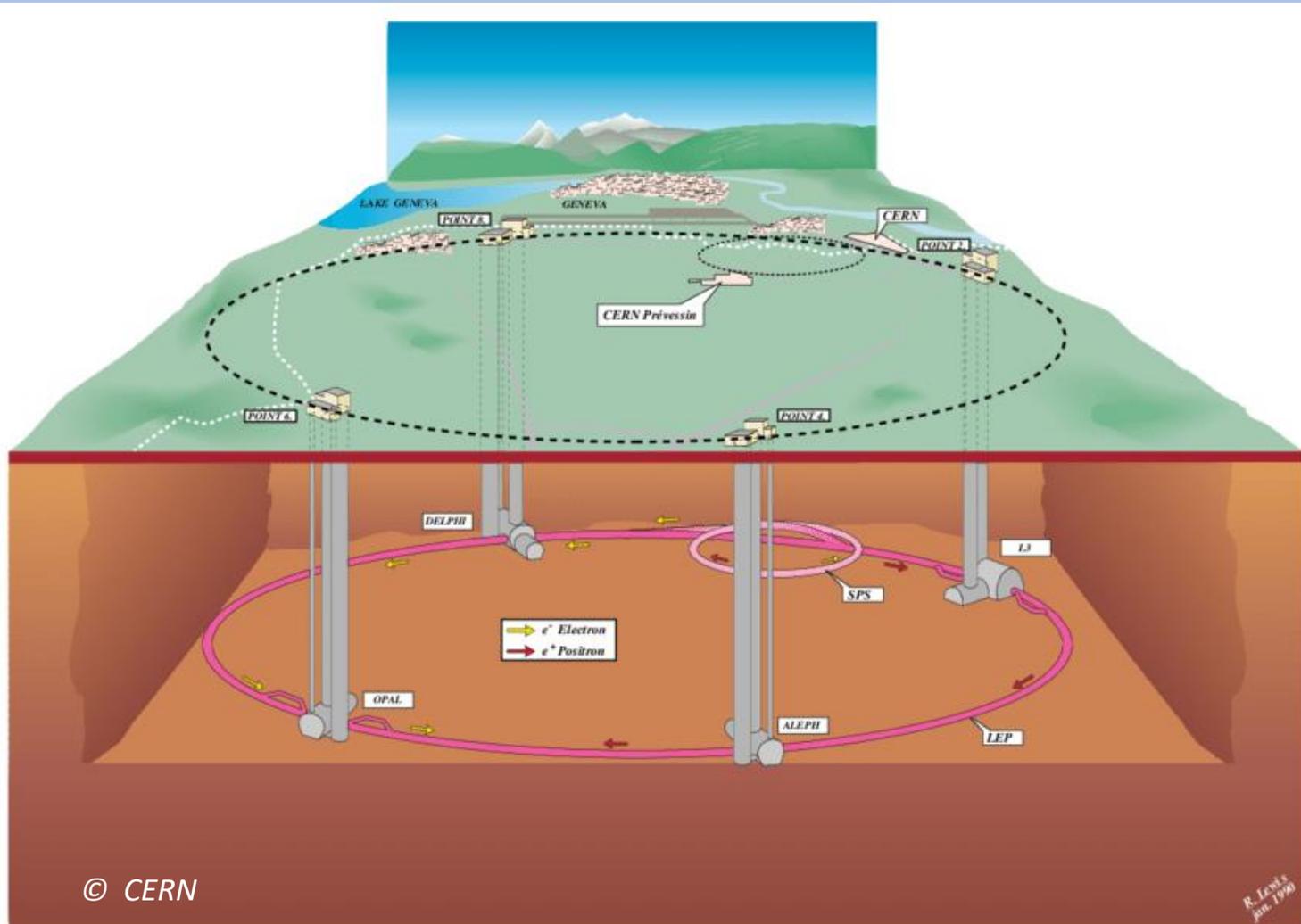
À E et R fixés, $\Delta E \searrow 10^{-13}$

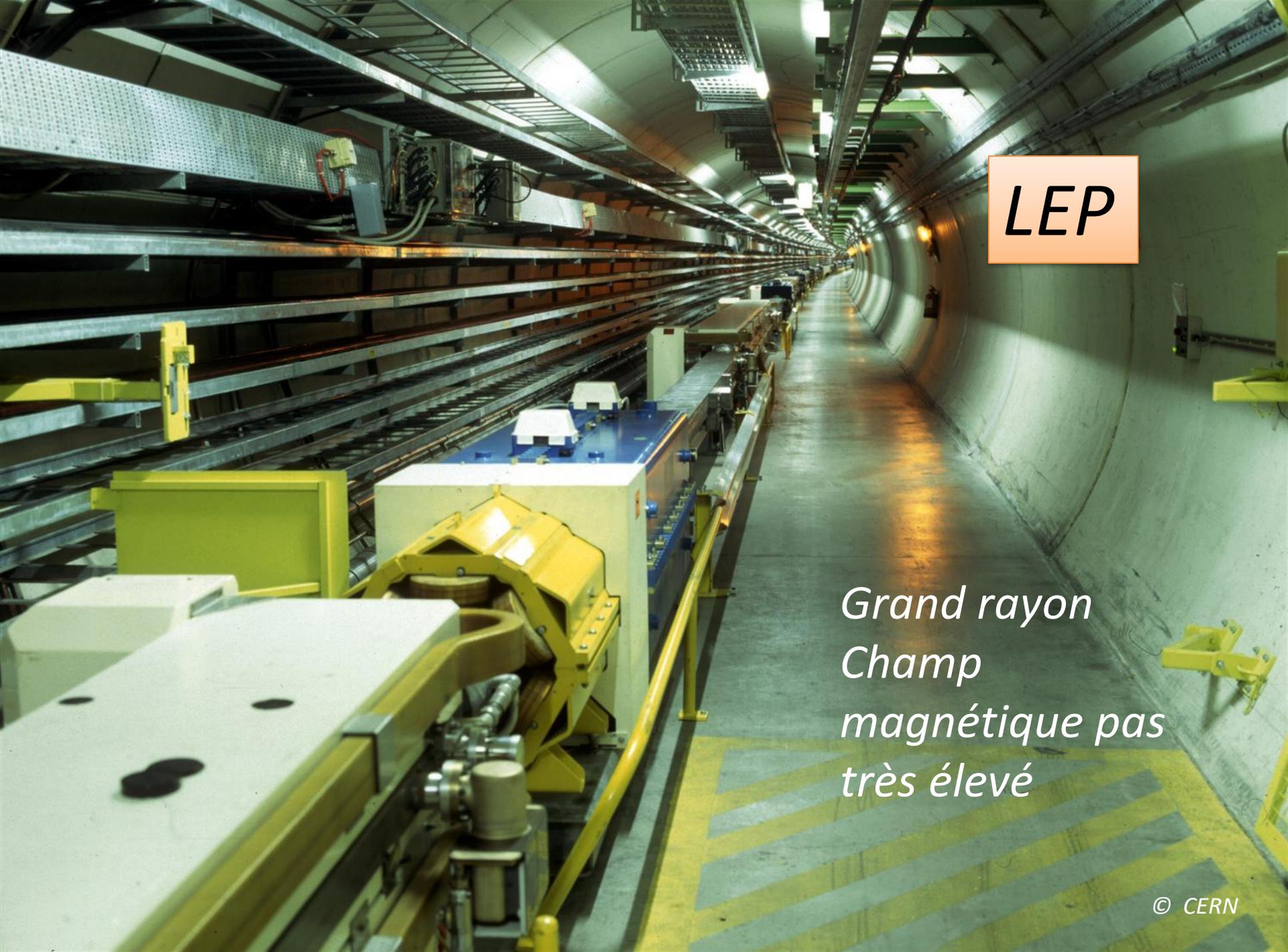
Pour les collisionneurs: La frontière de l'intensité



La méthode vertueuse du CERN: LEP (1989-2000) + LHC (2008-2029) + HL-LHC (2029 – 2041)

Creuser un très grand tunnel circulaire (27 km) pour y installer un collisionneur e^+e^- pour faire de la physique de précision à l'échelle d'énergie idéale





LEP

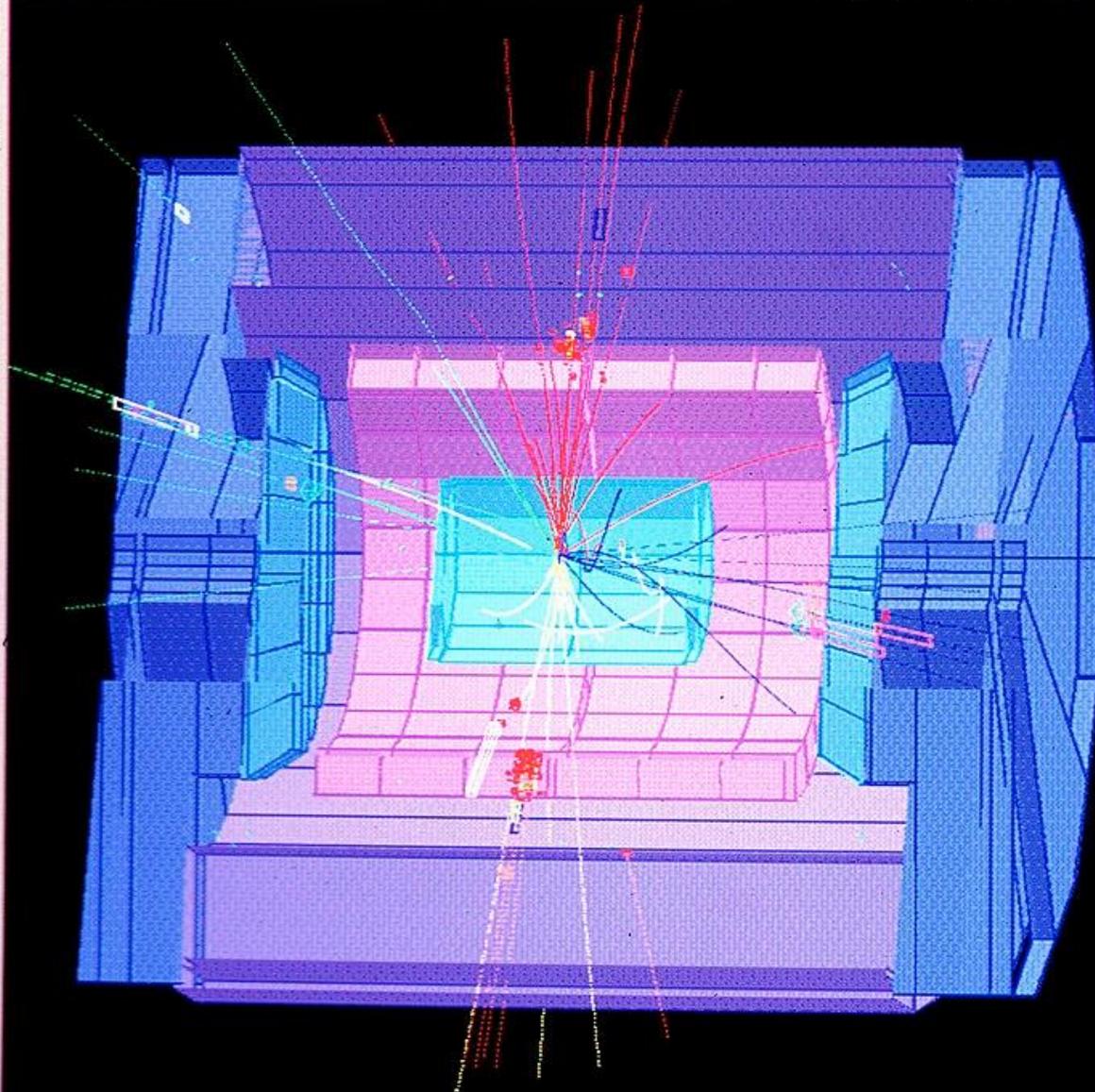
*Grand rayon
Champ
magnétique pas
très élevé*

Event_Viewing



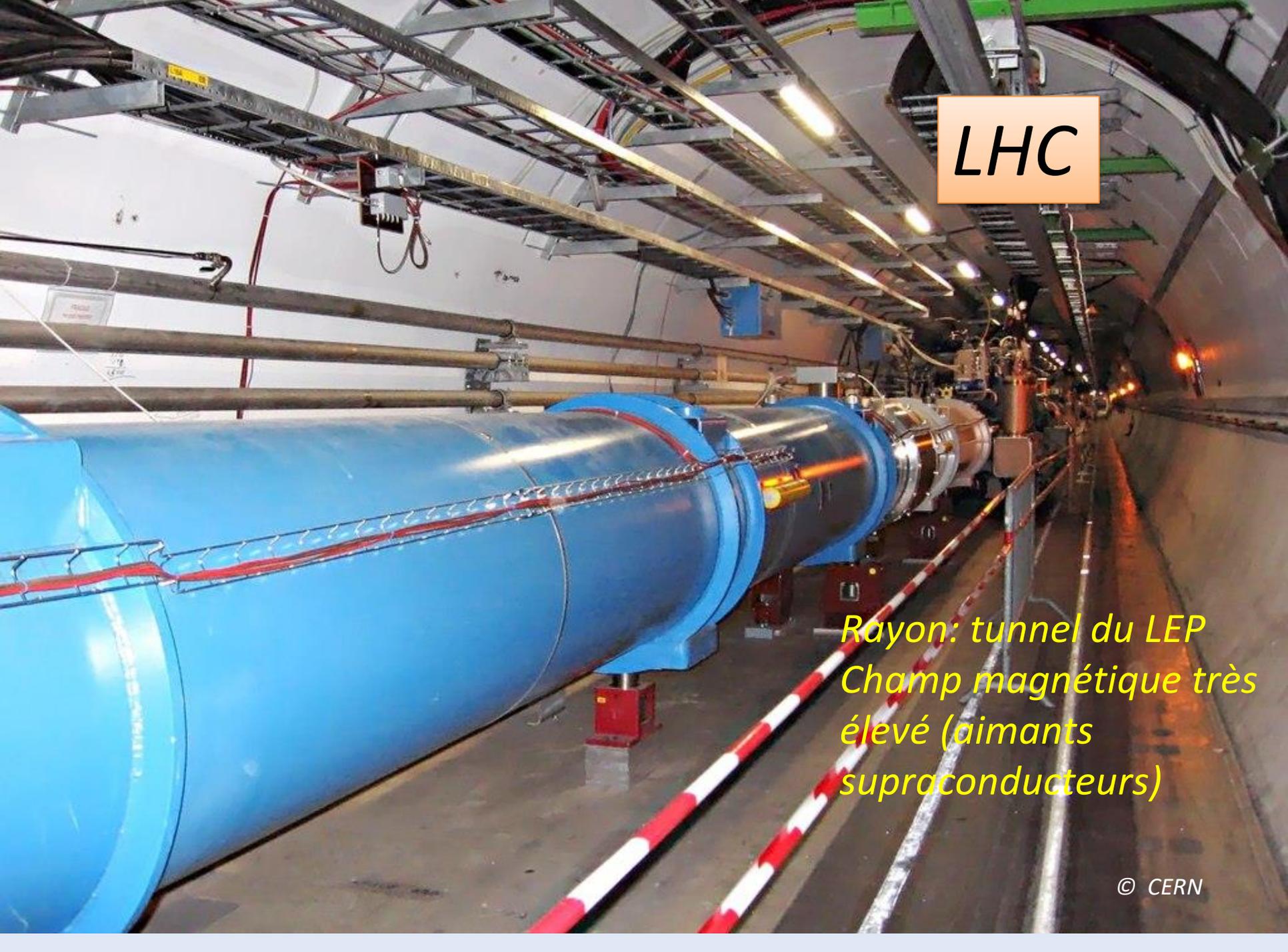
DELPHI Run: 67777 Evt: 16923
Beam: 80.7 GeV Proc: 9-Jul-1996
DAS: 9-Jul-1996 Scan: 10-Jul-1996
12:13:57 DST

	TD	TE	TS	TK	TV	PT	PA
Act	0	104	0	87	0	0	0
	(135)	(371)	(0)	(87)	(28)	(0)	(0)
Deact	0	0	0	1	0	0	0
	(0)	(0)	(0)	(1)	(0)	(0)	(0)



LHC (collisionneur pp) installé dans le tunnel du LEP ! (2008 ... 2041)

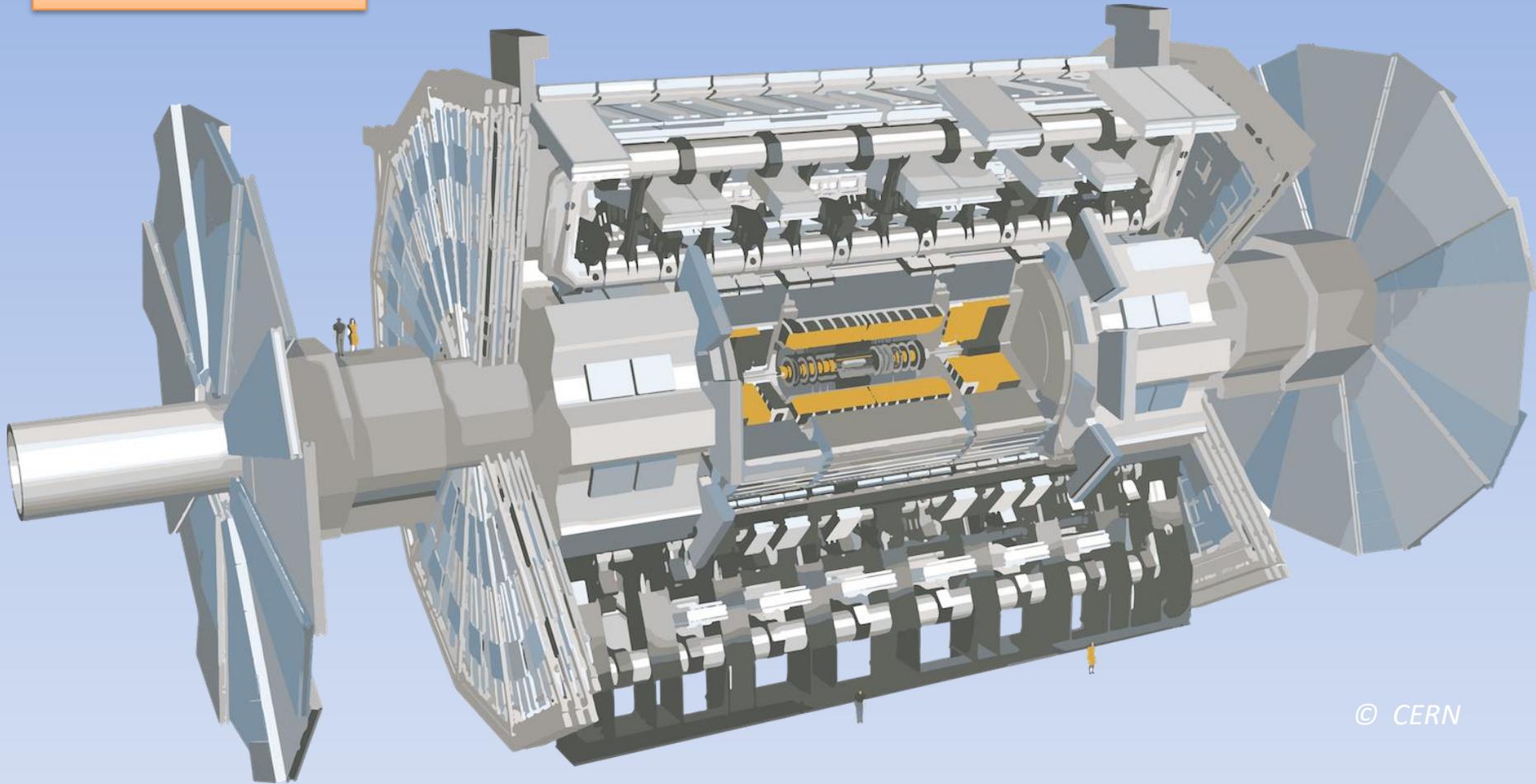




LHC

*Rayon: tunnel du LEP
Champ magnétique très
élevé (aimants
supraconducteurs)*

Détecteur ATLAS



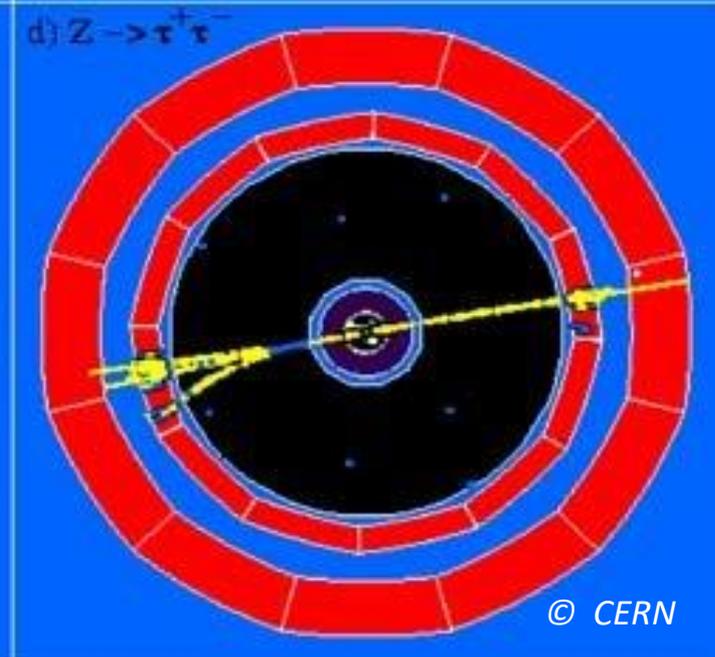
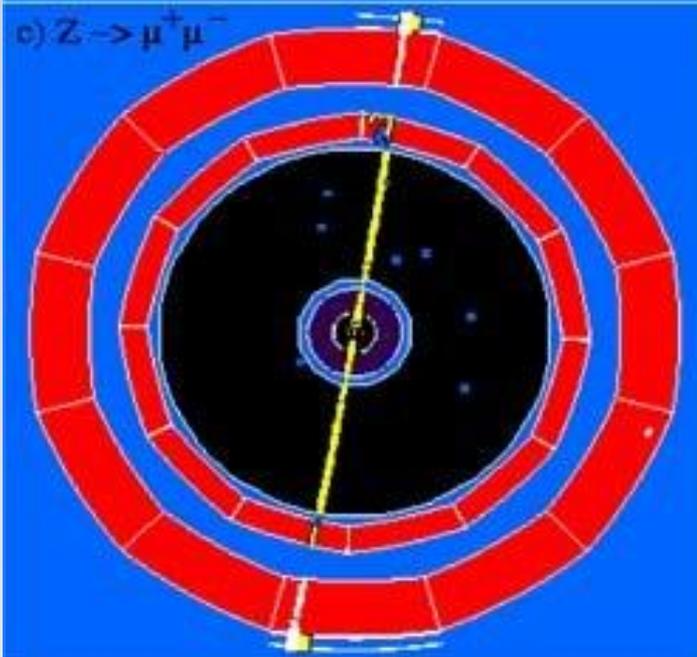
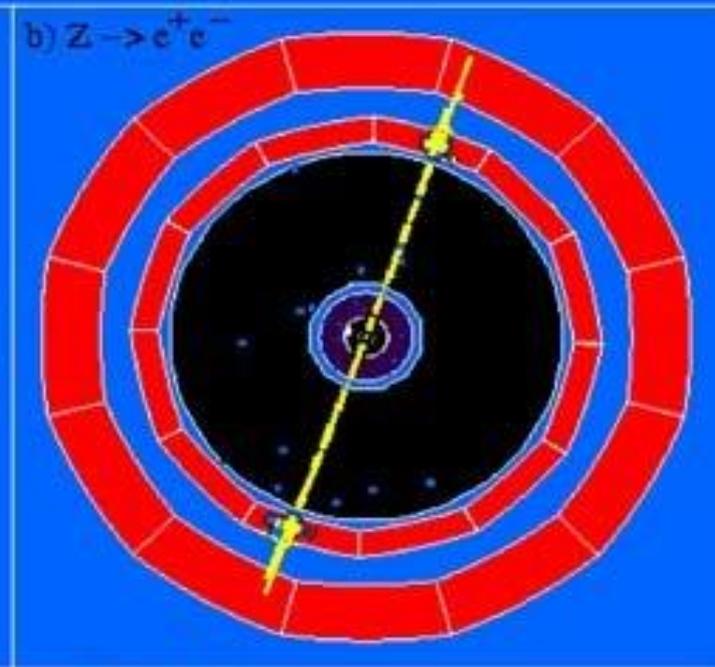
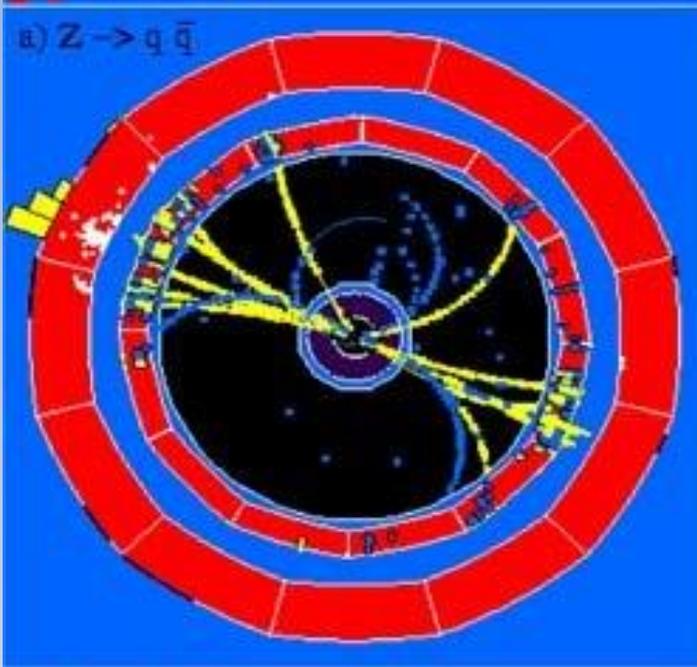
© CERN

ATLAS : plus de 5000 physiciens et ingénieurs venant de 245 instituts dans 42 pays ...



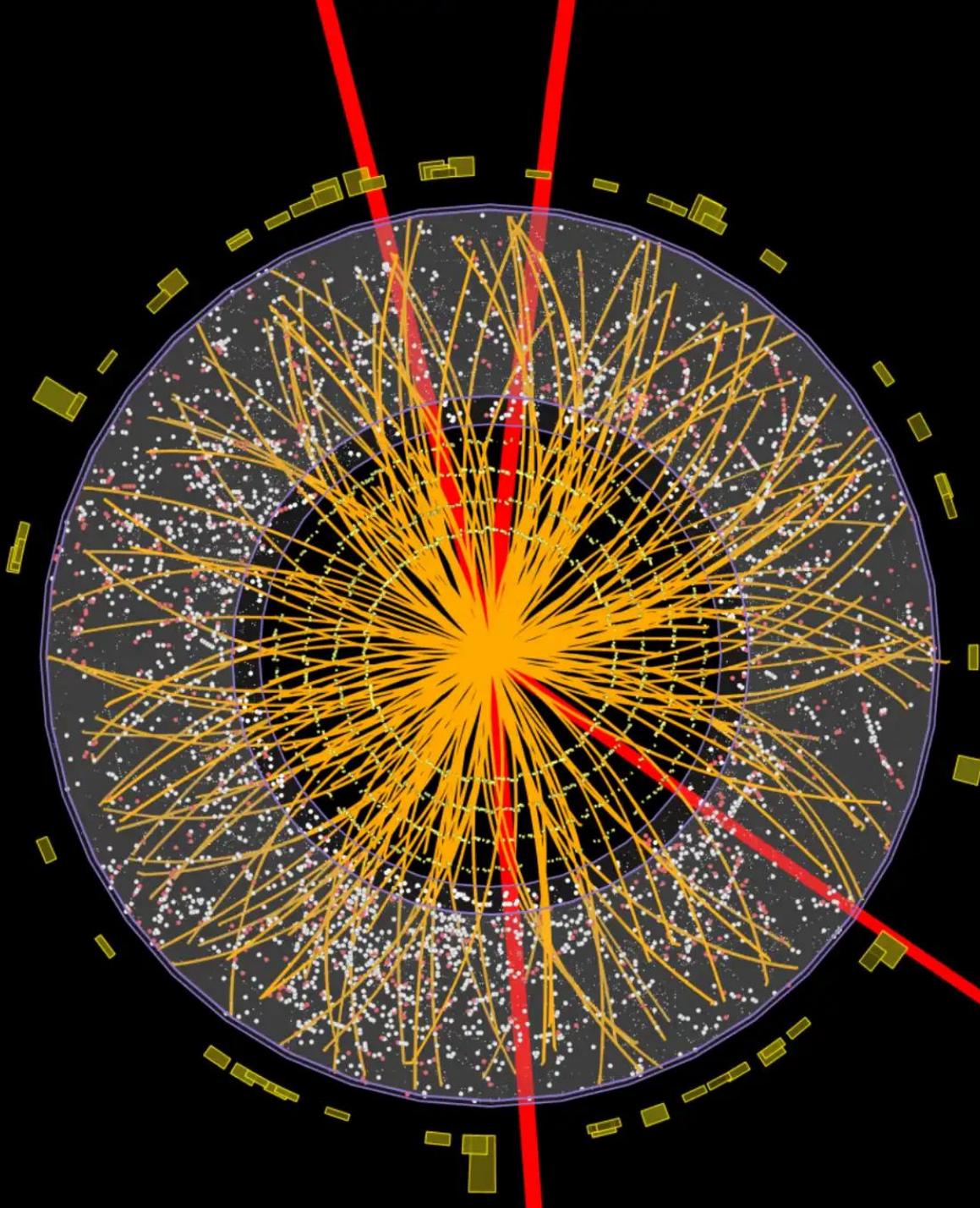
© CERN

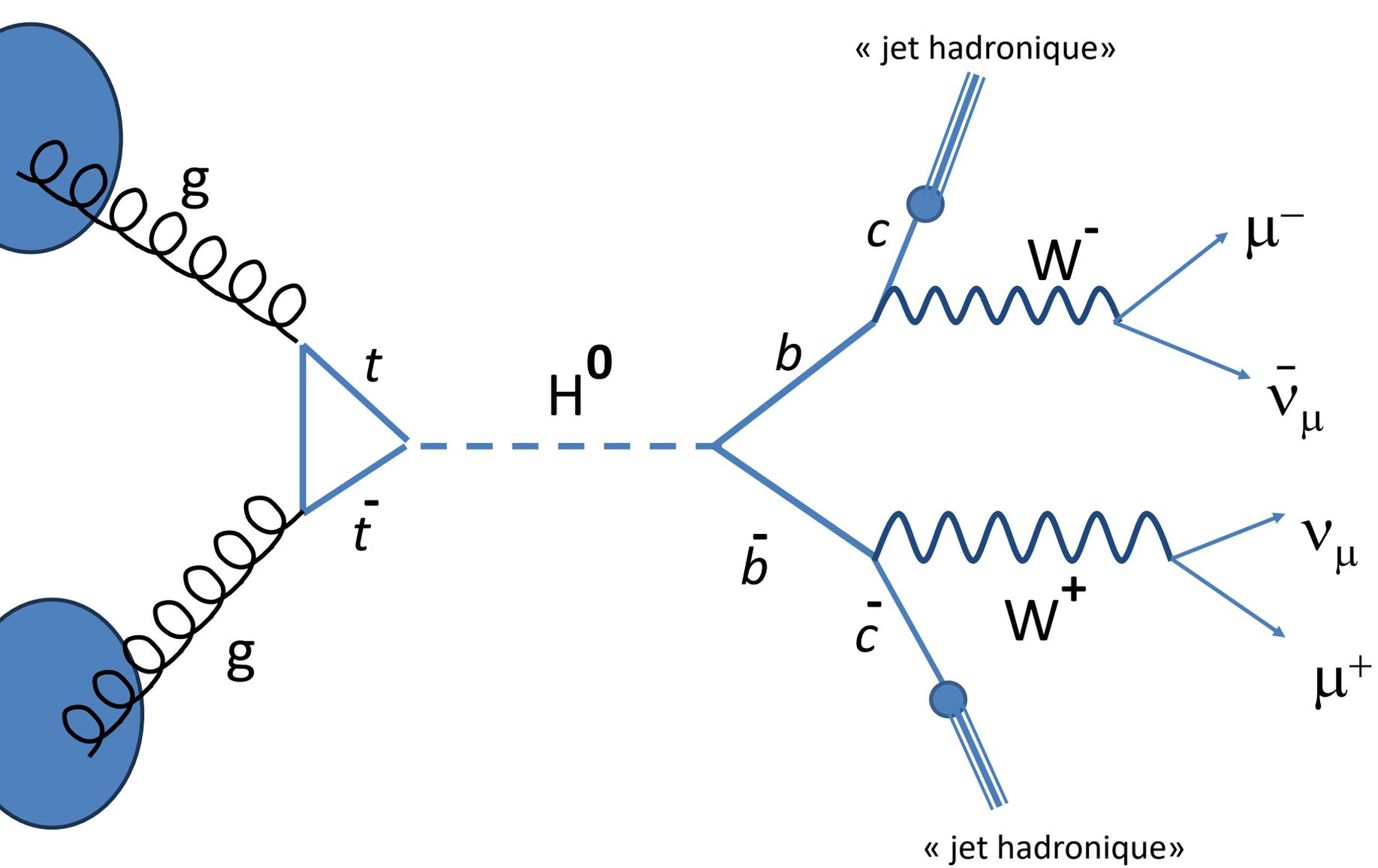
LEP



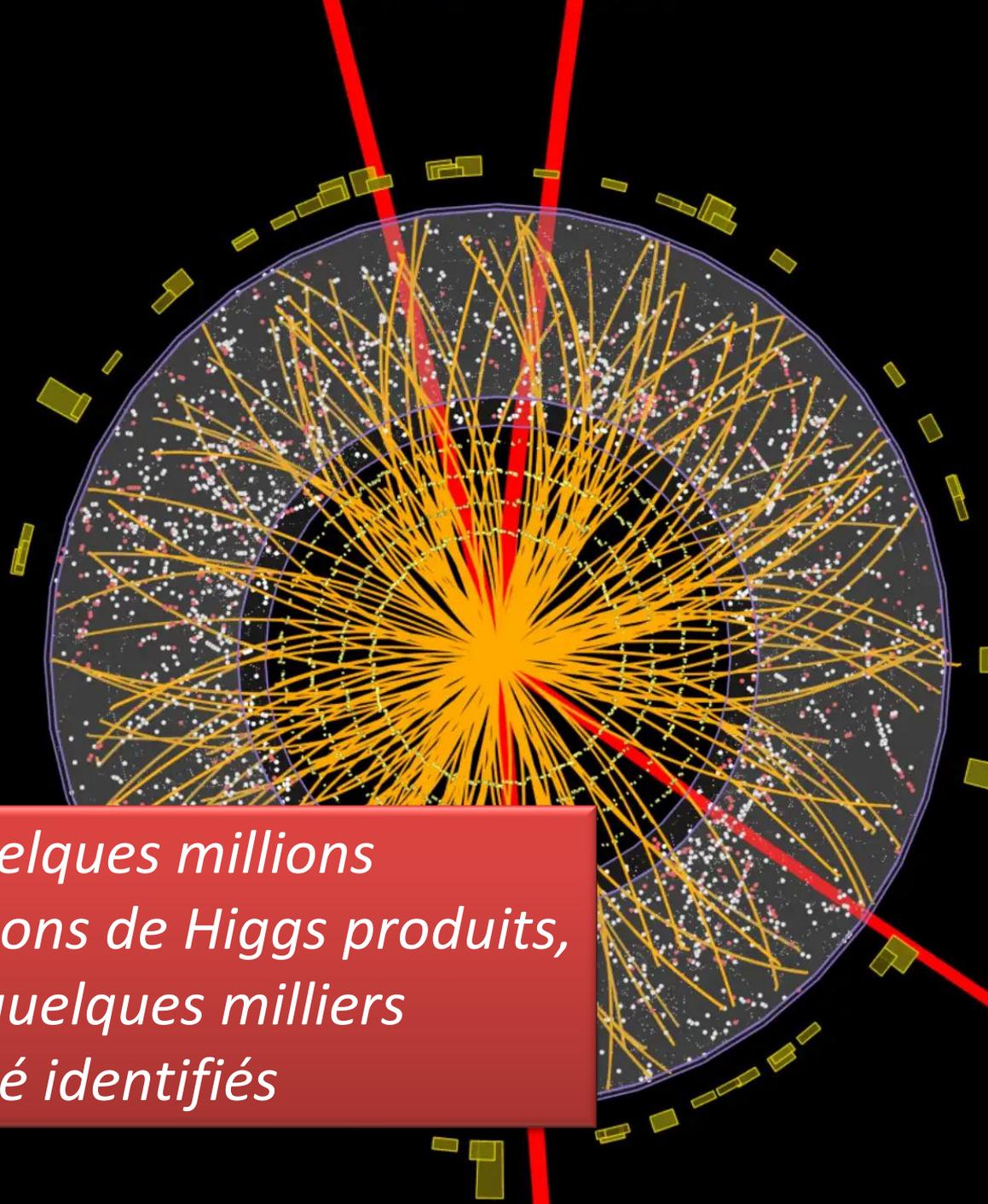
LHC

ATLAS
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>
Run: 204769
Event: 71902630
Date: 2012-06-10
Time: 13:24:31 CEST





LHC



*Sur quelques millions
de bosons de Higgs produits,
seuls quelques milliers
ont été identifiés*

Sonder la structure de la matière

*Créer de « nouvelles » particules
« exotiques »*

Aller à plus haute
énergie ?
(et plus haute intensité)

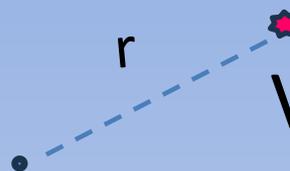
*Tester la théorie par des mesures
de précision qui sont sensibles aux effets
de particules virtuelles dans le vide
quantique*

Théorie physique → Construction cohérente
→ Domaine de validité

*... Un indice que l'on a atteint la limite de validité d'une théorie qui
doit décrire les interactions entre particules → Apparition de
quantités en principe mesurables mais pour lesquelles les calculs
théoriques donnent des **valeurs infinies** !*

Electrodynamique classique

Électron « ponctuel » de charge e et de masse m



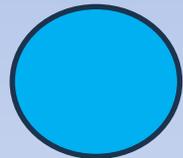
A diagram showing a point charge (represented by a red star) at a distance r from a reference point (represented by a black dot). A dashed blue line connects the two points, with the label r next to it.

$$V(r) \sim \frac{e}{r} \rightarrow 0 \text{ si } r \rightarrow \infty$$

et $\rightarrow \infty$ **si** $r \rightarrow 0$

Energie potentielle propre à l'électron qui, en principe (?) contribue à son énergie au repos mc^2 donc donnerait une masse infinie à l'électron ???

Solution la plus simple : l'électron n'est pas ponctuel



Électron = Sphère de rayon R telle que l'énergie potentielle dans la boule = $m_e c^2$

$$R_{classique} = \frac{e^2}{m_e c^2} \approx 3 R_{Proton}$$

Aucune influence sur les phénomènes « à l'échelle macroscopique » !!



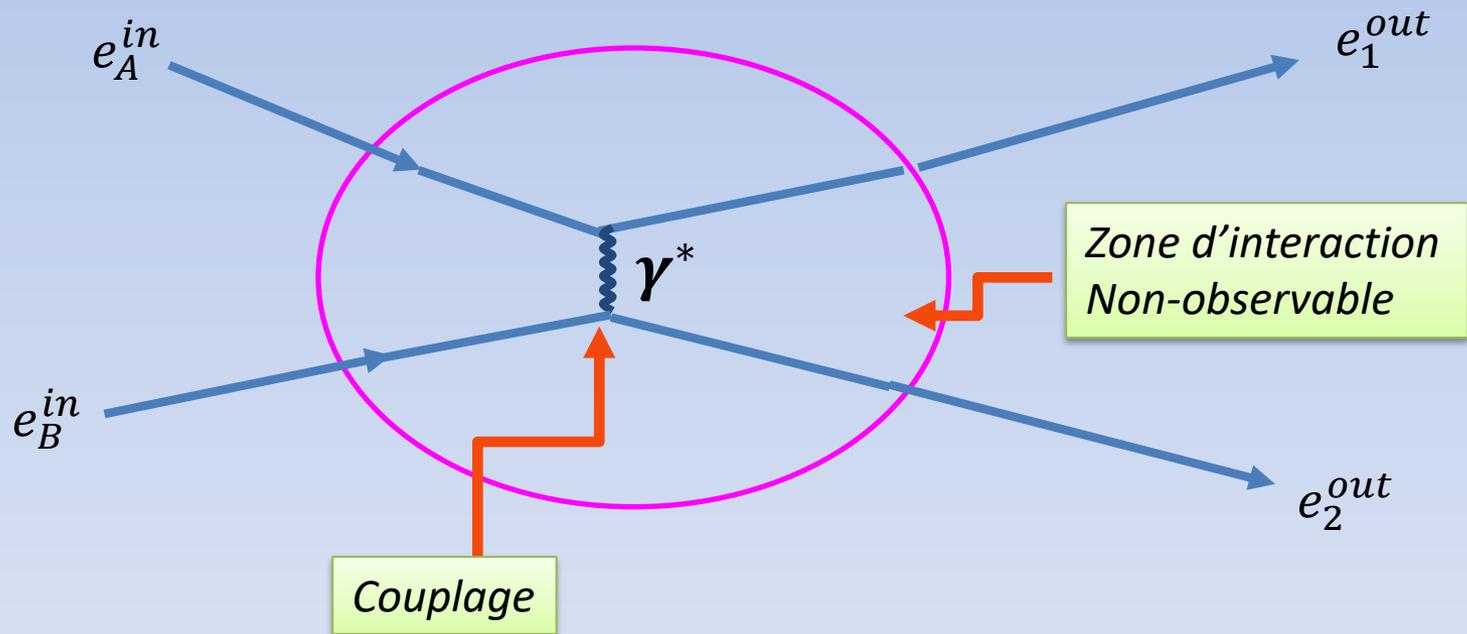
« Découplage des échelles »

Questions assez fondamentales:

- ➔ Peut-on définir des paramètres « théoriques » « nus » ie définis en « débranchant » les interactions ? Non mesurable !! Masse "vraie" $m_e = m_0 + \delta m$?? Idem pour la charge e_0 ?
- ➔ On peut résoudre ce problème en se référant uniquement à des **quantités mesurées dans une expérience** réaliste: le lien entre (m_e, e) et (m_0, e_0) s'appelle le **processus de renormalisation** ».
- ➔ On a atteint les limites du domaine de validité de la théorie classique ! La théorie quantique va-t-elle résoudre ce problème ? ... pas vraiment !!

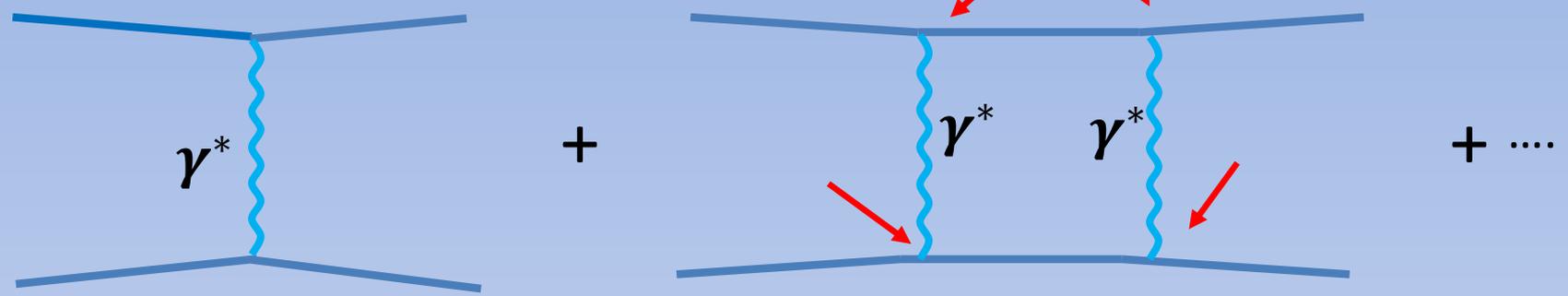
→ **Théorie Quantique des Champs**: Un cadre théorique bien défini.
Mais sa mise en œuvre est très complexe

Description d'une interaction (exemple QED)

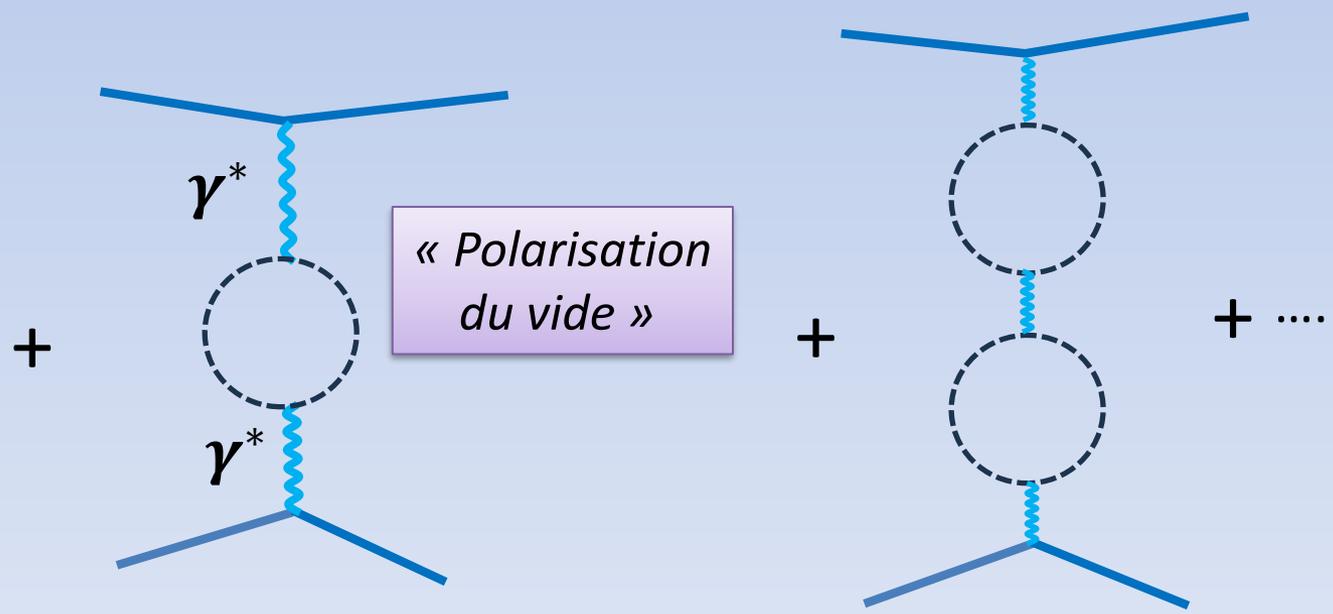


« In » et « Out » = états asymptotiques (particules libres = sans interaction)
→ États bien définis, les seuls observables

Théorie des perturbations (graphes de Feynman)



Mais aussi ...



*Sensible à toutes les particules virtuelles possibles
Pas de contrainte sur l'énergie de la particule « dans la boucle » !*

→ Procédure de « renormalisation » → **absorber les « infinis » dans les grandeurs mesurables**

« g-2 » de l'électron (*mesure à « basse » énergie*) :



*Calcul à 4 boucles
Plusieurs milliers
de diagrammes
à calculer...*

Mesure expérimentale: $g = 2,002\ 319\ 304\ 36\ 256\ (35)$

Calcul théorique : $g = 2,002\ 319\ 304\ 36\ 5\ (15)$

Accord sur 11 chiffres après la virgule ! \leftrightarrow Epaisseur d'un cheveu
sur la distance Paris-New-York

Exceptionnel en physique !!

*Procédure de « renormalisation »: Le prix à payer est que des quantités fondamentales (charge électrique renormalisée par ex.) **dépendent de l'échelle d'énergie considérée.***

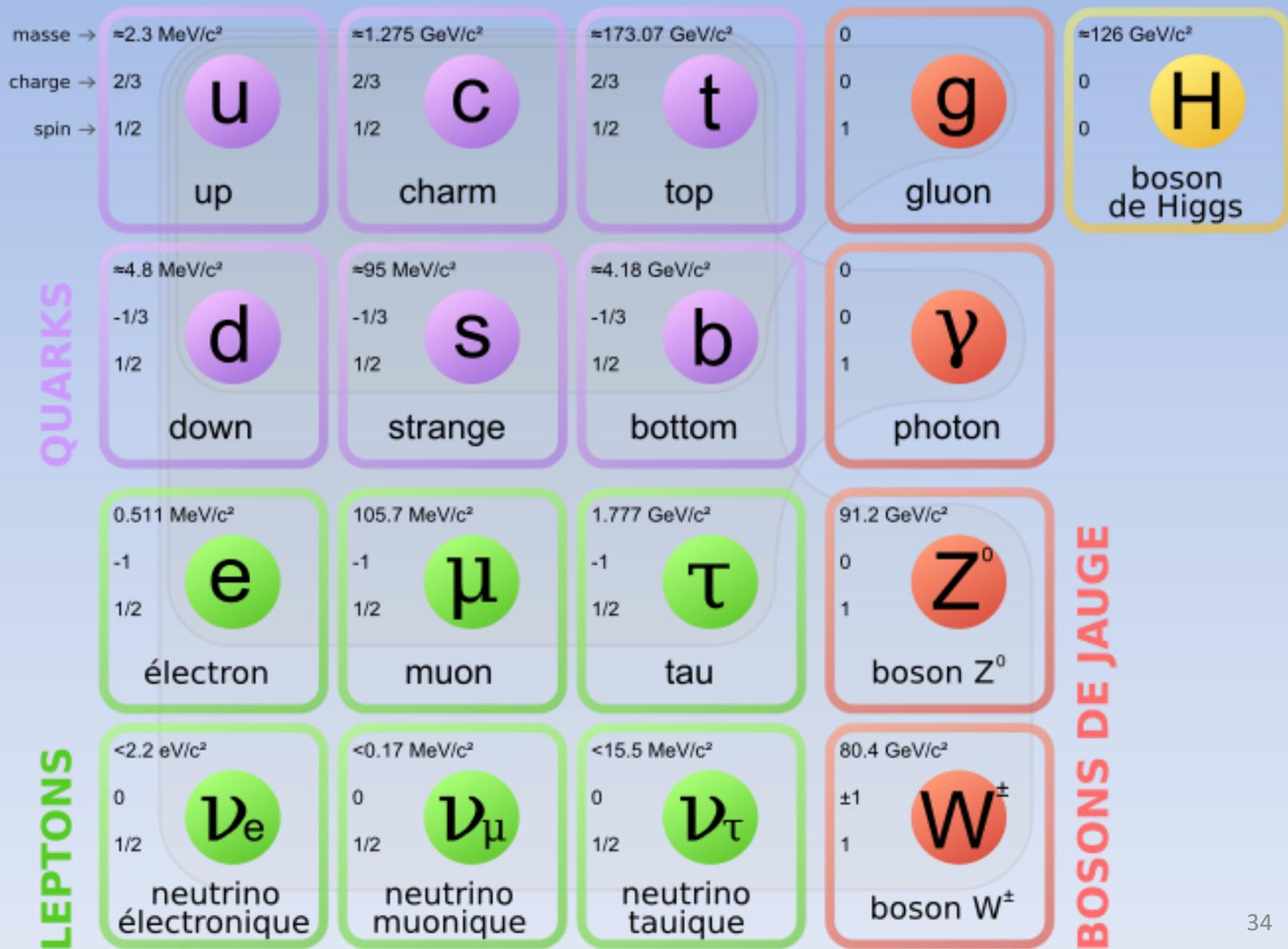
Un effet qui a été mesuré : 6% de variation de la charge électrique entre les mesures à « basse » énergie et les énergies du LEP

QED rencontre quand même des problèmes à des énergies ultra-hautes (inaccessibles) « Pôle de Landau »



Pb de cohérence ..
Mais problème « académique » car
à très haute énergie = très courte distance,
d'autres interactions (fortes et faibles)
apparaissent

Les habitants du « Modèle Standard » de la physique des particules



Interaction de couleur quarks-gluons : le cas idéal !! « Liberté asymptotique » !

	<p>masse → $\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → $2/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>u</p> <p>up</p>	<p>masse → $\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → $2/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>c</p> <p>charm</p>	<p>masse → $\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → $2/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>t</p> <p>top</p>	<p>masse → 0</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → 1</p> <p>g</p> <p>gluon</p>	<p>masse → $\approx 126 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → 0</p> <p>H</p> <p>boson de Higgs</p>
QUARKS	<p>masse → $\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → $-1/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>d</p> <p>down</p>	<p>masse → $\approx 95 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → $-1/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>s</p> <p>strange</p>	<p>masse → $\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → $-1/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>b</p> <p>bottom</p>	<p>masse → 0</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → 1</p> <p>γ</p> <p>photon</p>	
	<p>masse → $0.511 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → -1</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>e</p> <p>électron</p>	<p>masse → $105.7 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → -1</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>μ</p> <p>muon</p>	<p>masse → $1.777 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → -1</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>τ</p> <p>tau</p>	<p>masse → $91.2 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → 1</p> <p>Z^0</p> <p>boson Z^0</p>	BOSONS DE JAUGE
LEPTONS	<p>masse → $< 2.2 \text{ eV}/c^2$</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>ν_e</p> <p>neutrino électronique</p>	<p>masse → $< 0.17 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>ν_μ</p> <p>neutrino muonique</p>	<p>masse → $< 15.5 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>ν_τ</p> <p>neutrino tauique</p>	<p>masse → $80.4 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → ± 1</p> <p>spin → 1</p> <p>W^\pm</p> <p>boson W^\pm</p>	

Interaction de couleur quarks-gluons : le cas idéal !! « Liberté asymptotique » !

	<p>masse → $\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → $2/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>u</p> <p>up</p>	<p>masse → $\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → $2/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>c</p> <p>charm</p>	<p>masse → $\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → $2/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>t</p> <p>top</p>	<p>masse → 0</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → 1</p> <p>g</p> <p>gluon</p>	<p>masse → $\approx 126 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → 0</p> <p>H</p> <p>boson de Higgs</p>	
QUARKS	<p>masse → $\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → $-1/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>d</p> <p>down</p>	<p>masse → $\approx 95 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → $-1/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>s</p> <p>strange</p>	<p>masse → $\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → $-1/3$</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>b</p> <p>bottom</p>	<p>masse → 0</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → 1</p> <p>γ</p> <p>photon</p>		
	<p>masse → $0.511 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → -1</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>e</p> <p>électron</p>	<p>masse → $105.7 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → -1</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>μ</p> <p>muon</p>	<p>masse → $1.777 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → -1</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>τ</p> <p>tau</p>	<p>masse → $91.2 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → 1</p> <p>Z^0</p> <p>boson Z^0</p>	BOSONS DE JAUGE	
	LEPTONS	<p>masse → $< 2.2 \text{ eV}/c^2$</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>ν_e</p> <p>neutrino électronique</p>	<p>masse → $< 0.17 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>ν_μ</p> <p>neutrino muonique</p>	<p>masse → $< 15.5 \text{ MeV}/c^2$</p> <p>charge → 0</p> <p>spin → $1/2$</p> <p>ν_τ</p> <p>neutrino tauique</p>		<p>masse → $80.4 \text{ GeV}/c^2$</p> <p>charge → ± 1</p> <p>spin → 1</p> <p>W^\pm</p> <p>boson W^\pm</p>

Interactions « Electro-faibles » Sous contrôle ...

Interaction de couleur quarks-gluons : le cas idéal !! « Liberté asymptotique » !

masse →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H boson de Higgs
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	e électron	μ muon	τ tau	Z^0 boson Z^0	
	ν_e neutrino électronique	ν_μ neutrino muonique	ν_τ neutrino tauique	W^\pm boson W^\pm	

QUARKS

LEPTONS

BOSONS DE JAUGE

Le Boson de Higgs... plus délicat ...

Interactions « Electro-faibles » Sous contrôle ...

Le mécanisme de « Brout-Englert-Higgs » : un modèle astucieux qui permet de donner des masses à toutes les particules présentes dans le Modèle Standard sans détruire les « qualités » de la théorie.

Prédit l'existence d'une particule « très simple » : le boson scalaire de Higgs qui apparaît comme une fluctuation quantique du champ de Higgs.

Un modèle incomplet ??

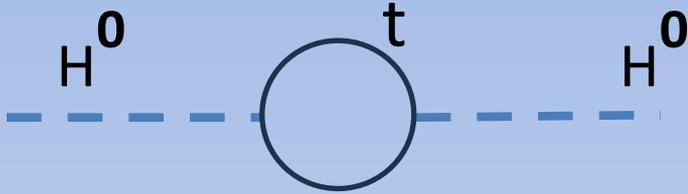
- La masse du boson de Higgs est très peu contrainte par le modèle
Découverte (2012) au LHC:

$$m_H c^2 \approx 125 \text{ GeV}$$

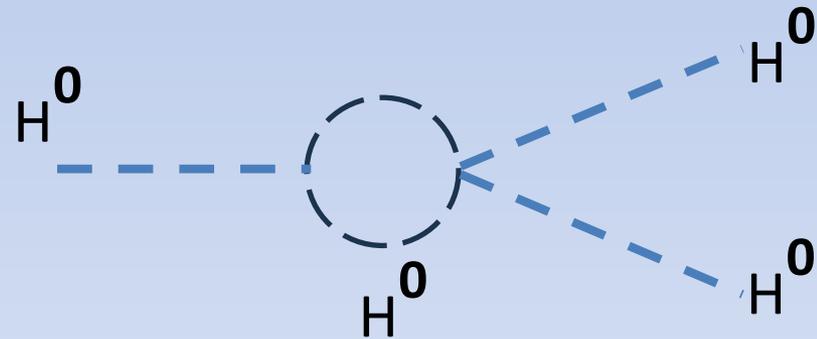
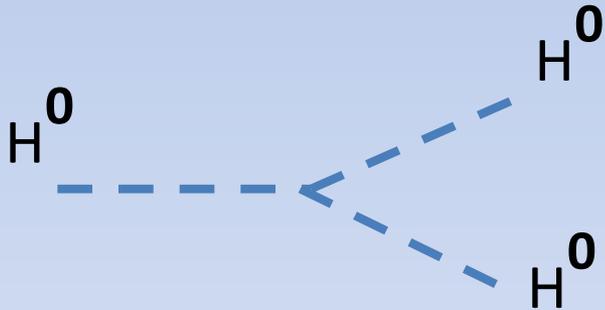
- Plutôt que donner leurs masses aux particules de matière (quarks, électrons etc ..) **il rend compatible avec la théorie le fait que ces particules ont une masse**, il n'y a aucune explication au très large spectre de masse de particules
(le quark Top est 350 000 fois plus massif que l'électron ...)

- Les **corrections quantiques** à la masse du boson de Higgs sont très importantes, ce qui pose un problème s'il existe une échelle élevée de « grande unification »

Le boson de Higgs couple aux particules massives...



... mais il couple aussi avec lui-même ...



Des comportements qu'il faut impérativement tester pour vérifier la théorie !

Un pari raisonnable pour une machine de plus haute énergie:

- Explorer en détail le « secteur de Higgs » et mieux cerner sa nature
- Trouver de nouvelles particules, en relation ou pas avec le « secteur de Higgs »
- *Trouver les particules de « matière noire » ou toute autre particule jouant un rôle en cosmologie...*

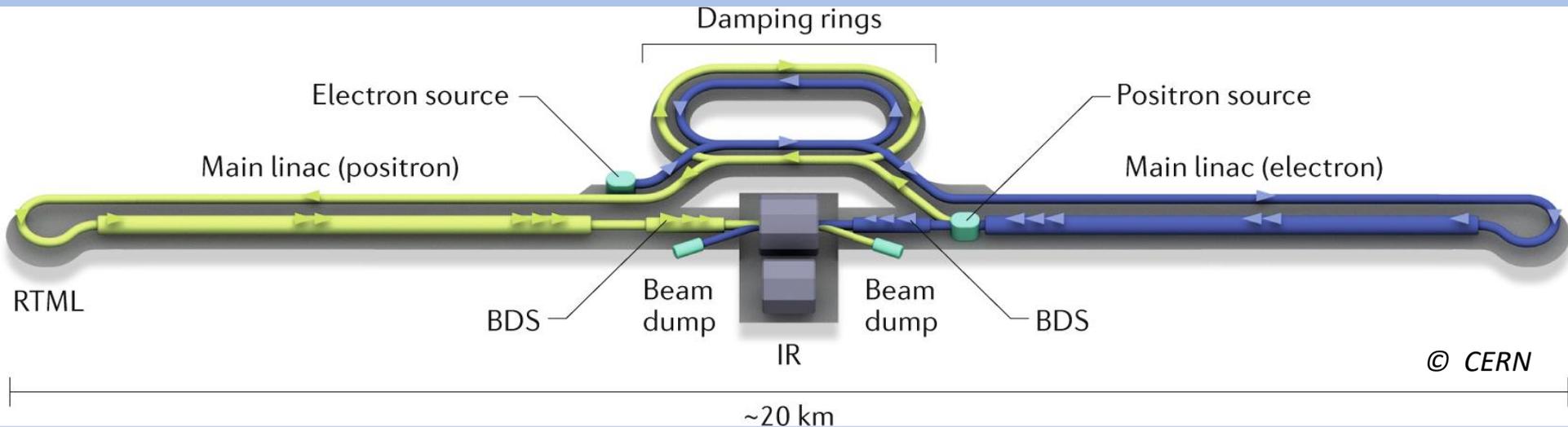
Un pari risqué ?

- Le risque du « grand désert » : un boson de Higgs unique, « horriblement standard » et « rien » avant des énergies très élevées inatteignables ...
- Aucune prédiction sérieuse sur les valeurs des masses des hypothétiques particules exotiques (supersymétriques etc...)
- Aucune prédiction sérieuse sur la valeur de la masse des particules hypothétiques de matière noire ...

Le futur des collisionneurs de haute énergie

Changer de configuration ??

1) Accélérateurs linéaires ... en collision $e^+ e^-$!!



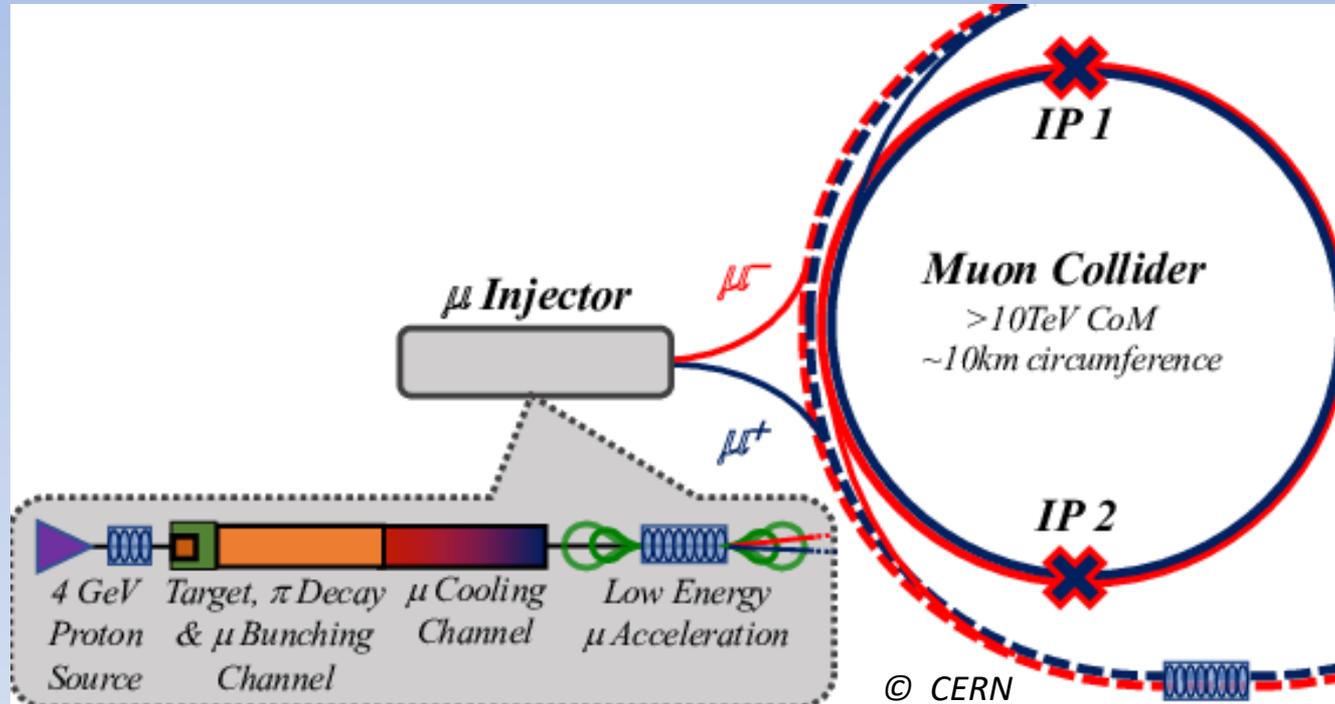
... premières études dès 1971 ! But : atteindre E entre **500 GeV et 1 TeV**

Un problème : l'intensité ! (Luminosité)

- TESLA (DESY- Hambourg) 33 km ? ... 1985...2001 ... abandonné en 2003
- CLIC (CERN)... études en cours ?
- ILC/ JLC ... depuis 2000 ... 30 à 50 km 2022 le Japon n'est plus vraiment candidat ..

2) Collisionneur circulaire... les muons remplacent les électrons ??

$$m_\mu \approx 200 m_e \Rightarrow \frac{\Delta E (\mu)}{\Delta E (e)} \cong 6 \cdot 10^{-10} \quad \text{A rayon } R \text{ fixé,}$$



Mais $\mu \rightarrow e \bar{\nu}_e \nu_\mu$ En moyenne en $2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

3) Augmenter le rayon de la machine !

Le projet du CERN pour les décennies à venir :

On refait LEP e^+e^- + LHC pp ... mais en *beaucoup* plus grand
Le « Future Circular Collider » (FCC)

91 km de circonférence ! (3,3 fois le tunnel du LEP/LHC)

LEP II $E = 210 \text{ GeV}$ → FCC-ee E de 240 GeV à 350 GeV

LHC $E = 14 \text{ TeV}$ → FCC-hh E jusqu'à 100 TeV
« Luminosité » X 10





SUISSE
FRANCE

Genève

FCC

Annecy

LHC

© CERN

Rapport de faisabilité : 2025 Approbation espérée: 2028
Construction 2033 -2048 (LHC-HL s'arrête en 2041)
FCC-ee: 15 ans d'exploitation 2048 - 2063

FCC-ee : Physique de précision sur le secteur de Higgs:
1 millions de bosons de Higgs en 3 ans
+ potentiel de découverte

FCC-hh : 10 ans de Construction 2063-2073 Démarrage 2074 ...

FCC-hh Physique d'exploration sur une nouvelle gamme
d'énergie: des centaines de millions de Higgs + potentiel de
découverte

Les obstacles au projet

Construction : Coût de chaque machine = environ 15 – 20 G€
(3 à 4 fois le coût du LEP ou du LHC)
Tunnel environ 1/3 du coût du FCC-ee

Coûts :

Consommation :
2 TWh/an pour FCC-ee = 2 fois conso actuelle LHC
4 TWh/an pour FCC-hh

Questions environnementales ?

Questions sociétales

Un plan B pour la physique des hautes énergies ???

USA ???

*Le projet **SSC** au Texas:*
Projet de 87 km de circonférence 40
TeV i.e. 2 x LHC
Lancé en 1983, abandonné en 1993
20 km de tunnel creusés...
2 Milliards de \$...

Le gigantisme peut effrayer à juste
titre...



Un projet chinois ?

Actuel :
BEPC à Pekin



e^+e^- : 2 GeV par faisceau

CEPC :
Supercollisionneur
Chinois de 100 km?
Calendrier ?
Prise de décision ?

CEPC Site Selections

Huanghe Company participated

- 1) Qinhuangdao, Hebei Province (Completed in 2014)
- 2) Huangling, Shanxi Province (Completed in 2017)
- 3) Shenshan, Guangdong Province (Completed in 2016)
- 4) Baoding (Xiong'an), Hebei Province (Started in August 2017)
- 5) Huzhou, Zhejiang Province (Started in March 2018)
- 6) Chuangchun, Jilin Province (Started in May 2018)
- 7) Changsha, Hunan Province (Started in Dec. 2018)

Pour l'Europe : Un problème de leadership ??
et au-delà ...

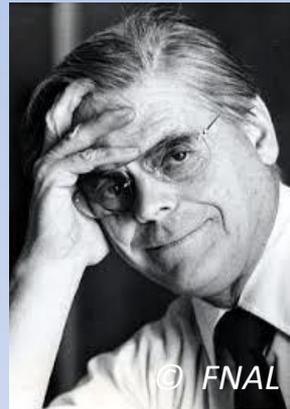
Depuis les années 70' tout nouveau projet d'accélérateur a été critiqué, attaqué, considéré comme trop cher, dangereux etc ...



Fermilab (Chicago)



*Bob Wilson
Fondateur du
laboratoire Fermilab*



Question du congrès (en pleine guerre froide)

« Pouvez-vous nous dire en quoi votre accélérateur va contribuer à la défense de notre nation ? »

Réponse:

« Je ne crois pas qu'il va contribuer à la défense immédiate de notre nation, mais je suis certain qu'il contribuera à ce que notre nation soit digne d'être défendue »