



LE CERN ET LE LHC

MasterClasses 2024 à l'IJCLab

le Jura

Le CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire), en 1952

- Devient en 1954: l'Organisation Européenne pour la recherche nucléaire: installée à Genève, pas de recherche militaire, les résultats sont publics

- Missions:

recherche: questions concernant l'Univers

technologie: faire reculer les limites

collaboration: rassembler les nations autour de la science

éducation: formation des scientifiques



Participants au CERN

- **23 états membres** (votent au Conseil, contribuent au budget: accélérateurs, fonctionnement : 2400 personnes, ~ 1 milliard d'Euros)

l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, la Bulgarie, le Danemark, l'Espagne, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, Israël, l'Italie, la Norvège, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la République tchèque, la Roumanie, le Royaume-Uni, la Serbie, la Slovaquie, la Suède et la Suisse.

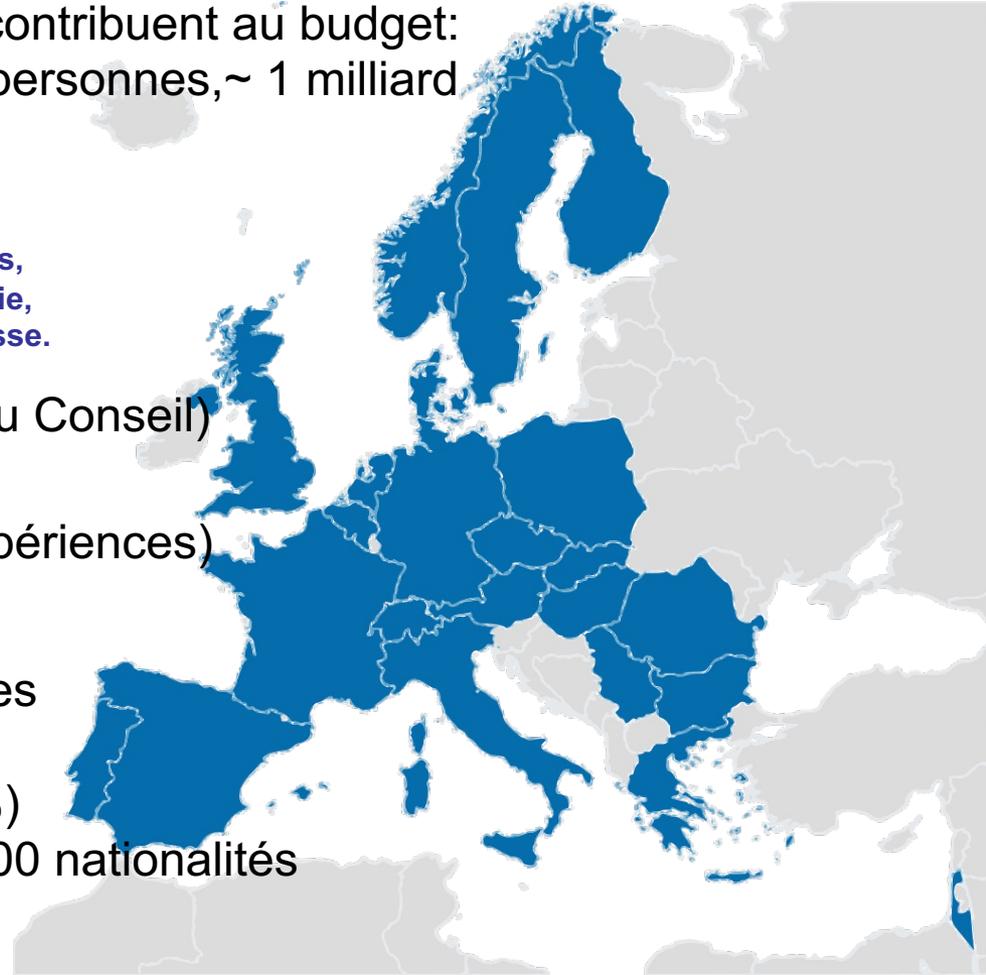
- **observateurs** (assistent aux réunions du Conseil)

L'Union européenne, l'UNESCO, les USA, et le Japon.

- **états non-membres** (participent aux expériences)

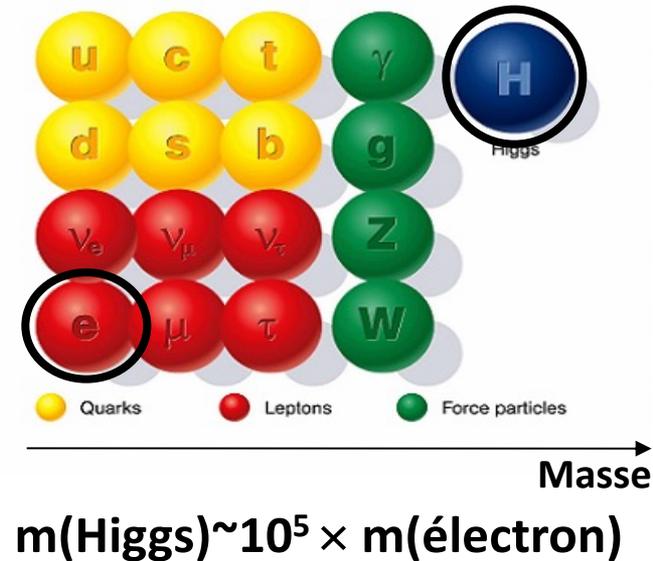
une trentaine d'états

- les physiciens, ingénieurs, techniciens assurent la construction et l'exploitation des expériences (le CERN a une contribution minoritaire dans les expériences ~15-20%)
- 110 000 visiteurs/an, ~600 instituts, >100 nationalités



Grandes dates : le fil conducteur

- ▶ Découvrir des particules toujours plus lourdes
- ▶ Des interactions toujours plus subtiles (=rares !)



- Construire des accélérateurs toujours plus puissants ($E \uparrow$)
et toujours plus intenses (collisions par seconde \uparrow)
- Construire des détecteurs de plus en plus sophistiqués.
- Acquérir et analyser toujours plus de données.



Les grandes dates du CERN

1954

création du CERN

1957

1^{er} accélérateur (SC) à 0,6 GeV: fonctionne jusqu'en 1990

1959

démarrage du PS: protons à 28 GeV



le synchrocyclotron (SC)

vue du CERN en 1964



le Proton Synchrotron (PS)

Les grandes dates du CERN

1971

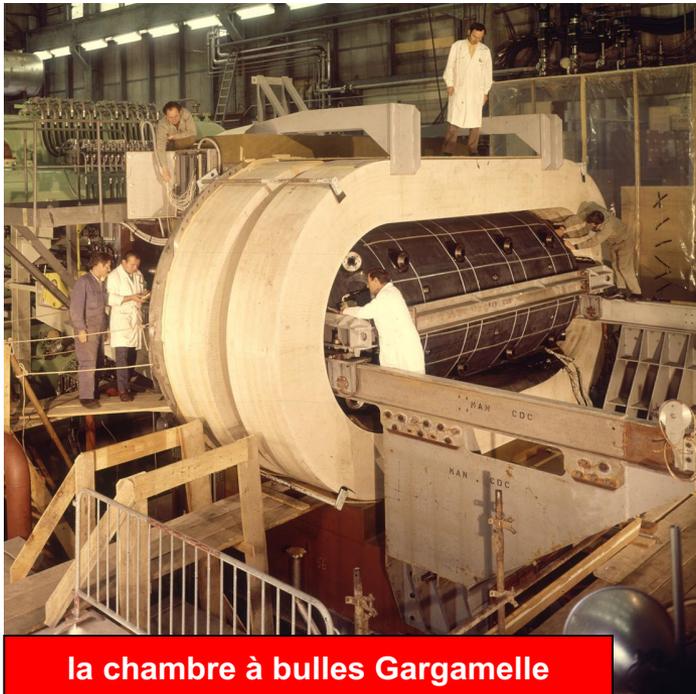
ISR : premier collisionneur pp au monde.

1973

Découverte des “courants neutres” : unification de l'électromagnétisme et de la force faible.

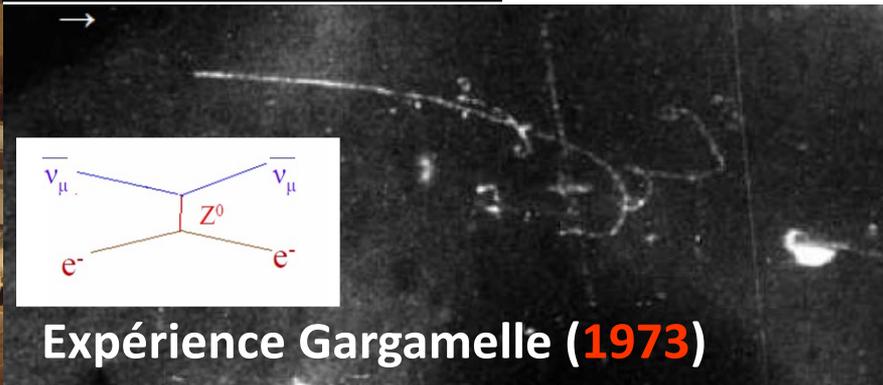


A. Lagarrigue (1924-1975)



la chambre à bulles Gargamelle

photo de la réaction $\bar{\nu}_\mu e \rightarrow \bar{\nu}_\mu e$



Expérience Gargamelle (1973)

Les grandes dates du CERN

1976

Le SPS: collisionneur de protons à 450 GeV, reconverti à partir de 1979 en collisionneur p-p

1983

Les expériences UA1 et UA2 y découvrent les particules médiatrices de la force faible: W^\pm et Z^0

1985

Prix Nobel de physique à C. Rubbia et S. Van der Meer



UA1

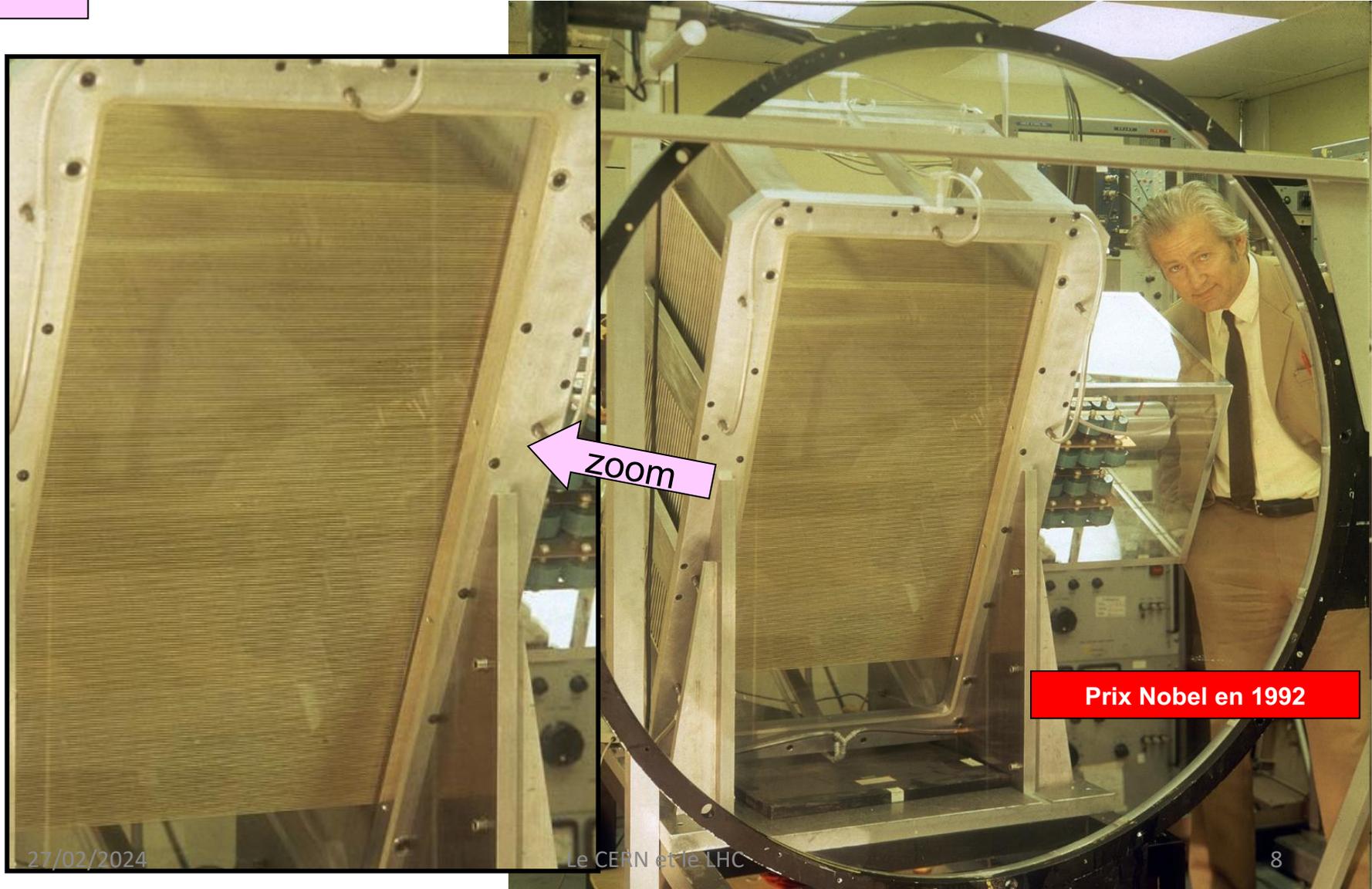


UA2

Les grandes dates du CERN

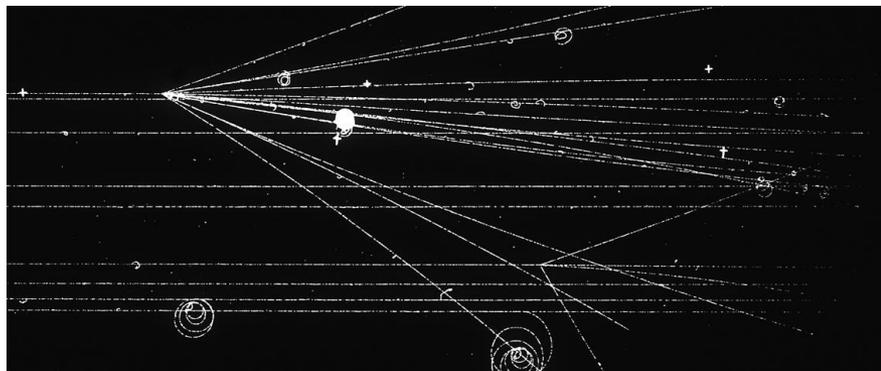
1970's

Saut technologique: G. Charpak invente la chambre à fils.



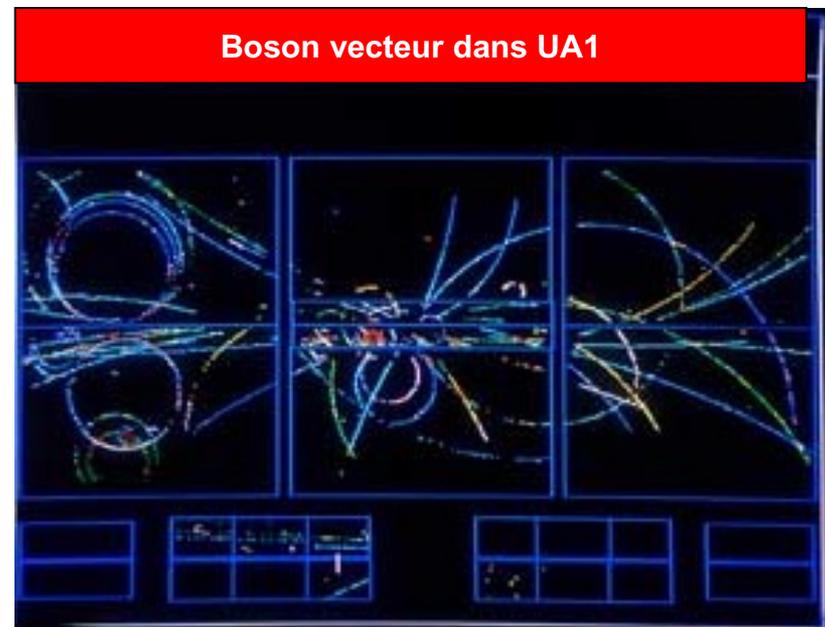
Les grandes dates du CERN

Avant: Analyse de clichés

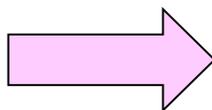


1960 , interactions de protons du PS avec de l'hydrogène

Après: reconstruction électronique et informatique des collisions



Ère manuelle



Ère électronique
(1000 fois plus vite)

Les grandes dates du CERN

1989

Démarrage du LEP: collisionneur électron-positron, 50 GeV.
Creusement du tunnel de 27 km débuté en 1985.
4 expériences étudiant pendant 7 ans les propriétés du Z^0 .
De 1996 à novembre 2000 l'énergie des faisceaux du LEP est montée à 100 GeV (étude détaillée de la force faible)



2001 : collaboration Delphi devant le détecteur

1990

La gestion des données prend un nouvel essor:

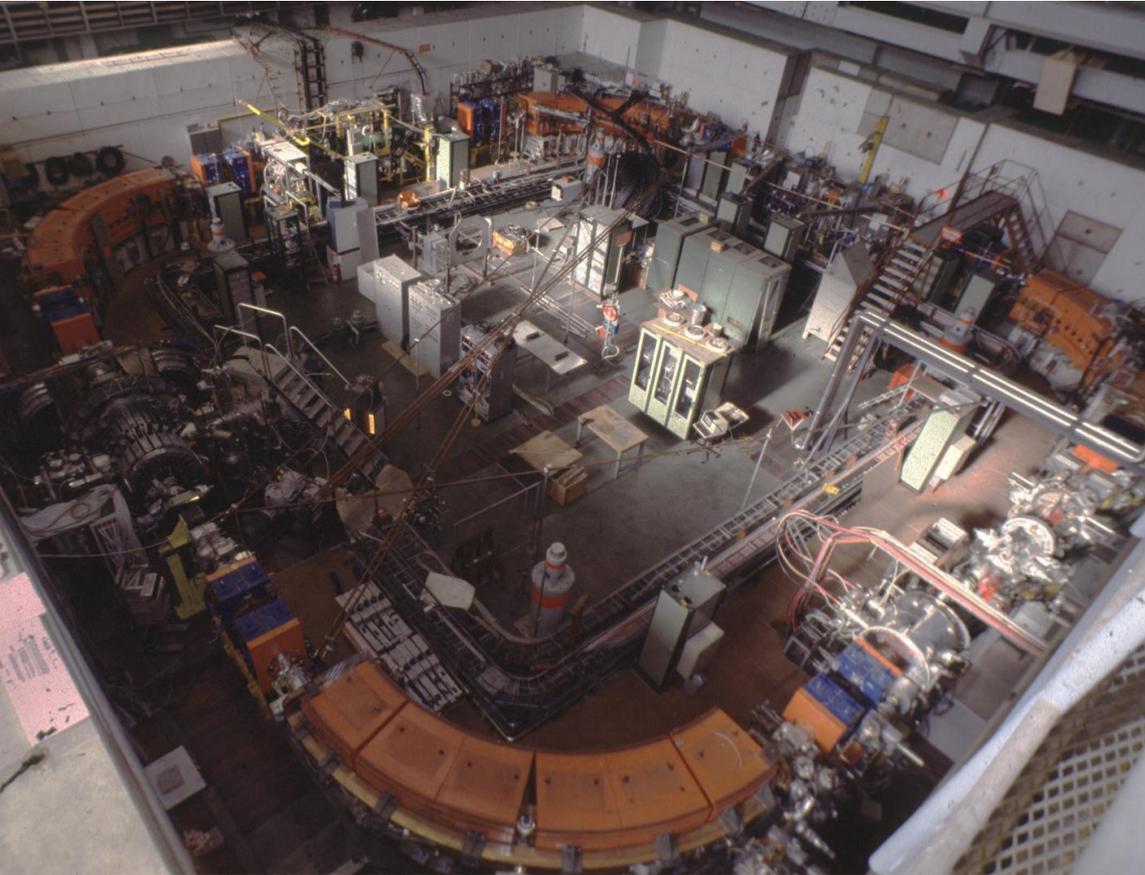
➔ Invention du Web par T. Berners-Lee



Les grandes dates du CERN

1990's

Des technologies de mieux en mieux maîtrisées pour contrôler aussi des particules de basse énergie.



1995

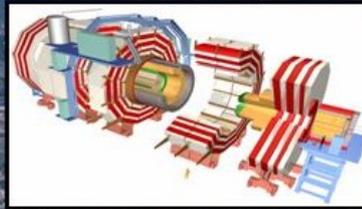
premiers atomes d'anti-hydrogène

2002

des milliers d'atomes d'anti-hydrogène.

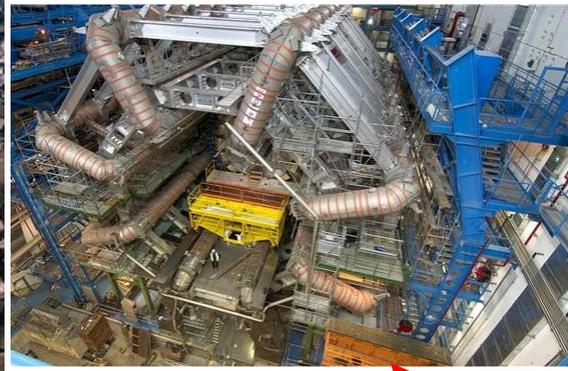
L'anneau LEAR d'antiprotons à basse énergie

Les grandes dates : le LHC (2008) !



CMS

Aéroport de Genève



ALICE
27/02/2024

ATLAS



LHCb



La conception du LHC

Construit dans le tunnel de 27 km occupé avant par le LEP, ~5 Milliards d'Euros.



Conçu dans les années 80,
approuvé en 1994, sa
construction débute en 1998.

Collisionneur proton-proton de 7 TeV,
supraconducteur
(-271,3°C, **plus froid que le vide spatial**)
très intense
(600 millions de collisions par seconde)

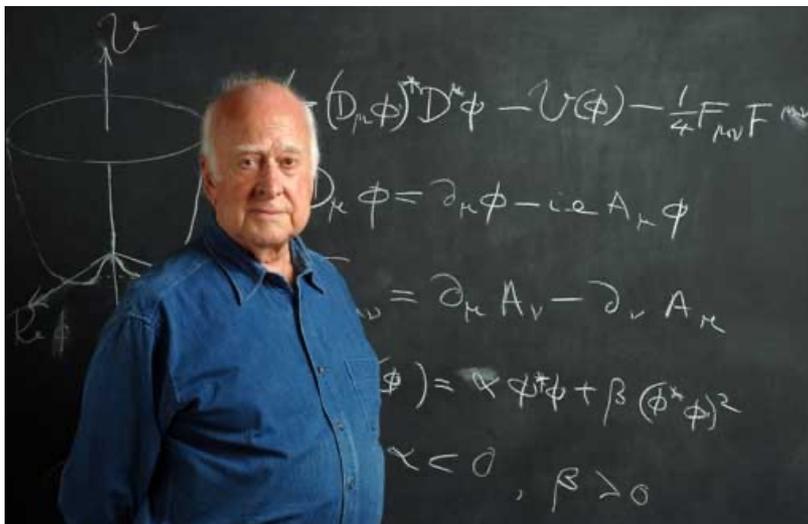
Consommation électrique: 120 MW
(équivalente à celle d'une ville de 150 000 hab.)



VIDÉO LHC

Pourquoi le LHC ? Quelles sont les raisons théoriques ?

Mécanisme de Higgs : confère une masse aux particules élémentaires.

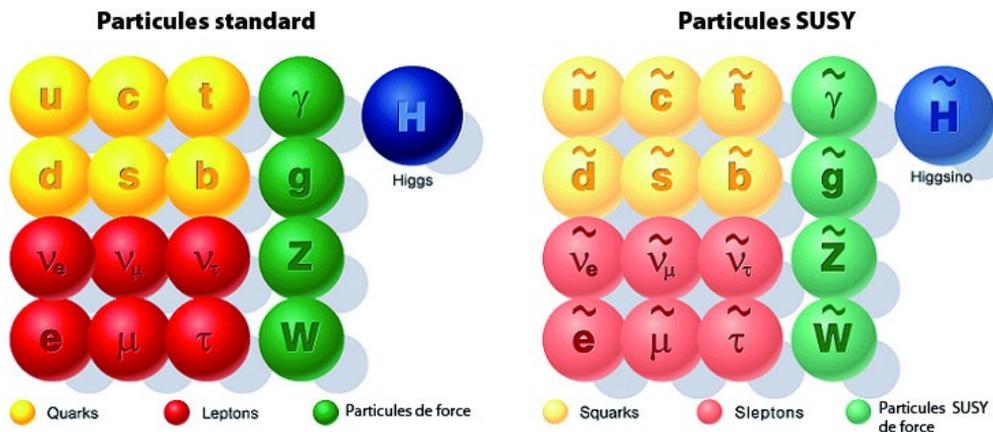


Au moins une nouvelle particule: le boson de Higgs

Certains calculs deviennent infinis à très haute énergie

- Théorie actuelle incomplète
- Nouvelles théories

Peter Higgs "devant" le mécanisme "de Higgs"



matière noire?



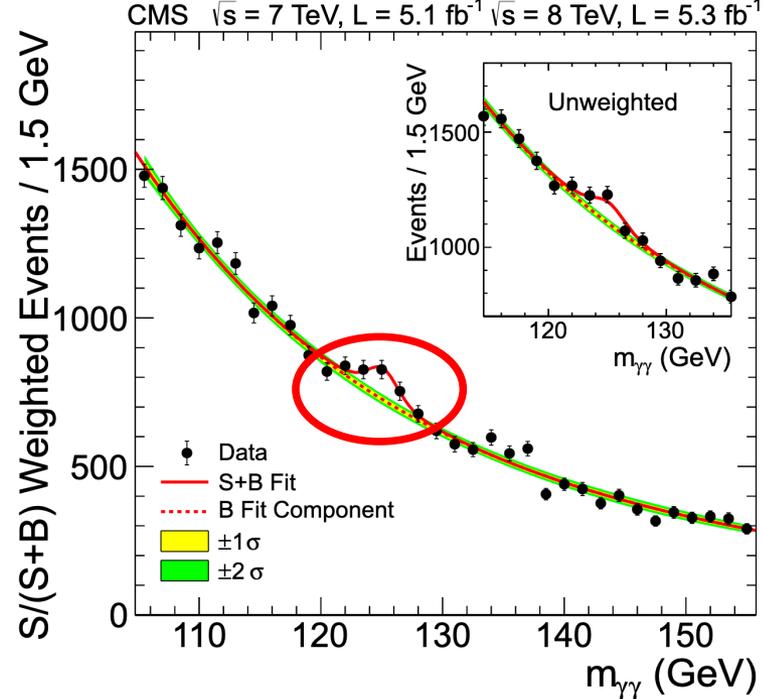
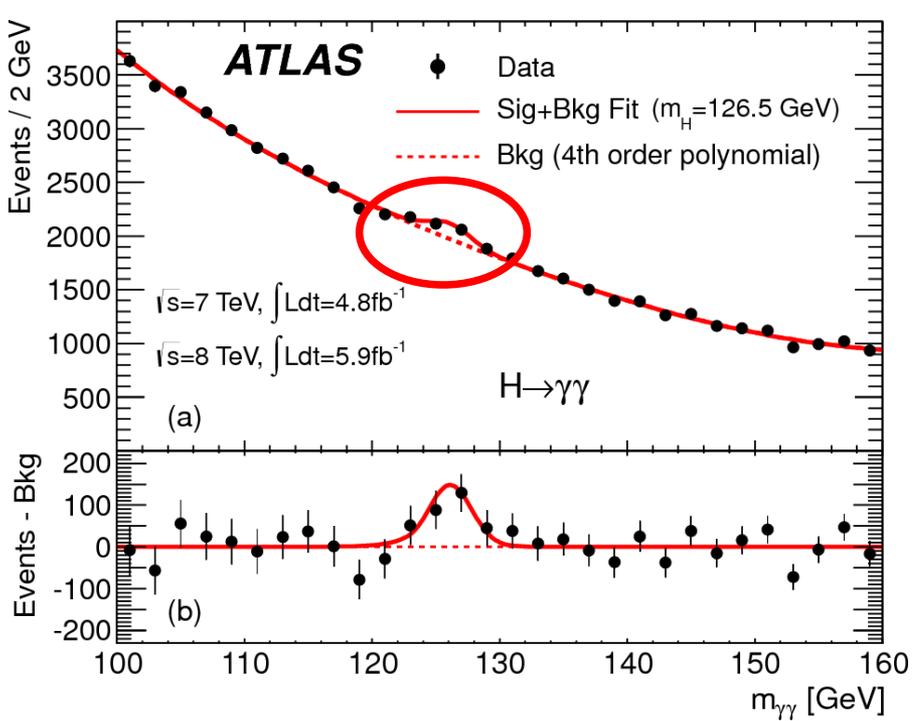
supersymétrie

VIDÉO

DECOUVERTE

HIGGS

La découverte du boson de Higgs au LHC



La découverte d'un nouveau boson au LHC

- Un moment très important dans l'histoire du LHC
- Un ingrédient fondamental dans la compréhension de notre Univers

LHCb: votre expérience d'aujourd'hui!



- Plus petite expérience du LHC mais tout de même ~1000 personnes!

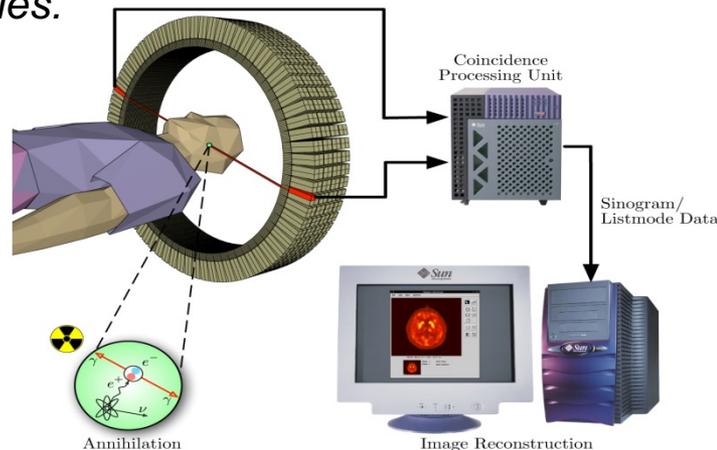
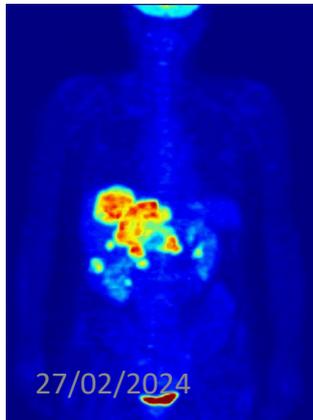
Les apports pour la société

Les découvertes en sciences fondamentales permettent les grandes avancées

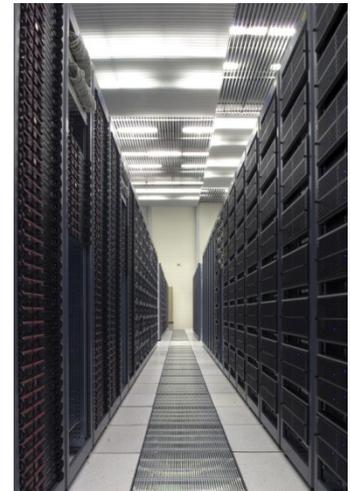
- *Les transistors ont été inventés parce qu'on avait découvert la mécanique quantique*
- *Le système de positionnement GPS utilise la relativité générale*

La recherche a des besoins spécifiques : elle développe de nouvelles technologies

- *Le “world wide web” inventé au CERN*
- *Actuellement, plus de 7000 physiciens analysent les données du LHC. Elles occuperaient un pile de CD de 20km de hauteur chaque année. De nouveaux moyens de stockage et de calcul ont donc été mis au point :
→ la grille de calcul*
- *L'imagerie médicale utilise les technologies de détection de la physique des particules.*



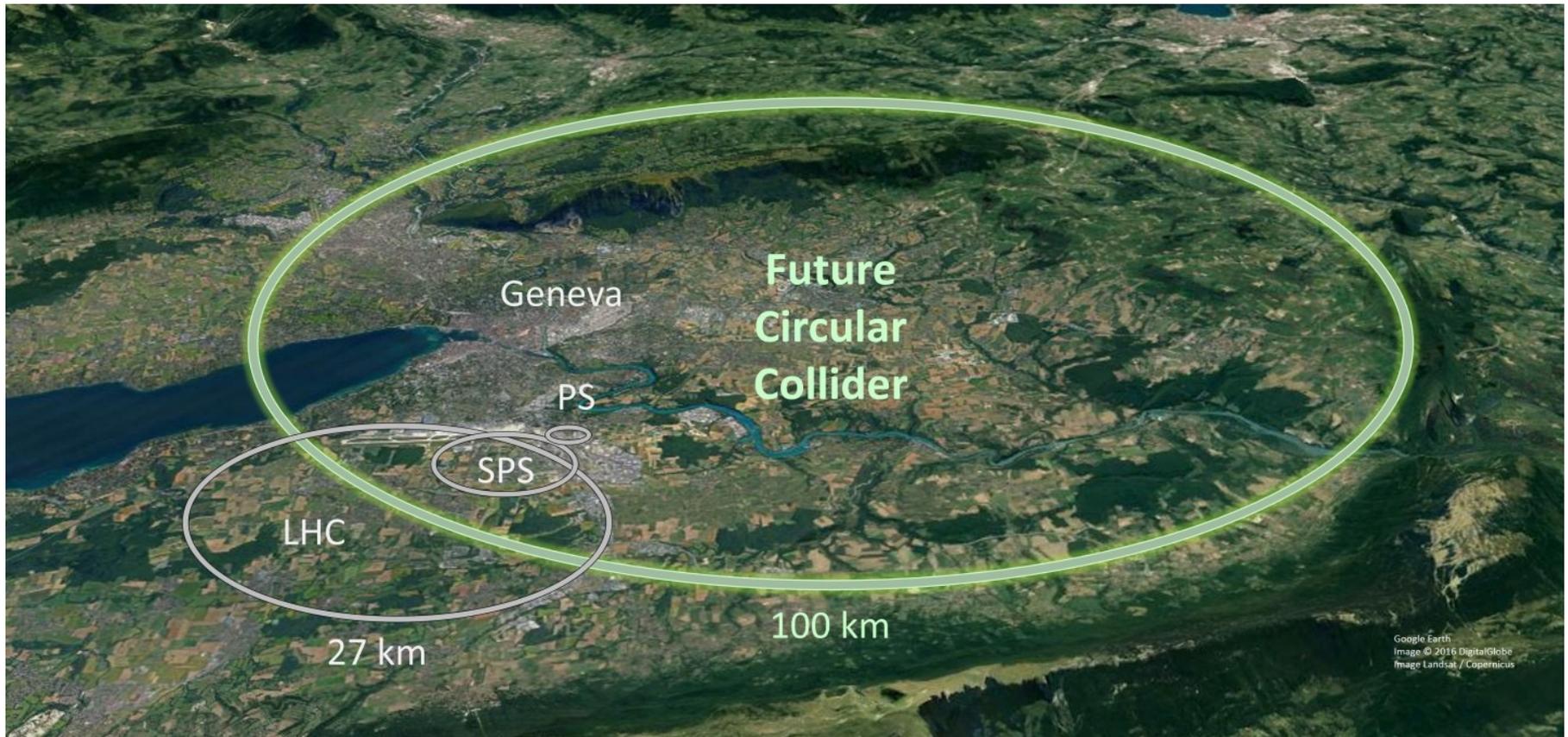
Système de tomographie à émission de positons



“ferme” de PC au CERN (2006)

Le futur (?)

- Le CERN développe actuellement un projet de collisionneur du futur (le FCC):
 - ~2045: collisions électron-positon
 - ~2070: collisions proton-proton



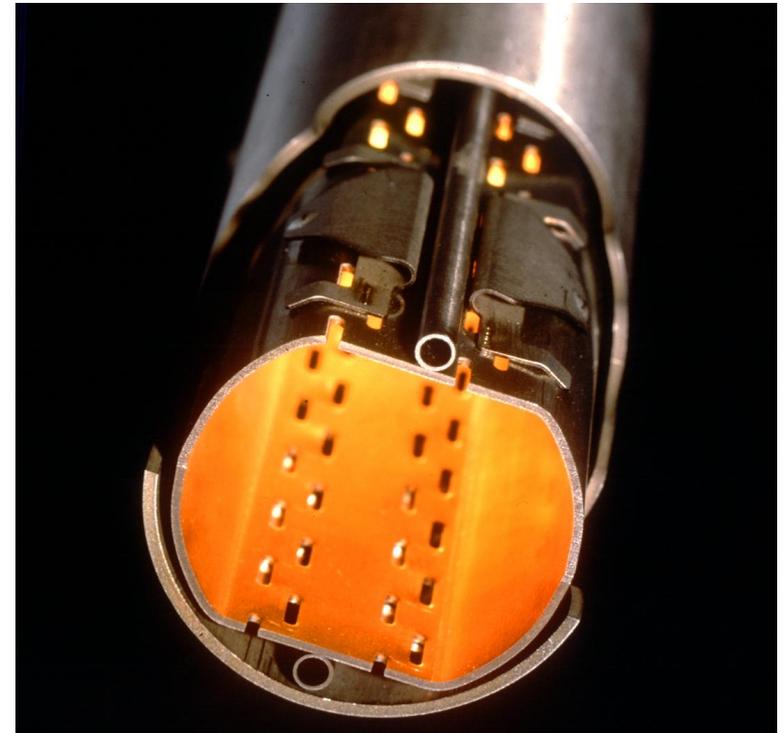
BACKUP

Le LHC en chiffres

- La plus grande machine du monde (9300 aimants, 10000t d'azote, 120t d'He)
→ le plus grand frigo de la planète
- Les protons effectuent 11245 tours de la machine par seconde (vitesse $\sim 99.999993\%$ c)
- Vide très poussé à l'intérieur de la chambre à vide (10^{-13} atm)
→ 1/10 de la pression sur la lune
- On y trouve les points les plus “chauds” (100000 fois la température interne du soleil)
dans un espace minuscule et dans un anneau plus froid que le vide sidéral (-271.3°C)



ligne cryogénique avant la pose des aimants



chambre à vide du LHC (en coupe)

Le tunnel du LHC

2600 paquets contenant chacun 100 milliards de protons.

Chaque paquet est séparé de ses voisins immédiats par au moins 7m.



**Aimants focalisant les faisceaux
au voisinage des points de collision**

Énergie d'une collision :

$6.5 \text{ TeV} + 6.5 \text{ TeV} \sim 3 \times 10^{-6} \text{ J}$

sur une surface infime 10^{-30} m^2

$\sim 10^{24} \text{ J/m}^2$: **considérable**

Énergie totale des faisceaux :

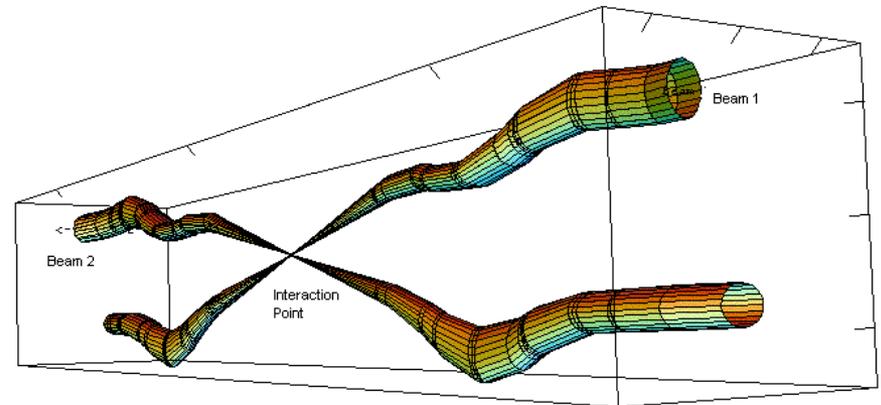
$6.5 \text{ TeV} \times N_p \sim 650 \text{ millions de Joules} \sim 1 \text{ TGV à } 170 \text{ km/h}$

27/02/2024

Le CERN et le LHC

paquets : quelques cm de long
transversalement $\sim \text{mm}$

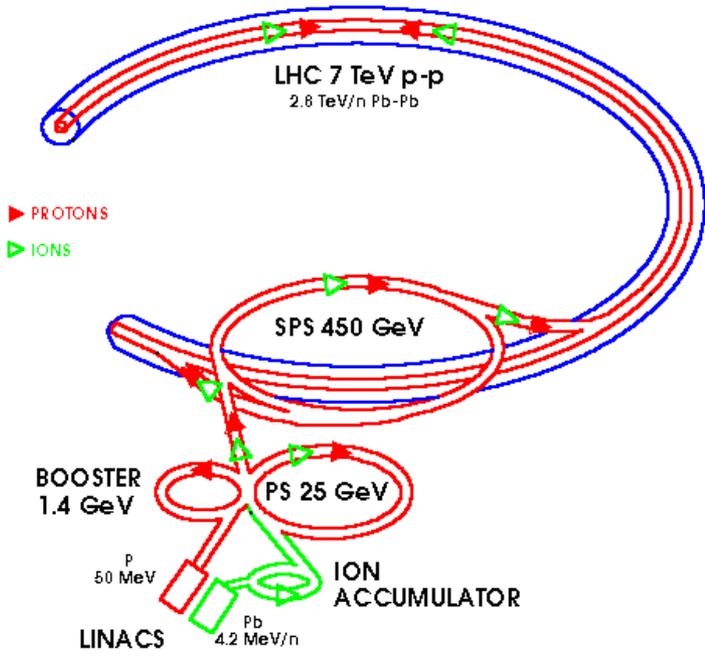
taille transverse au point de collision
(expériences) : $16 \mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$
 \sim **diamètre d'un cheveu**



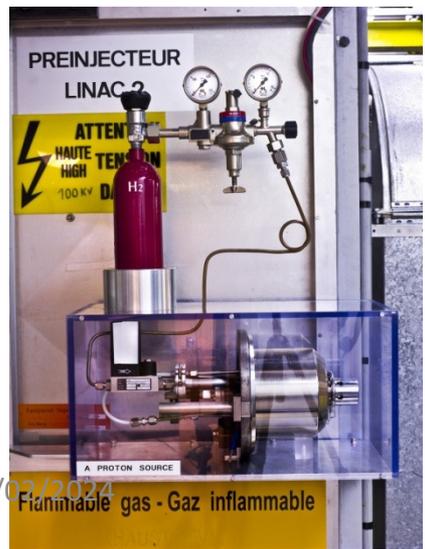
Relative beam sizes around IP1 (Atlas) in collision

Croisement des faisceaux à un point de collisions

Donnement du LHC : la chaîne d'accélération



Les différents accélérateurs du CERN sont utilisés pour accélérer et injecter les protons dans le LHC.

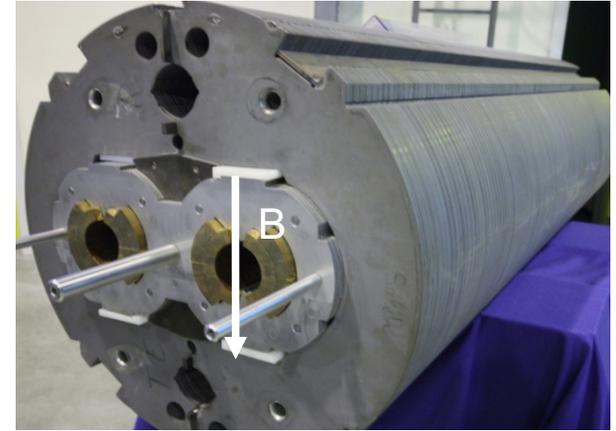
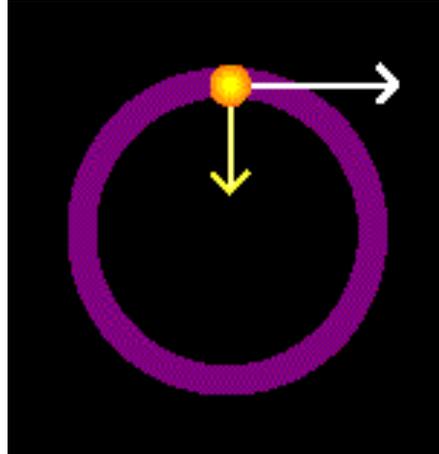
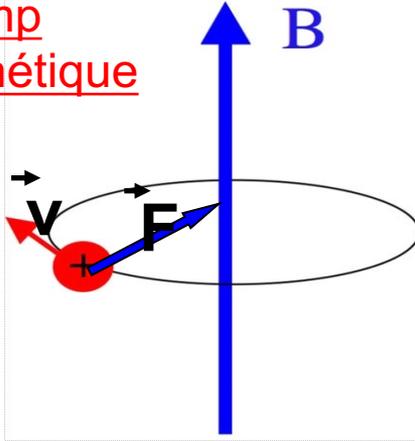


27/02/2024

Il faut guider et accélérer les protons

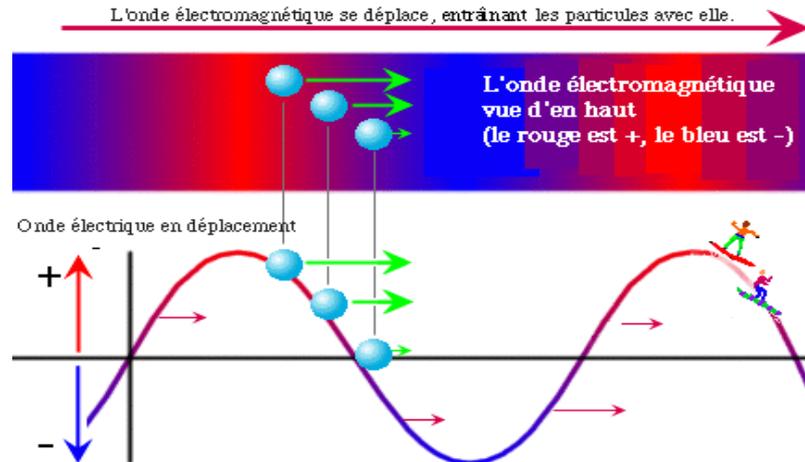
Champ magnétique

Guidage



Les particules suivent une orbite circulaire, mais ne gagnent pas d'énergie

Accélération



Les particules chargées positivement (●) proche de la crête de l'onde EM sont soumises à une plus grande force vers l'avant. Celles situées près du centre une moins grande force. Le résultat est que les particules tendent à se déplacer en même temps que l'onde.

Champ électrique



Les particules gagnent 16 MeV par passage (11000 passage par seconde)