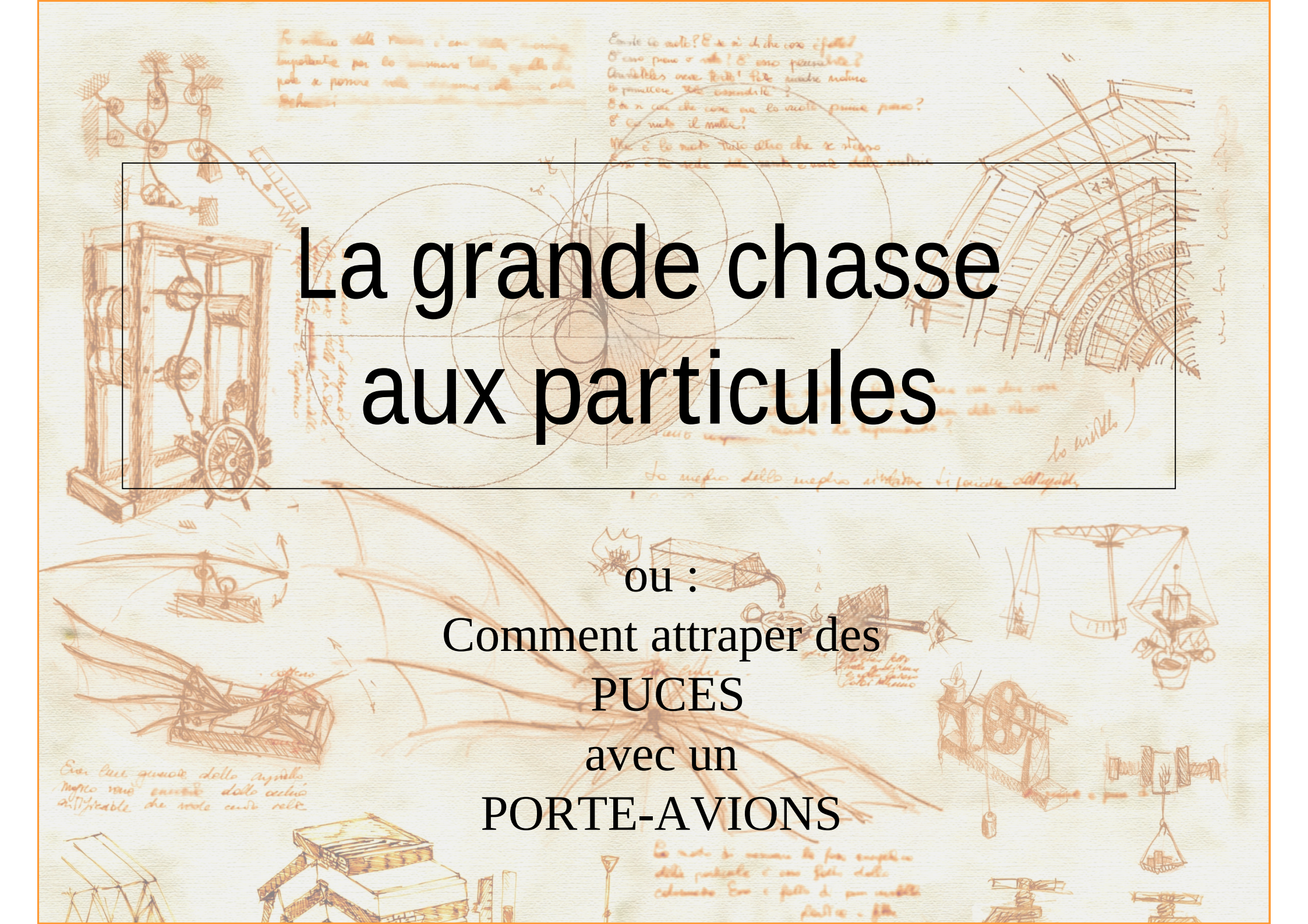




La grande chasse aux particules

ou :
Comment attraper des
PUCES
avec un
PORTE-AVIONS

Chapitre 1 : La traque

ou comment faire sortir les particules de leur cachette...



Le principe du réveil-matin

Question n°1:

Comment savoir de quoi est composée la **matière** qui nous entoure ?

Réponse :

On casse...



C'est-à-dire : on projette à très grande vitesse la “victime” contre un objet fixe ou une autre “victime” !

“très grande vitesse” = Proche de la vitesse de la lumière (300000 km/s)

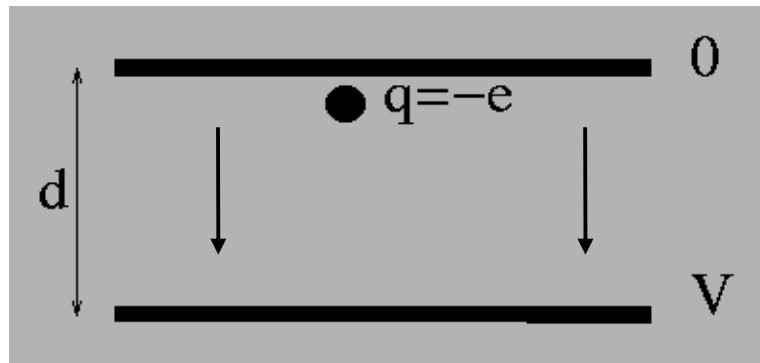
Accélérer des particules

Question n°2:

Comment arriver à ces grandes vitesses, des milliers de kilomètres par seconde ?

Réponse :

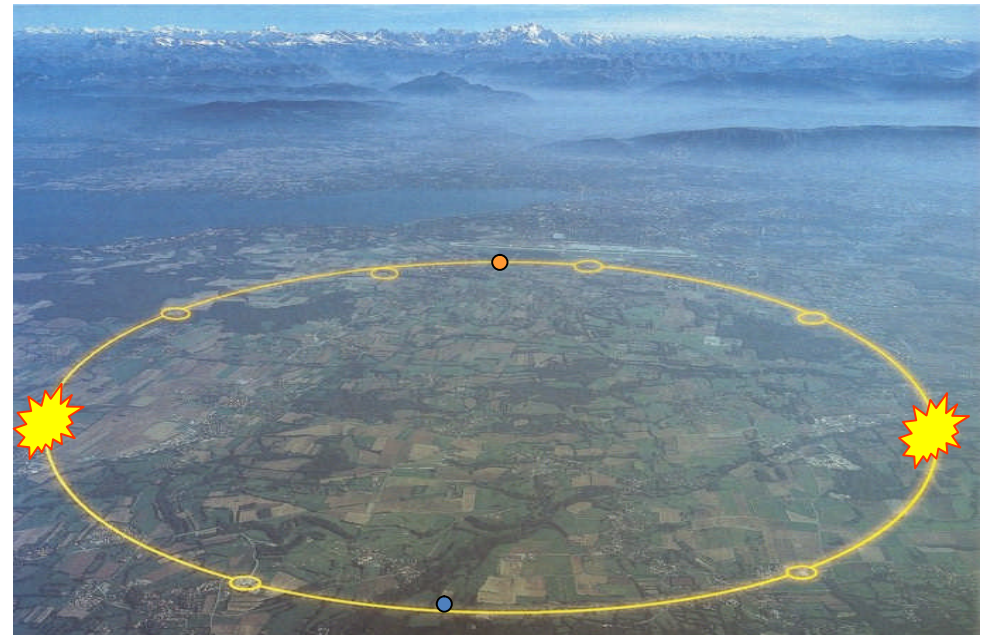
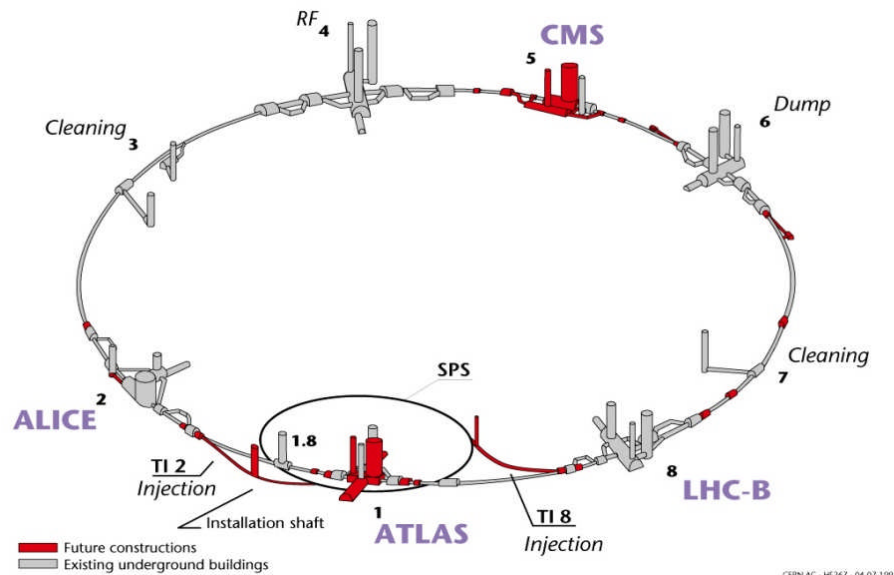
On utilise le **champ électrique**, qui exerce une force sur toutes les particules **chargées** (électrons, protons ...) grâce à de très fortes **différences de potentiel**.



Pour cela, bien choisir son accélérateur

1. Les accélérateurs circulaires (LEP, LHC, HERA ...) :

Layout of the LEP tunnel including future LHC infrastructures.



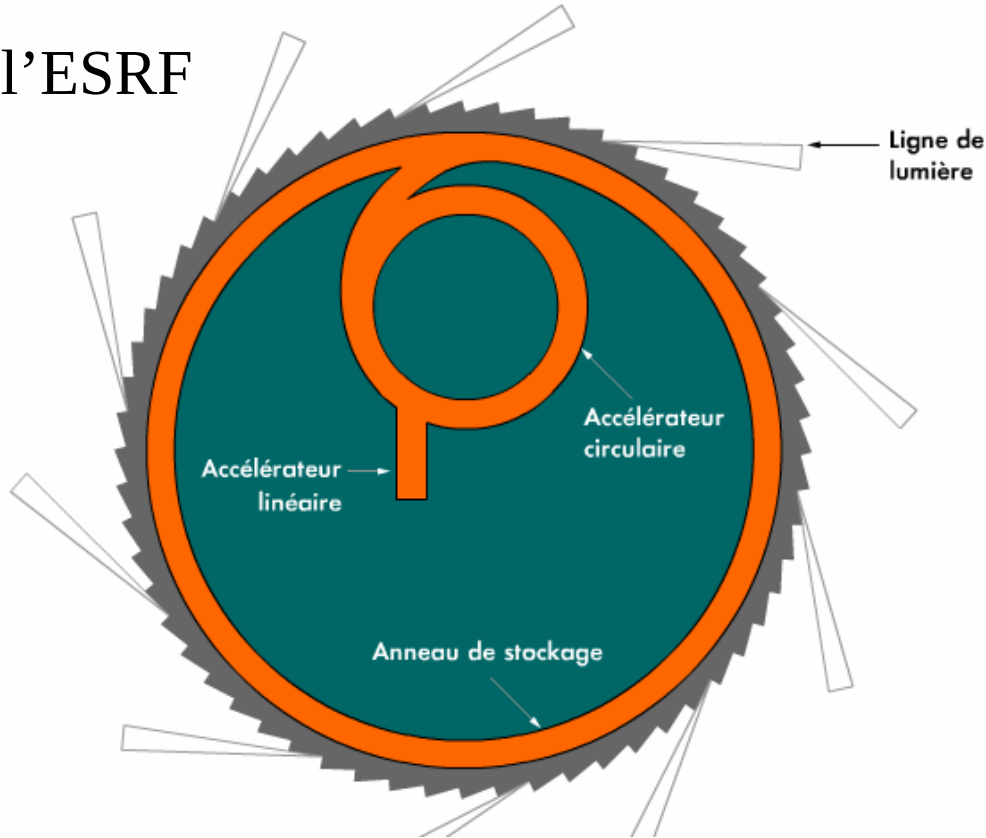
Avantage : on accélère à chaque tour

Inconvénient : tourner, ça coûte ... ➡

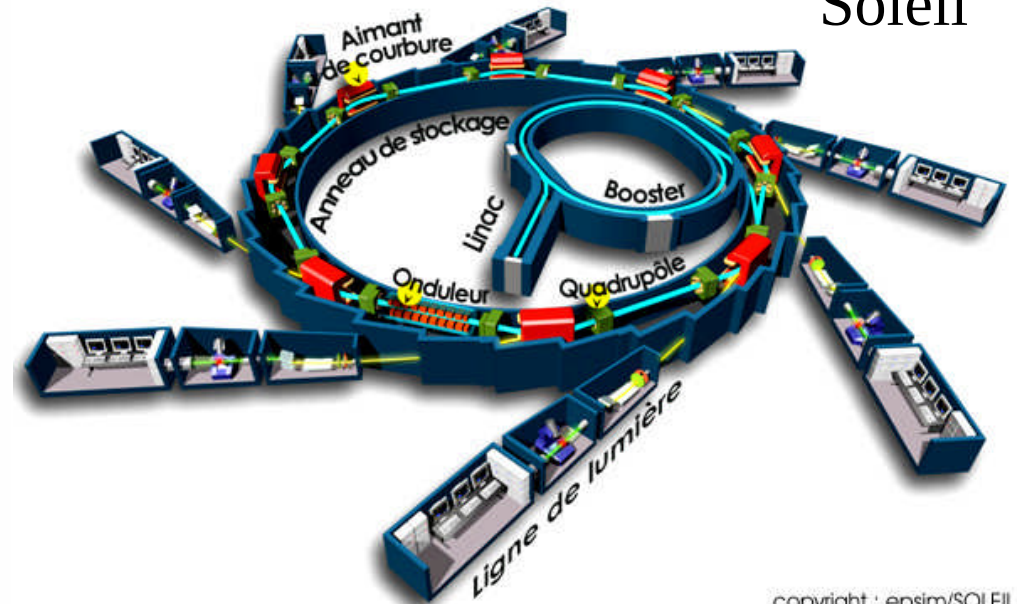
Rayonnement Bremsstrahlung
ou
Rayonnement synchrotron

Ce qui peut être un problème, peut aussi être un avantage...

l'ESRF

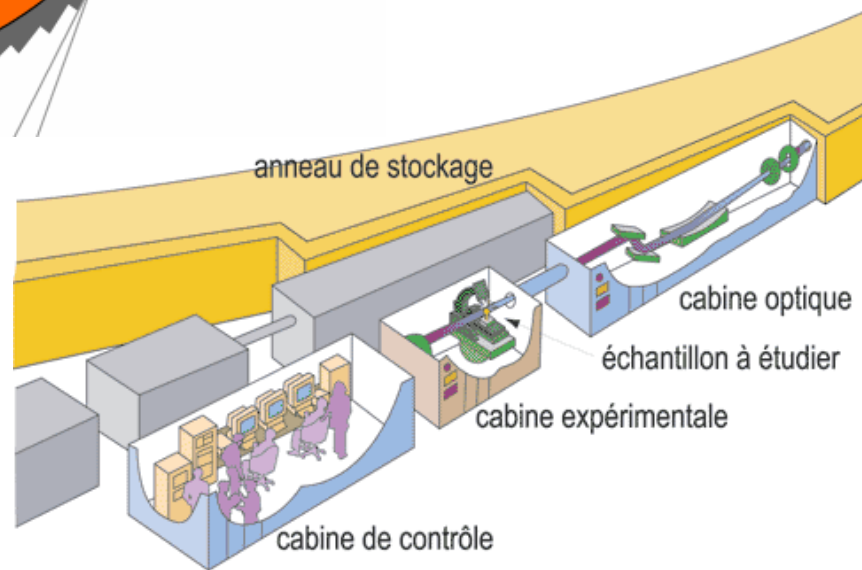


Soleil



copyright : epsim/SOLEIL

Principalement pour la
Physique des matériaux



Bien choisir son accélérateur (II)

2. Les accélérateurs linéaires (SLAC, TESLA, ...) :



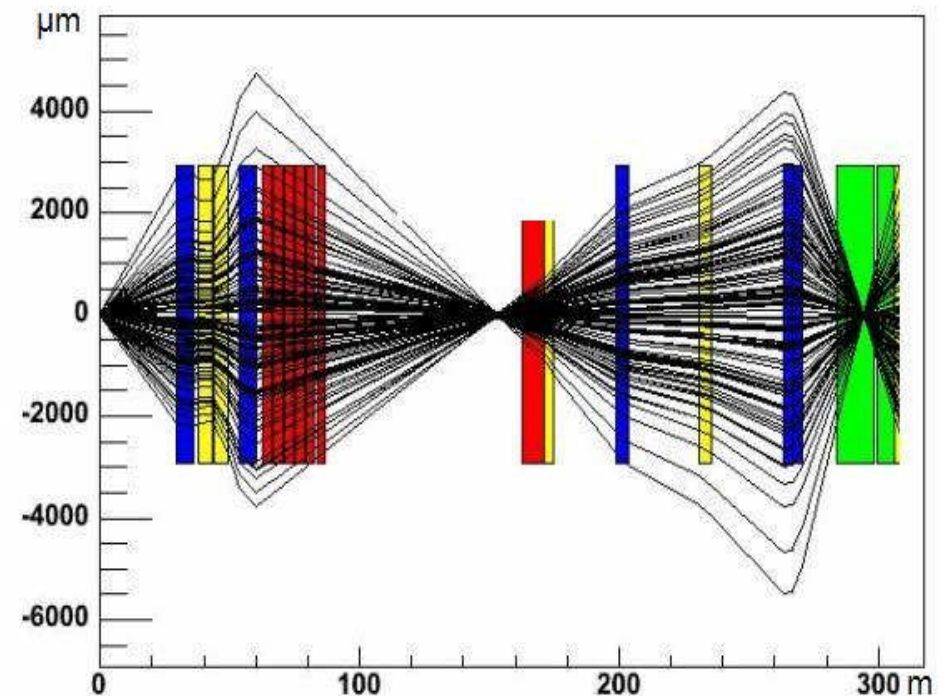
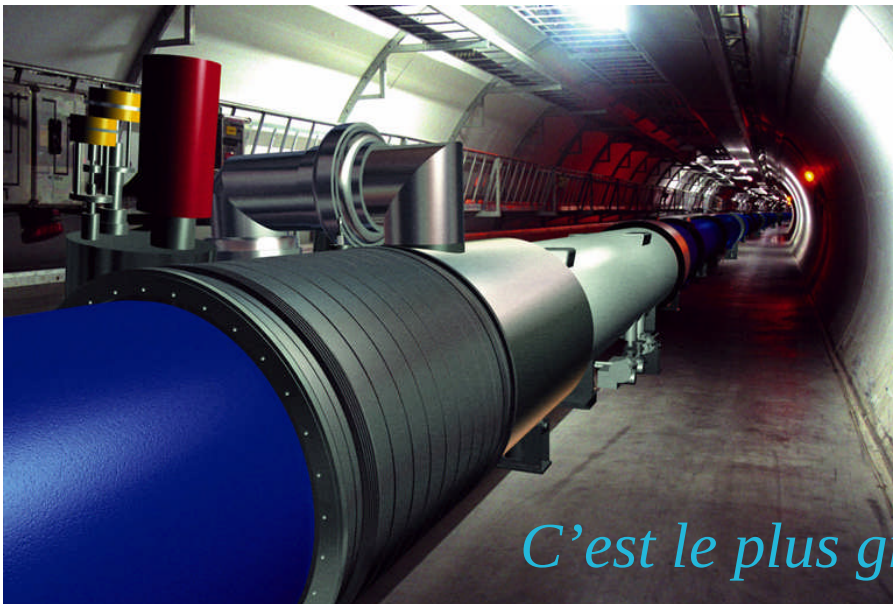
Avantage : pas de **pertes d'énergie** dans les tournants

Inconvénient : il faut accélérer en **une seule fois**, et puis les particules sont perdues.

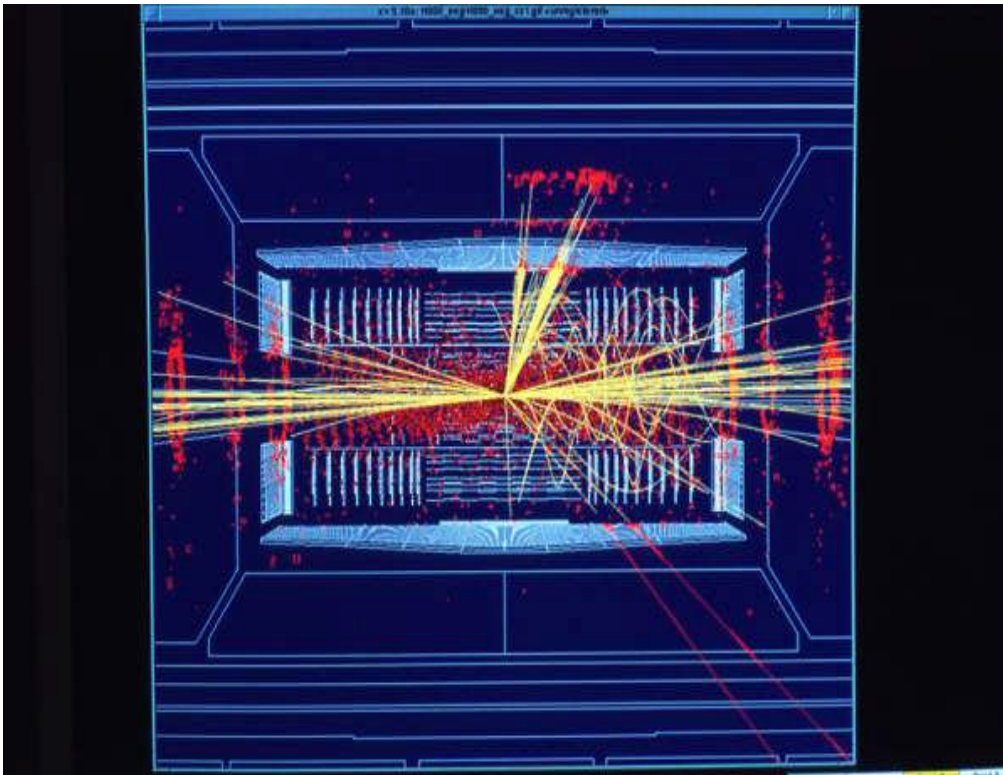
Exemple : le LHC

C'est un accélérateur circulaire de protons,
en construction au CERN, à Genève

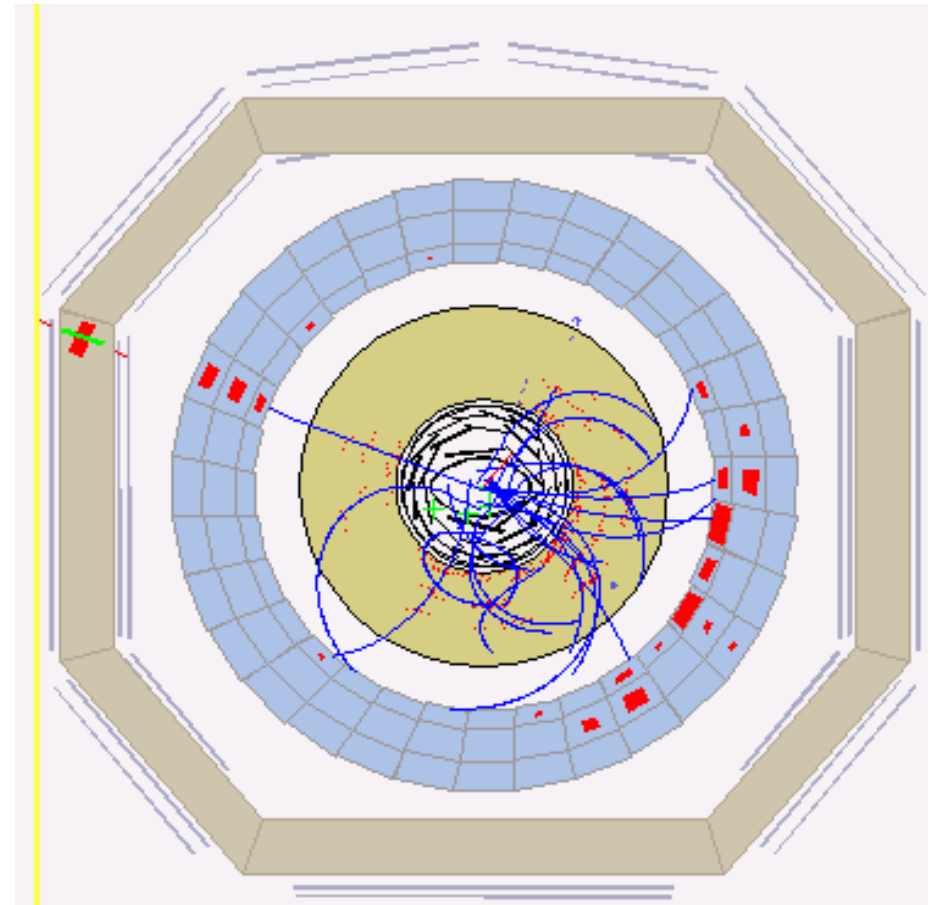
- 100 m sous terre
- 27 km de circonférence
- 4x20x40 000 000 collisions/s (4 expériences)
- 10 ans de fonctionnement prévus, dès 2009.



Quelques collisions



Voilà ce que l'on observe
dans nos détecteurs...



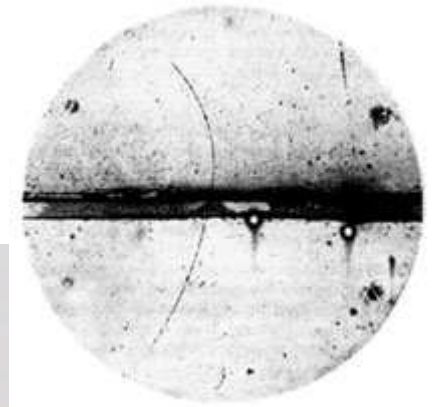
Chapitre 2 : Le pistage

ou comment savoir qu'une particule est
passée par là...

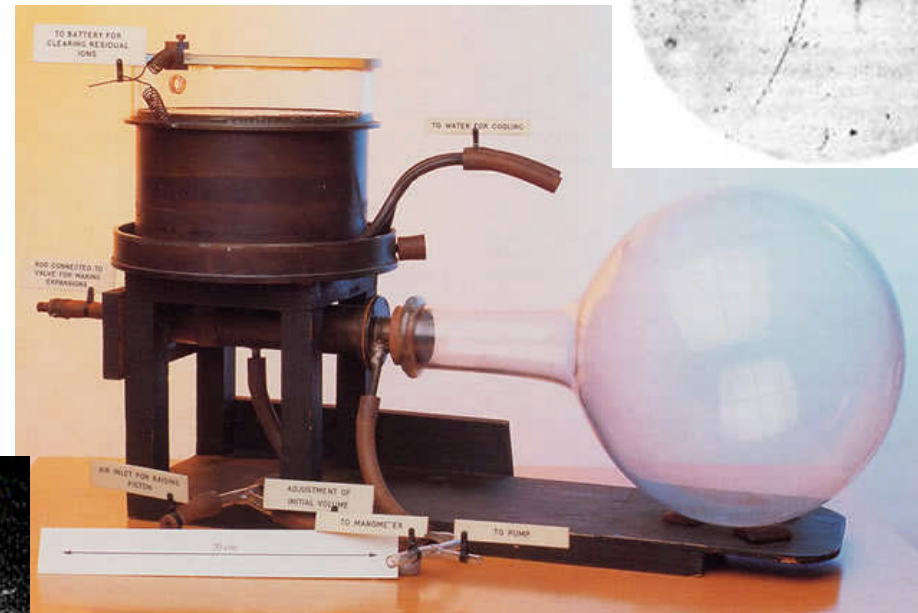
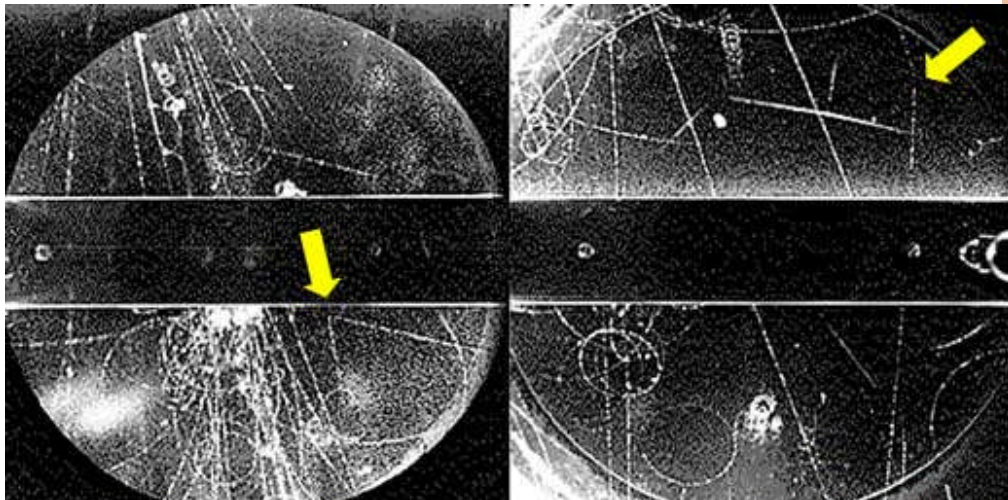


Trajectographes : tout l'art de regarder sans se faire voir.

Tous Commença en 1912 : Wilson inventa la
chambre à brouillard

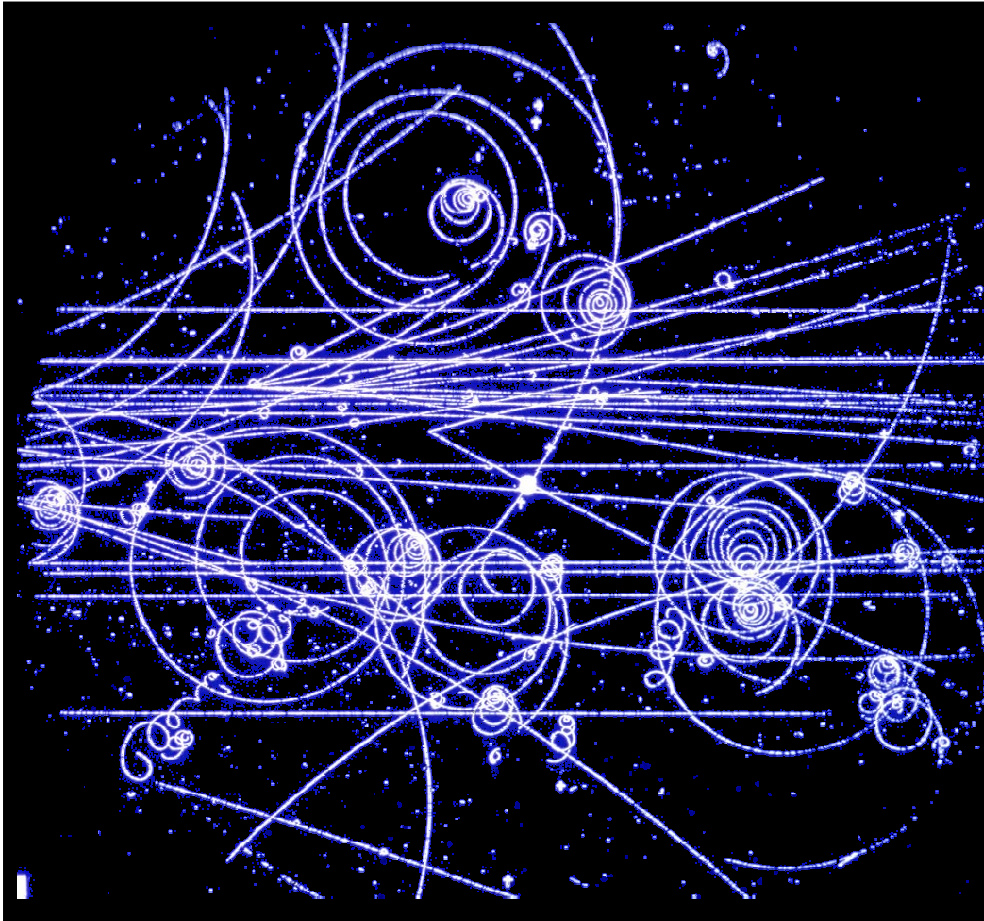


La pluie sous les particules...

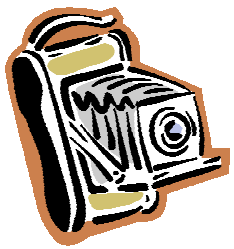
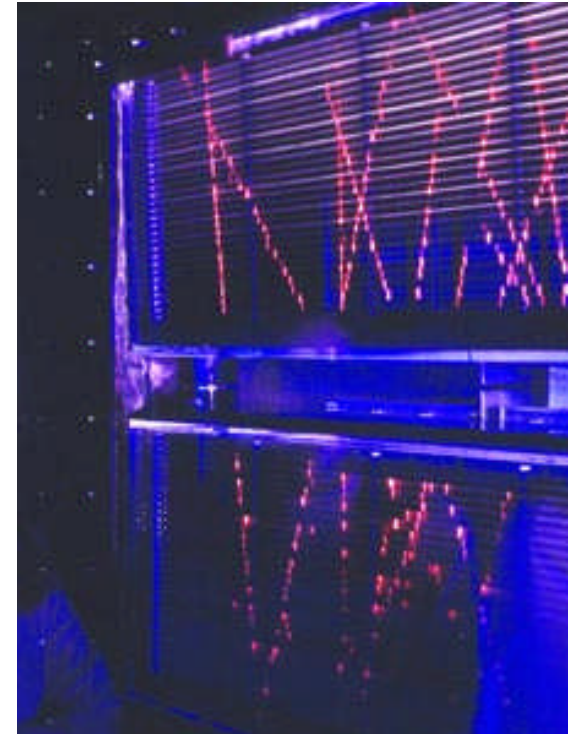


...Et l'invisible apparut

Glaser inventa en 1960 la chambre à bulles...



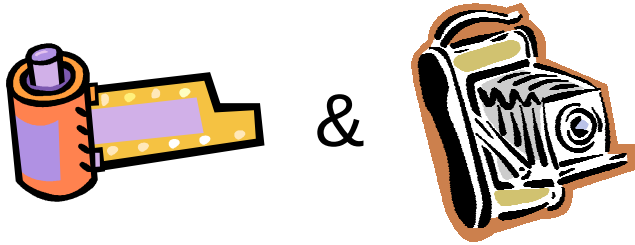
En même temps fut inventée
la chambre à étincelles



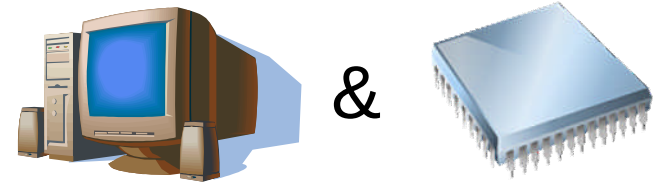
A l'époque, la photographie était le seul moyen
d'immortaliser ces évènements.

L'analyse était donc basé sur l'exploitation de ces clichés...

Trajectographes (2): Les temps modernes...



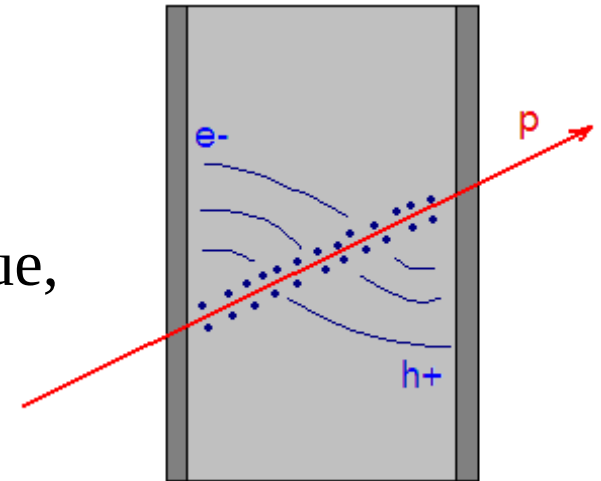
Remplacer par



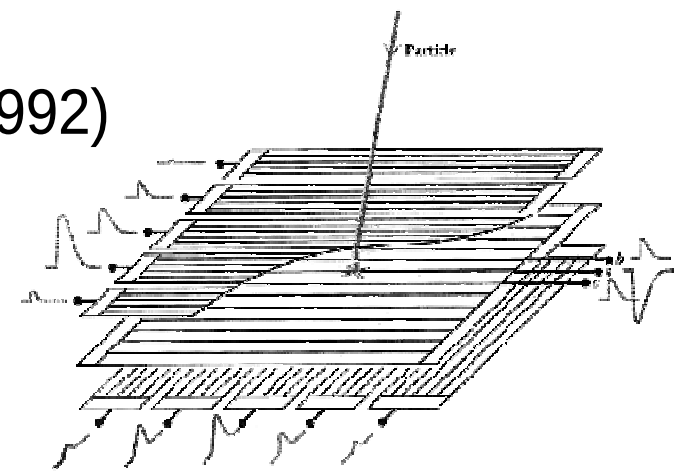
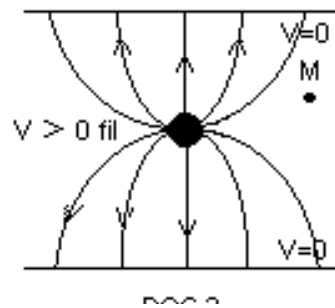
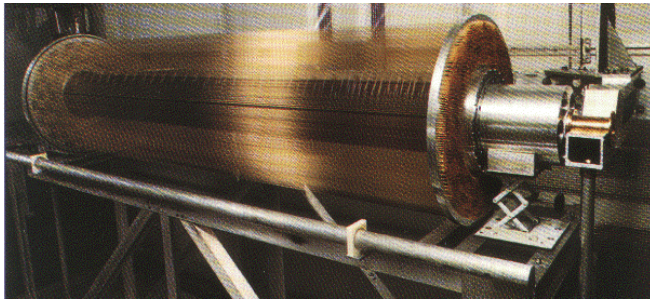
le détecteur **électronique**

En plongeant le détecteur dans un champ magnétique,
la trajectoire de la particule est courbée

⇒ information (impulsion, masse, charge)

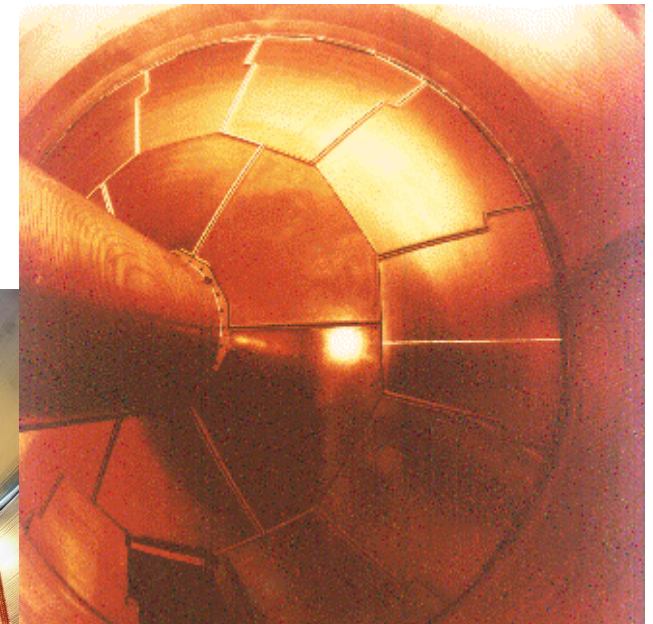
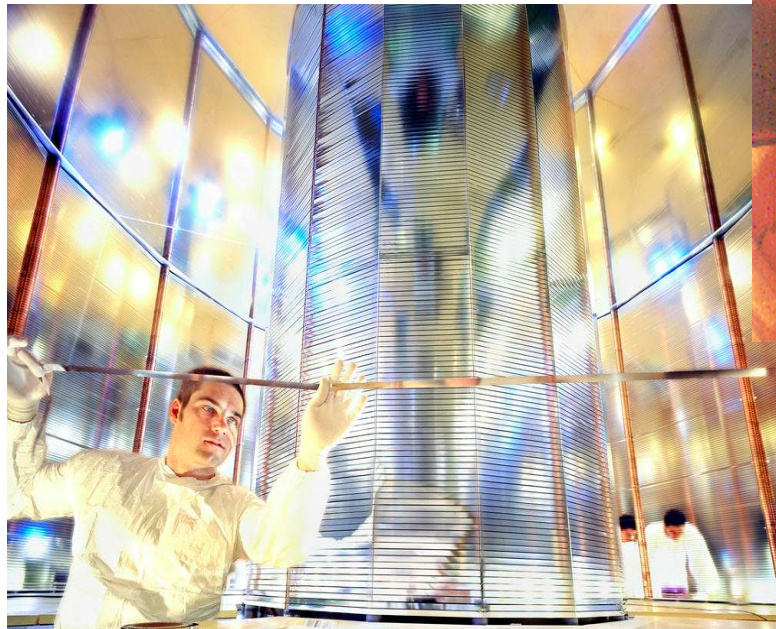
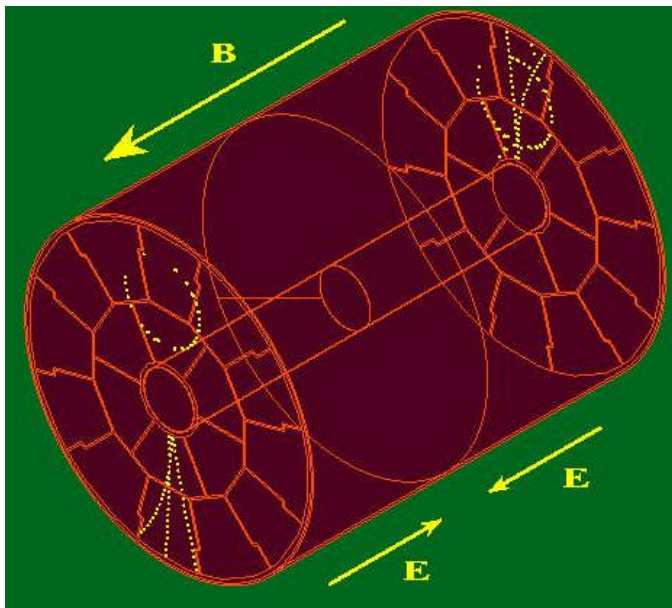


1968 : Chambre a fils (G. Charpak - prix Nobel 1992)



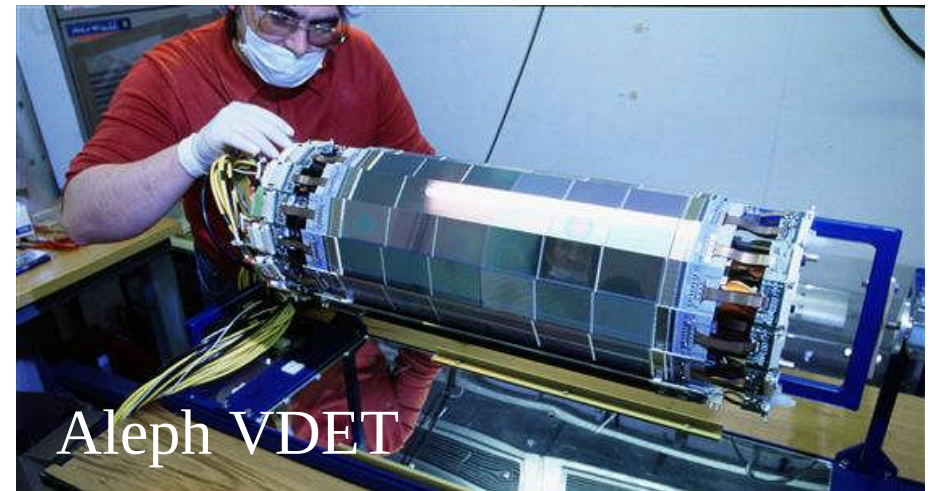
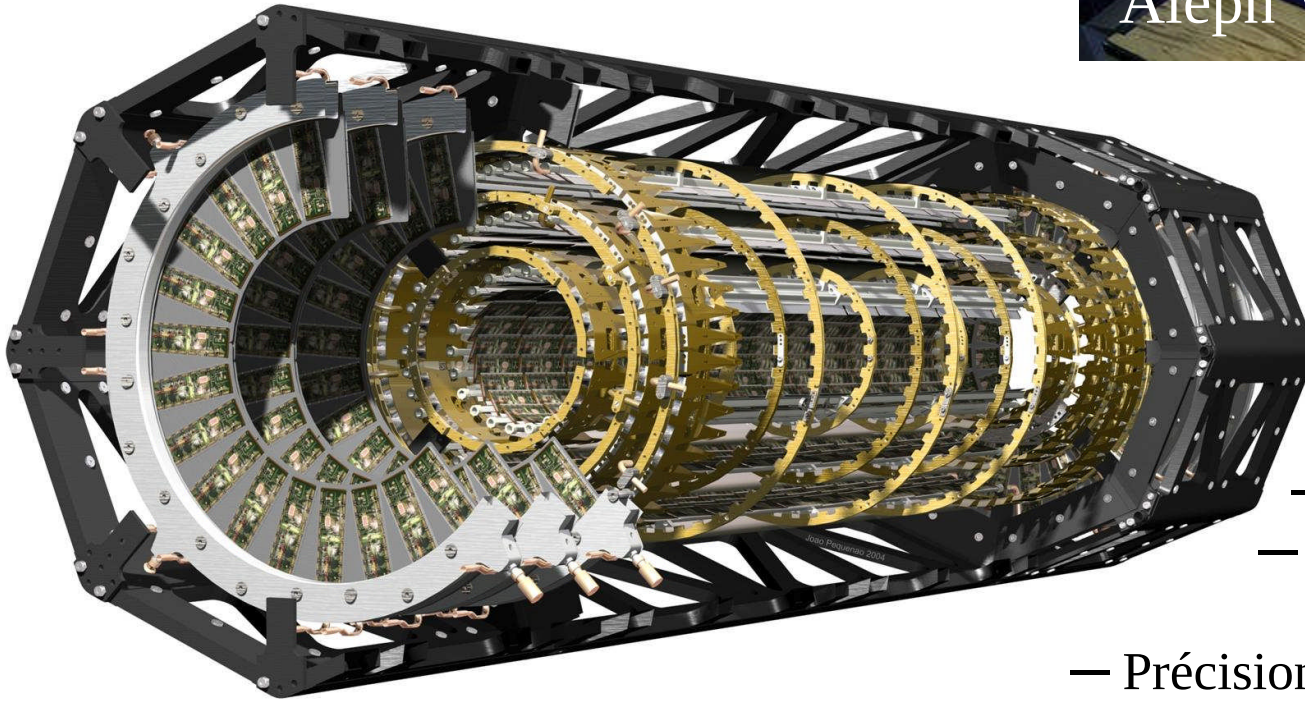
Chambre à projection temporelle

- Ionisation
- Dérive
- Détection



Détecteur à base de silicium

Atlas Pixel

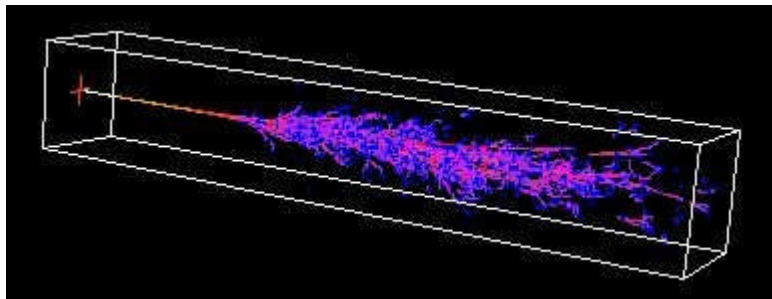


- 3 cylindres de 5, 9 et 12 cm.
- 1456 modules.
- 140 millions de pixels de silicium de 50 à 300 μm de côté.
- Précision de la mesure : $\sim 10\mu\text{m}$.

Ce détecteur est placé très près du faisceau afin de détecter les particules au plus près de la collision

Le passage d'une particule chargée génère un signal électronique dans les pixels, ce qui permet de reconstruire très précisément la trace des particules émergeant de la collision.

Calorimétrie : prendre la proie dans un filet



Attrapez-les tous !

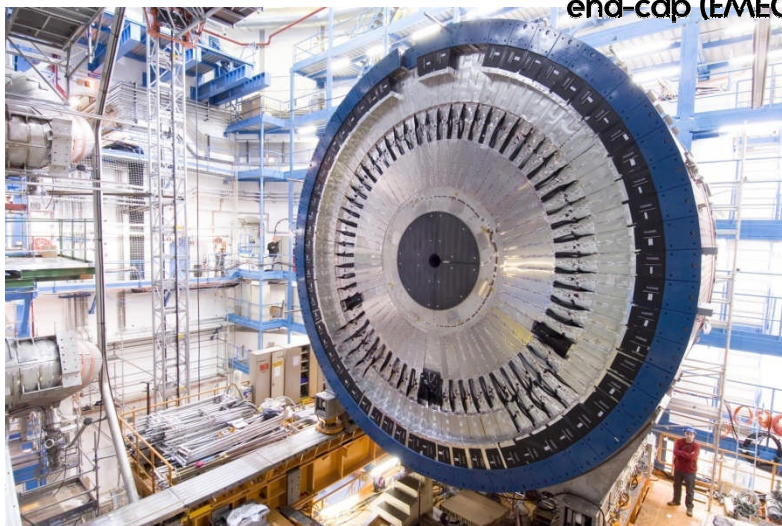
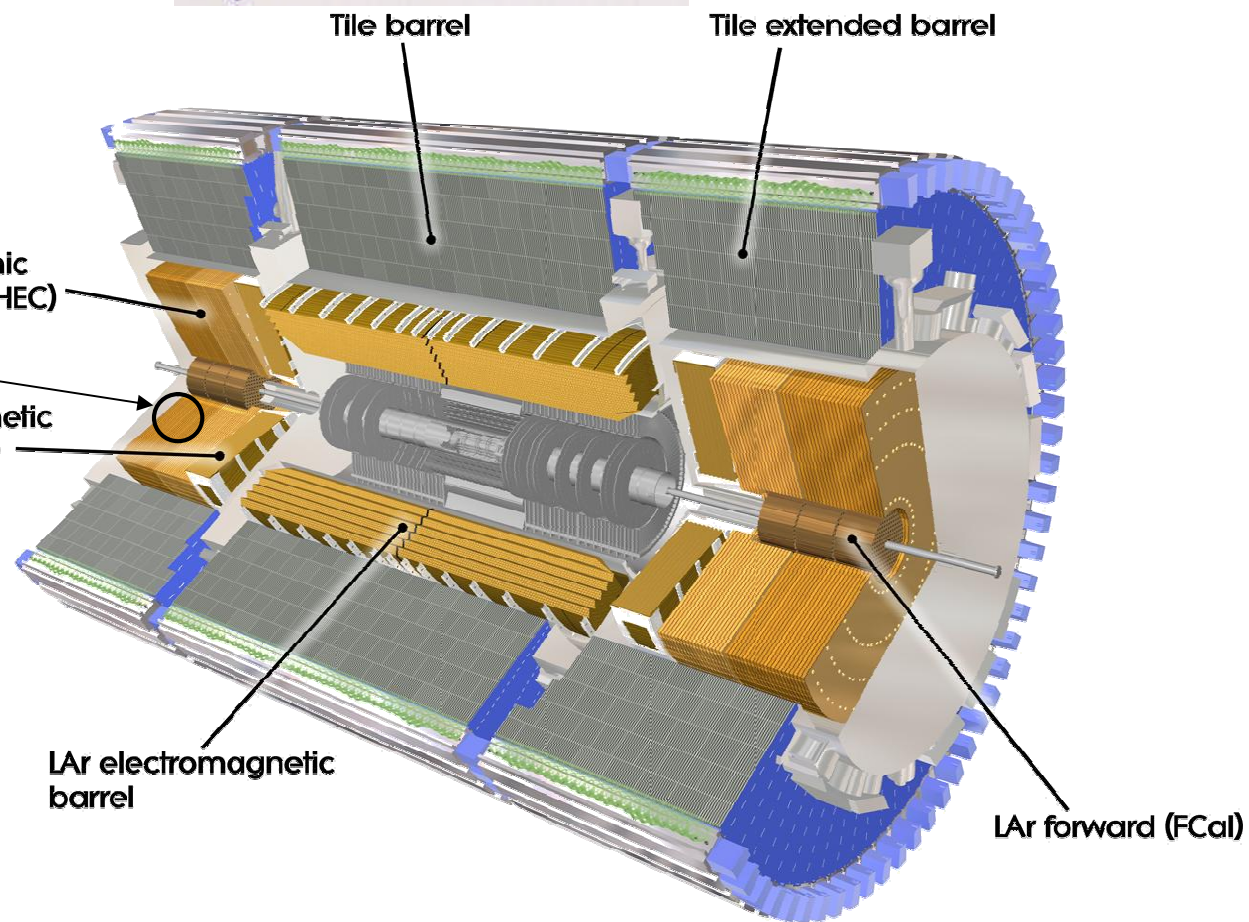
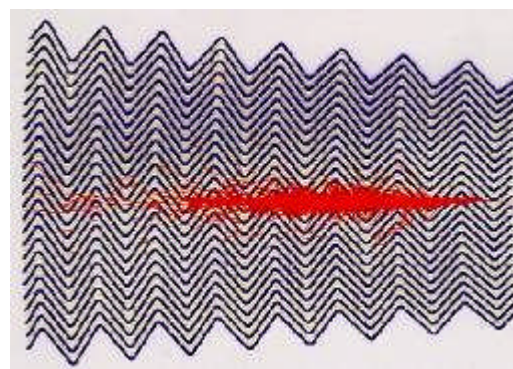
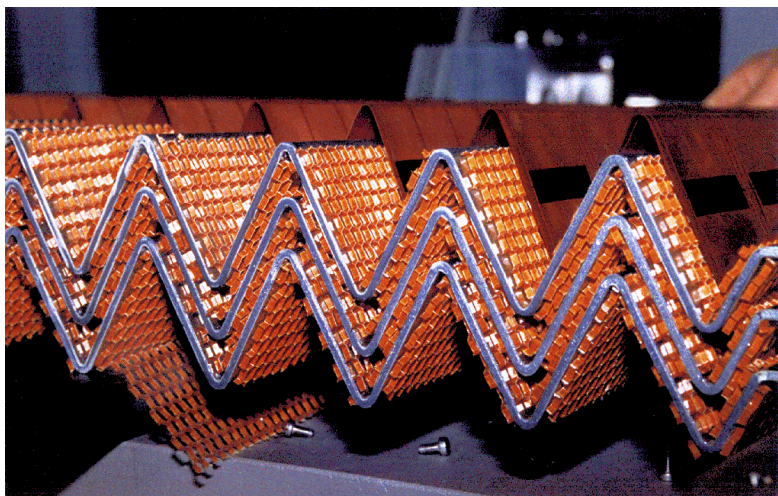
Rien ne doit sortir....

Objectif : récolter un maximum de l'**énergie** de la particule

Facile pour un électron, mais difficile pour un proton !



Exemple : Calorimetre d'ATLAS



Résumons un peu....

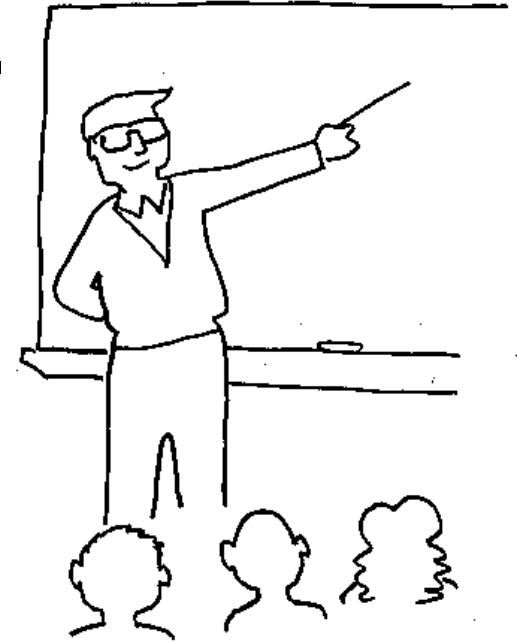
Détecteurs de trace :

Voient passer les particules chargées.

+ Champs Magnétique:

=> Identification de la charge (+/-)

=> Mesure de l'impulsion.



Calorimètres :

Stopent les particules (du moins ils essaient!) chargées ou neutres.

=> Identification du type (Electrons/Hadrons)

=> Mesure de l'énergie total

Pour :

De déduire autant d'informations que possible sur les particules produites
(**impulsion manquante, produits de désintégration,...**)

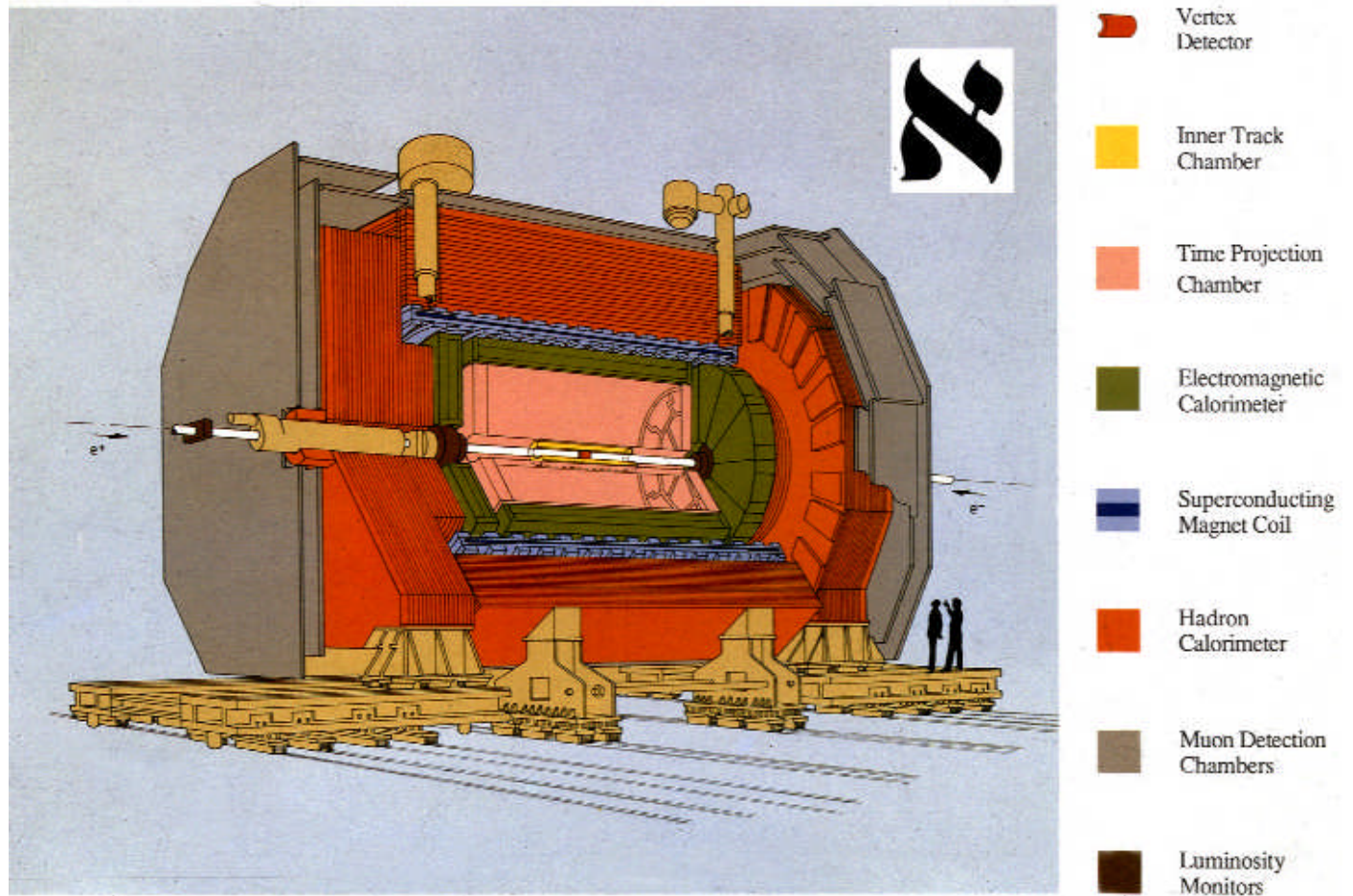
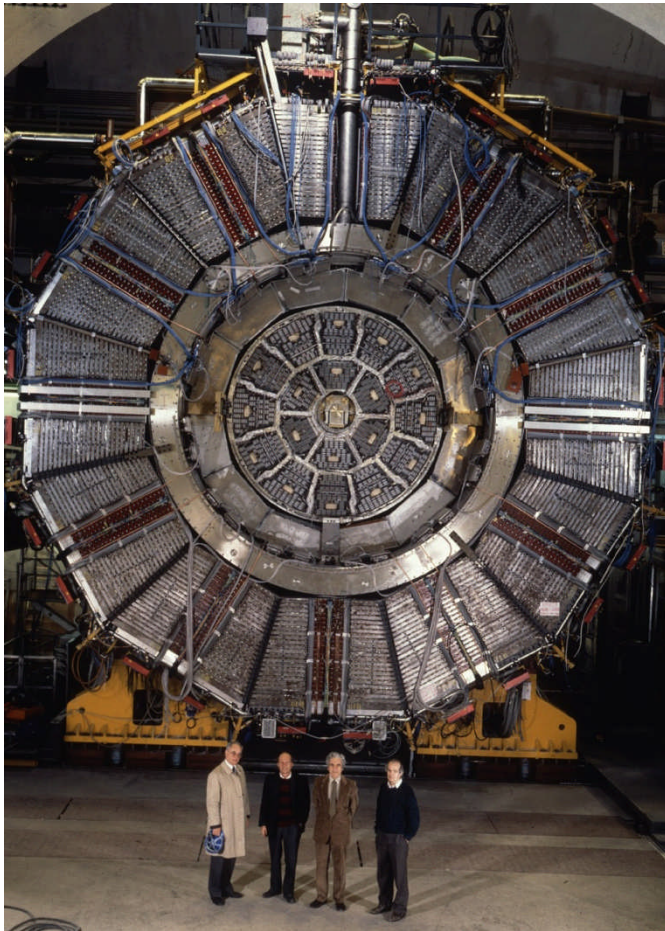
...Alors seulement, on pourra l'identifier...

Chapitre 3 :

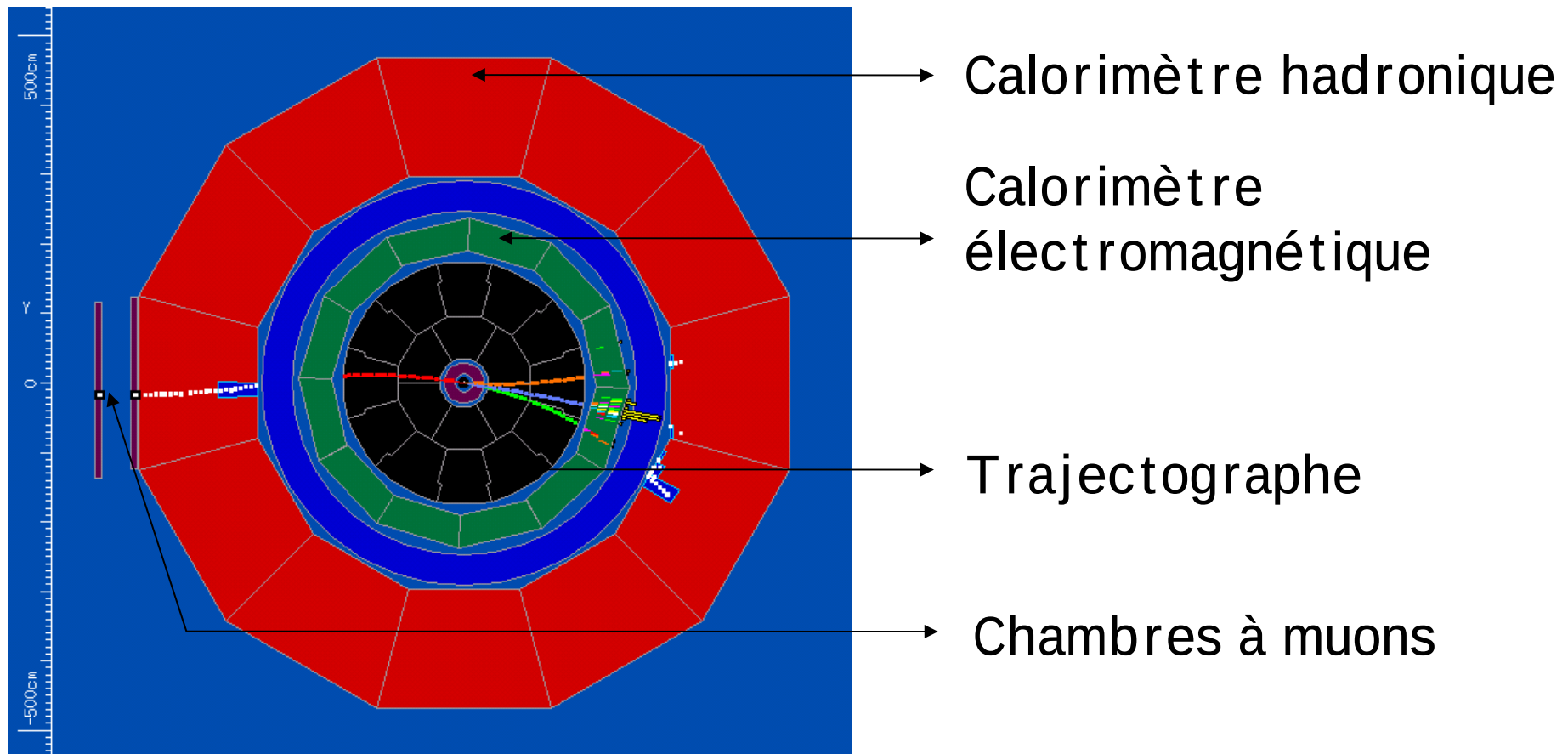
L'équipement du chasseur de particules



Le détecteur ALEPH, au LEP

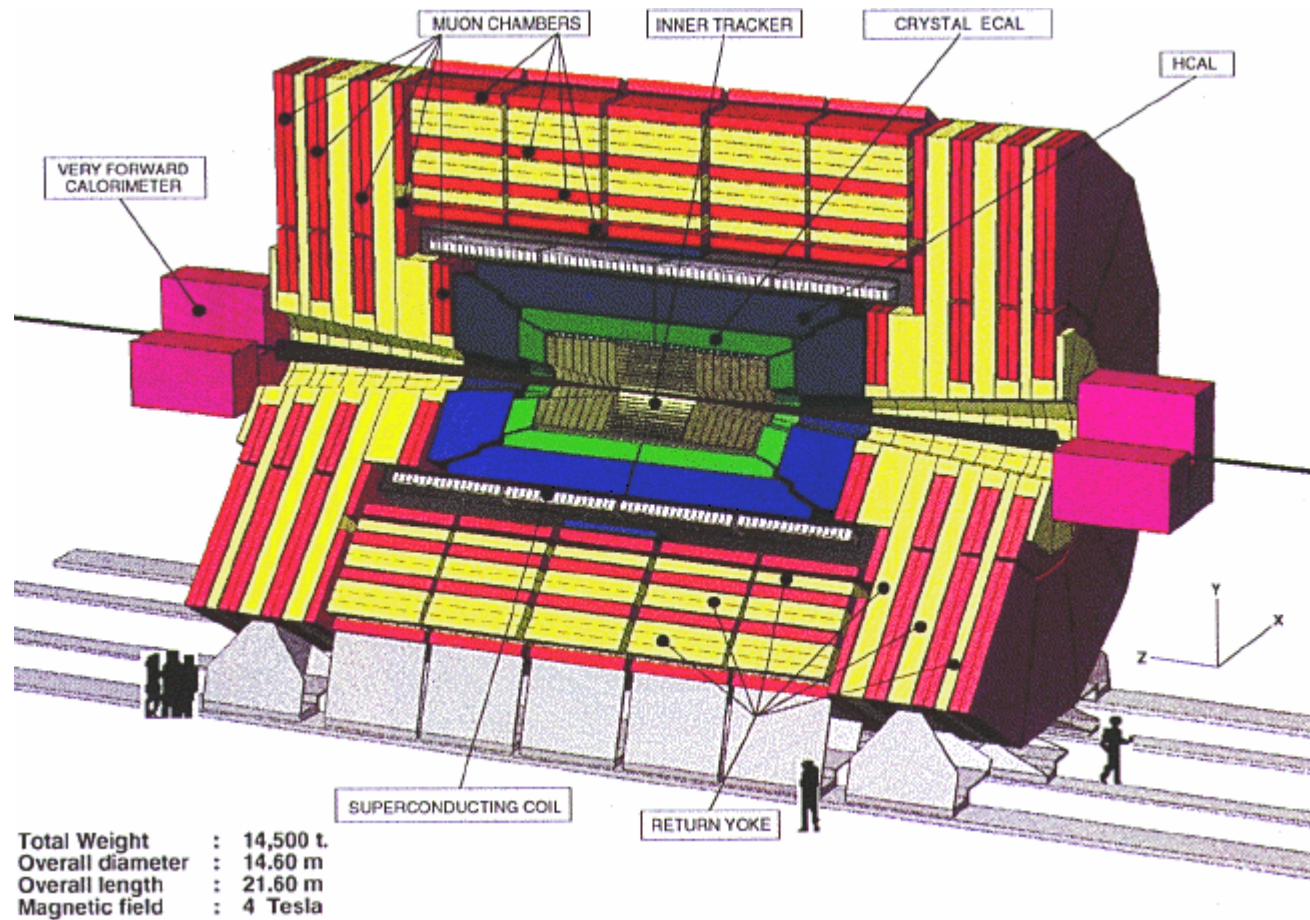


Le détecteur ALEPH, au LEP



Toutes les sous-parties sont présentes...
... et plongées dans un champ magnétique

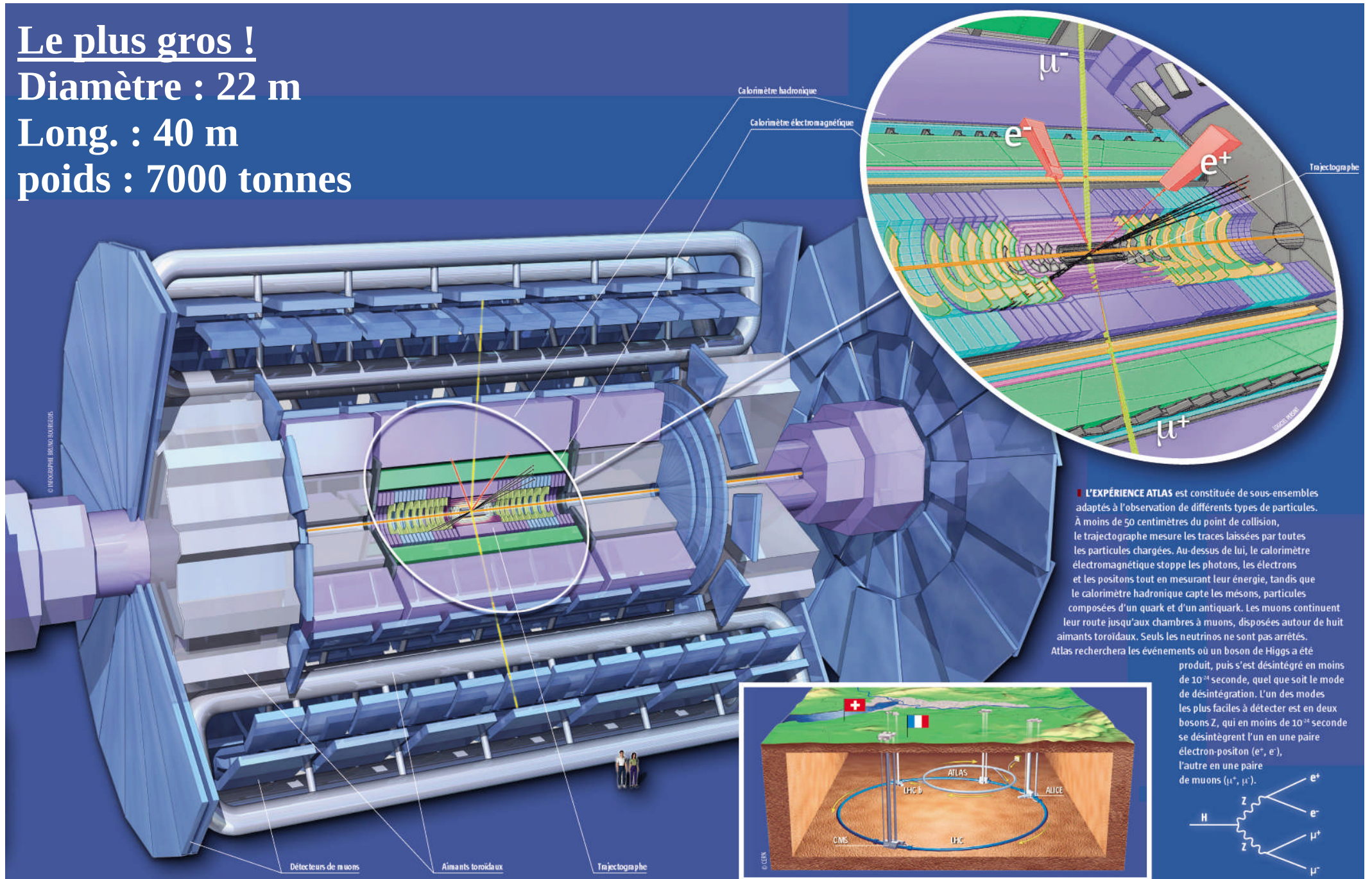
Le détecteur CMS



L'idée est la même, seule la taille change... (et ce n'est pas le plus gros)

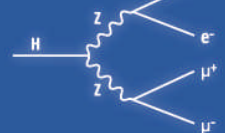
Le détecteur ATLAS

Le plus gros !
 Diamètre : 22 m
 Long. : 40 m
 poids : 7000 tonnes



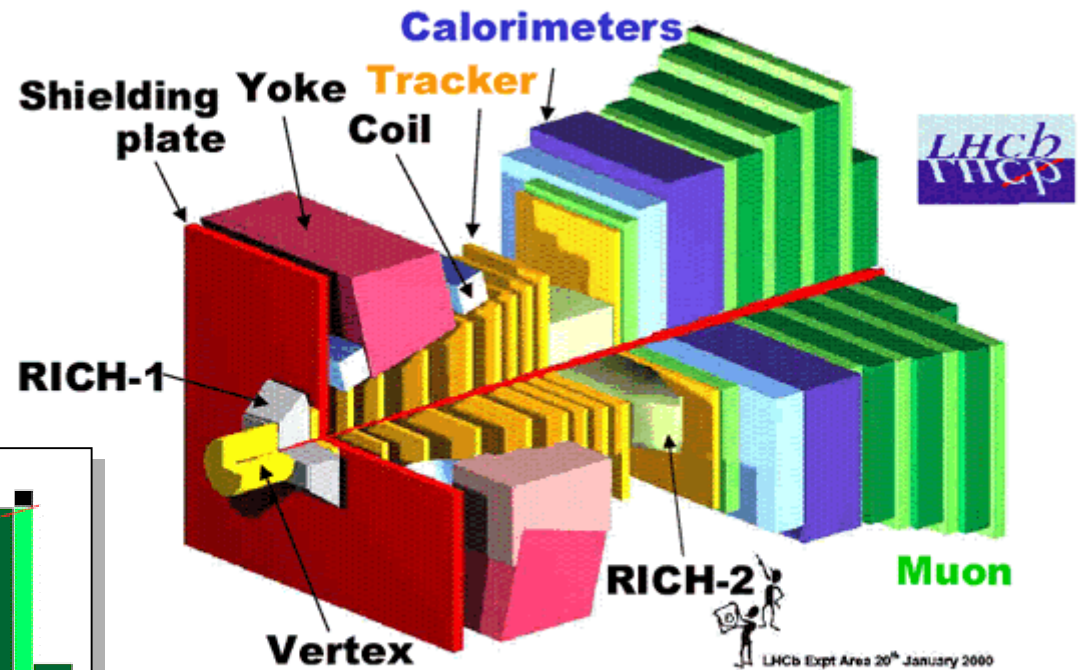
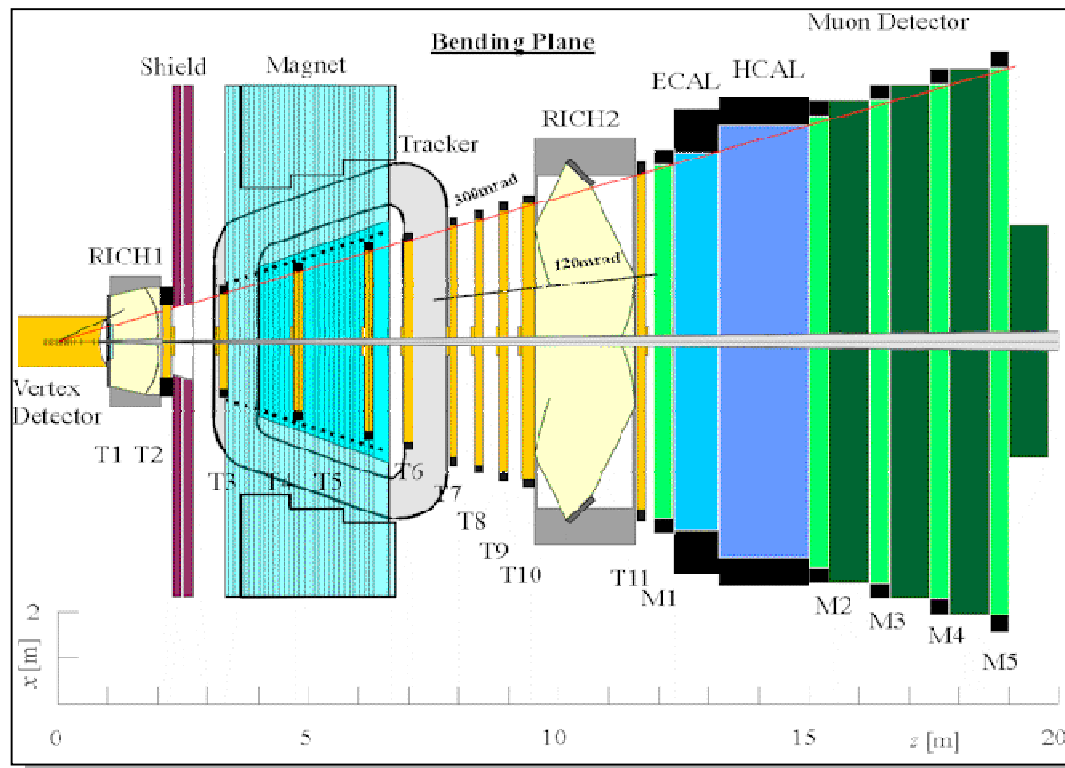
L'EXPERIENCE ATLAS est constituée de sous-ensembles adaptés à l'observation de différents types de particules. A moins de 50 centimètres du point de collision, le trajectographe mesure les traces laissées par toutes les particules chargées. Au-dessus de lui, le calorimètre électromagnétique stoppe les photons, les électrons et les positons tout en mesurant leur énergie, tandis que le calorimètre hadronique capte les mésons, particules composées d'un quark et d'un antiquark. Les muons continuent leur route jusqu'aux chambres à muons, disposées autour de huit aimants toroïdaux. Seuls les neutrinos ne sont pas arrêtés. Atlas recherchera les événements où un boson de Higgs a été

produit, puis s'est désintégré en moins de 10^{-24} seconde, quel que soit le mode de désintégration. L'un des modes les plus faciles à détecter est en deux bosons Z, qui en moins de 10^{-24} seconde se désintègrent l'un en une paire électron-positon (e^+ , e^-), l'autre en une paire de muons (μ^+ , μ^-).



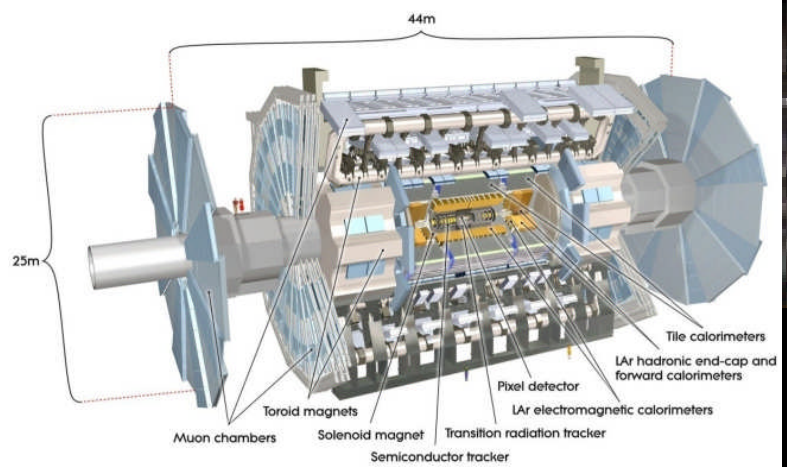
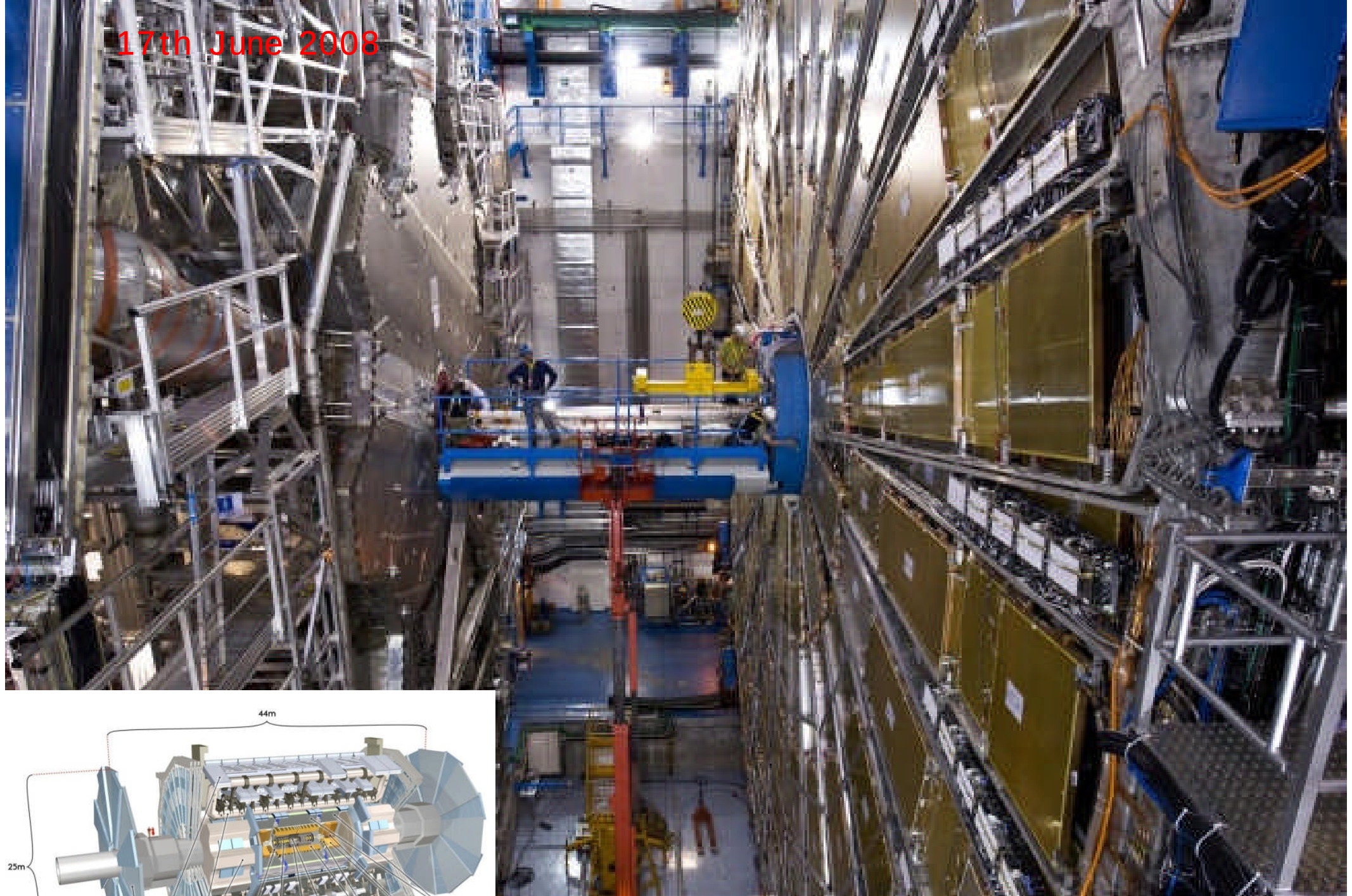
LHCb ... Le détecteur qui affiche sa différence !

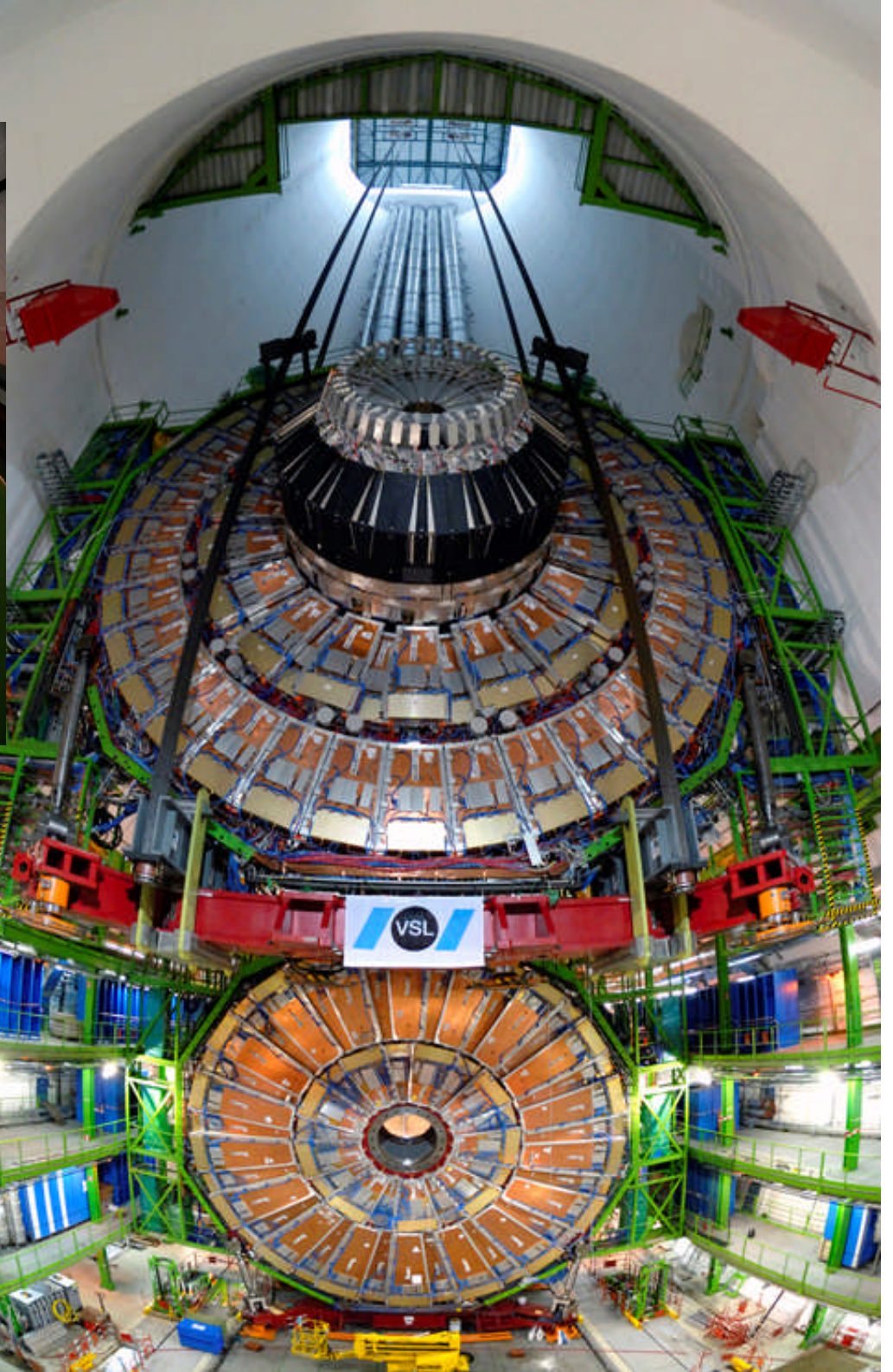
Pour voir au plus prêt du faisceau ...



... les phénomènes rares et
contraindre le modèle standard

17th June 2008





<http://cms.cern.ch>

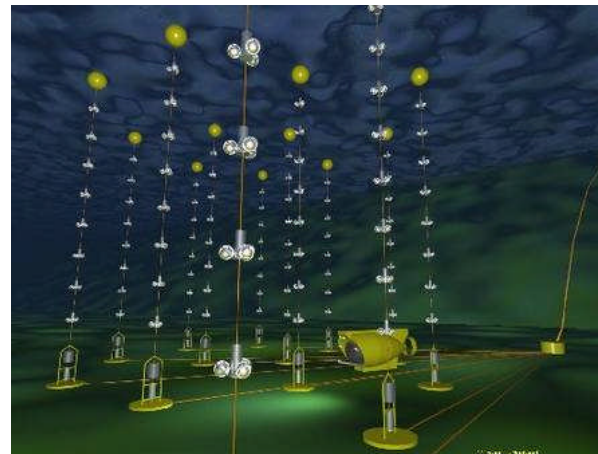
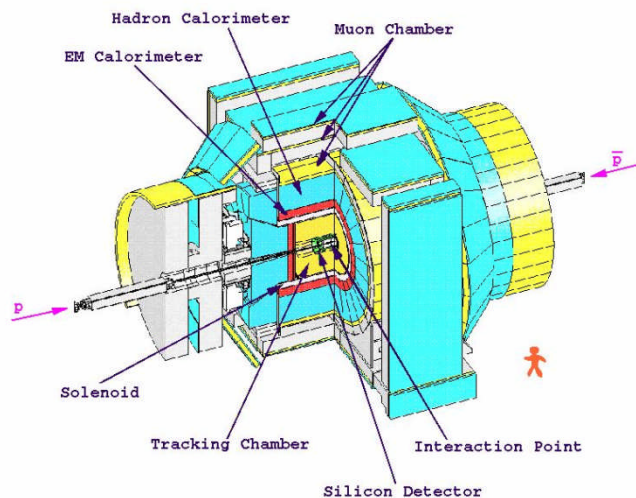
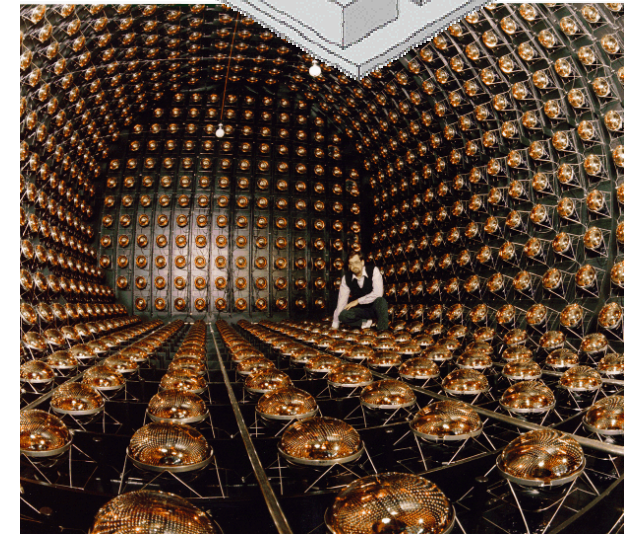
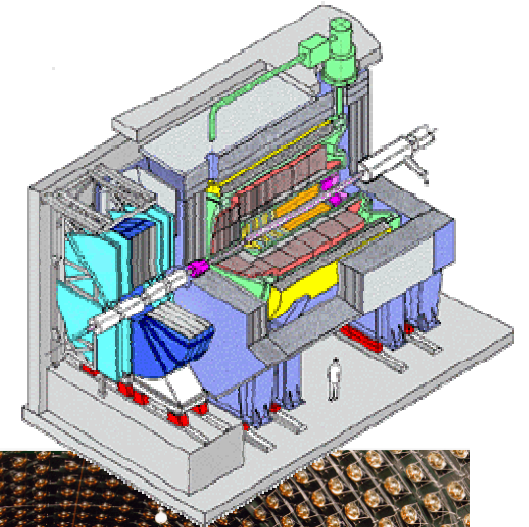
C'est tout ?

Non !

Il existe d'autres accélérateurs, et d'autres détecteurs :
CDF, DELPHI, ZEUS, H1, ALICE, ...

Pour les neutrinos,
Super-Kamiokande, Ice-cube, Antares, SNO

Mais toujours les mêmes principes de détection...



Chapitre 4 :

Reconnaître sa proie.

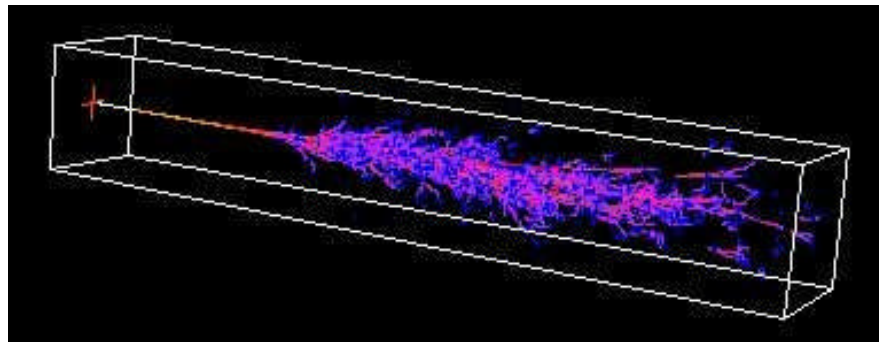


u up	c charm	t top	γ photon
d down	s strange	b bottom	g gluon
ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z Z boson
e electron	μ muon	τ tau	W W boson

L'électron

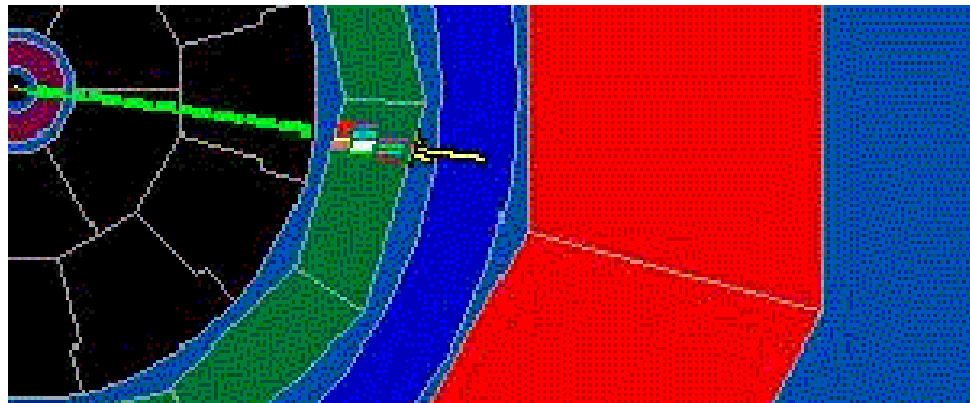
Léger —→ Dévié par toutes les collisions et facilement arrêté

Particule chargée —→ Traces visibles dans le trajectographe



« gerbe » électromagnétique : une histoire de billard original

—→ Arrêt dans le calorimètre électromagnétique

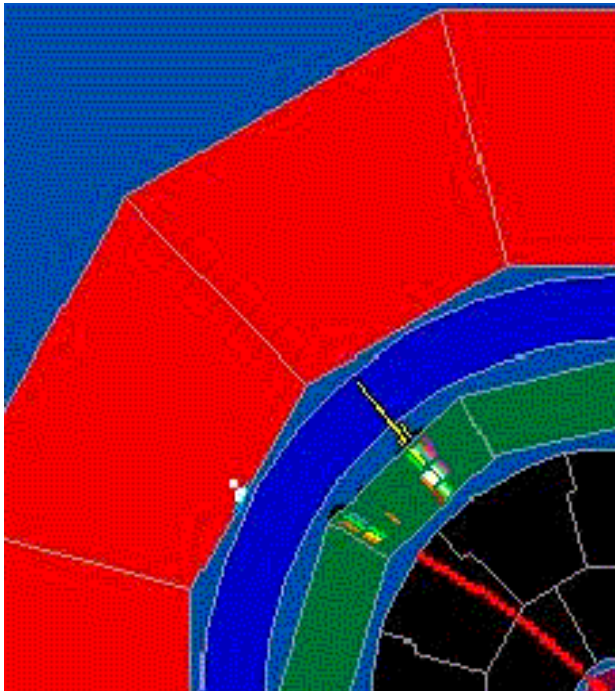


Le photon

Interagit très fort avec les électrons :
gerbes visibles dans le calorimètre électromagnétique

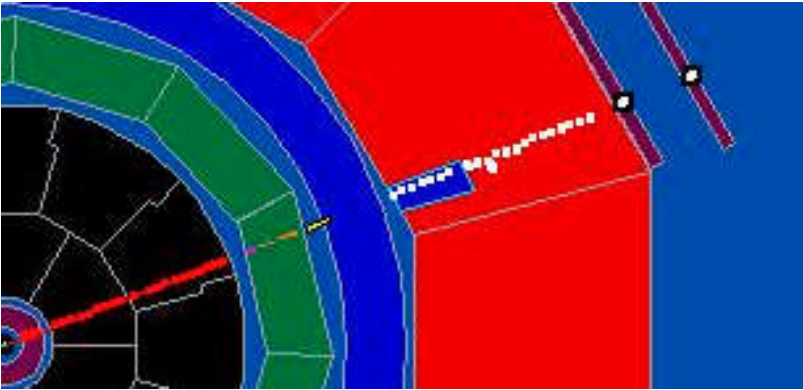
Particule non chargée

→ Pas de traces visibles dans le trajectographe



Nota : le photon, c'est la particule de lumière !!!

Le muon



Grand (gros) frère de l'électron

Muon = *impossible* à arrêter

Temps de vie = 2ms, mais plus que suffisant !

Interagit très peu :

Discret dans les calorimètres

Particule chargée

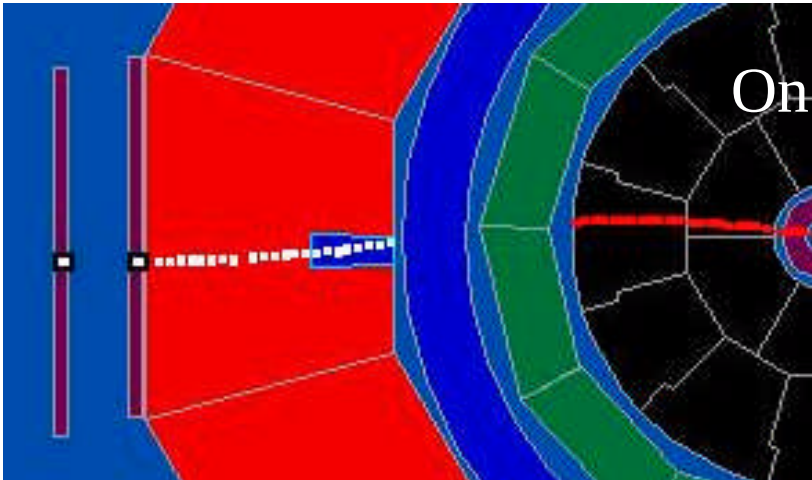
Traces visibles dans le trajectographe

Le tau

« Trop » gros frère de l'électron...
Temps de vie = $3 \cdot 10^{-13}$ s : il meurt tout de suite



On le reconnaît par ses produits de désintégration:



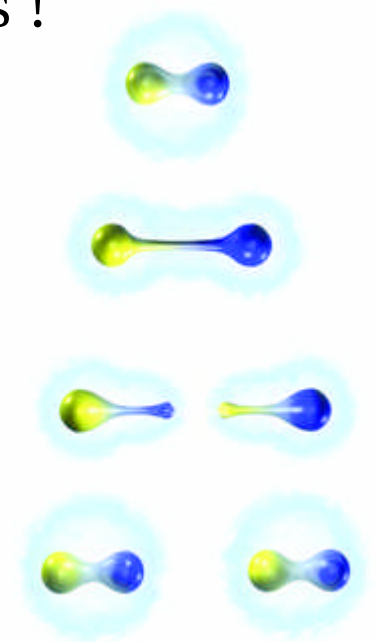
Muon + neutrino 1 + neutrino 2
Electron + neutrino 1 + neutrino 2
Pion 1 + pion 2 + neutrino

Les quarks

Particules chargées, mais qui interagissent très fort entre elles !
Les quarks restent entre eux, par 2 ou par 3, et ne sortent jamais seuls.

Quand un groupe de quark se sépare,
il a tendance à créer des paires de quarks : Il *hadronise*...

Comme ces paires de quarks font de même, on obtient
un *jet* de particules à base de quarks, et autres.



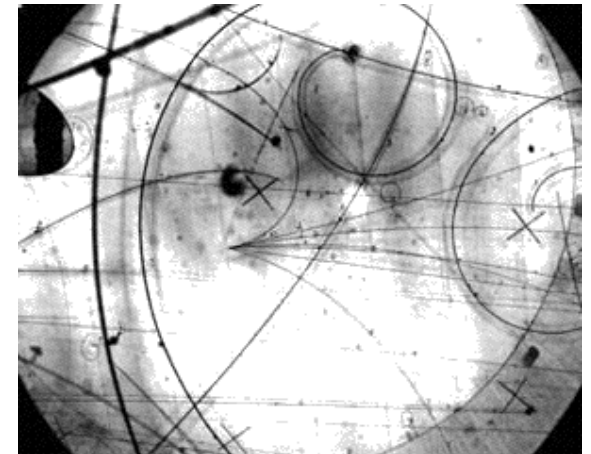
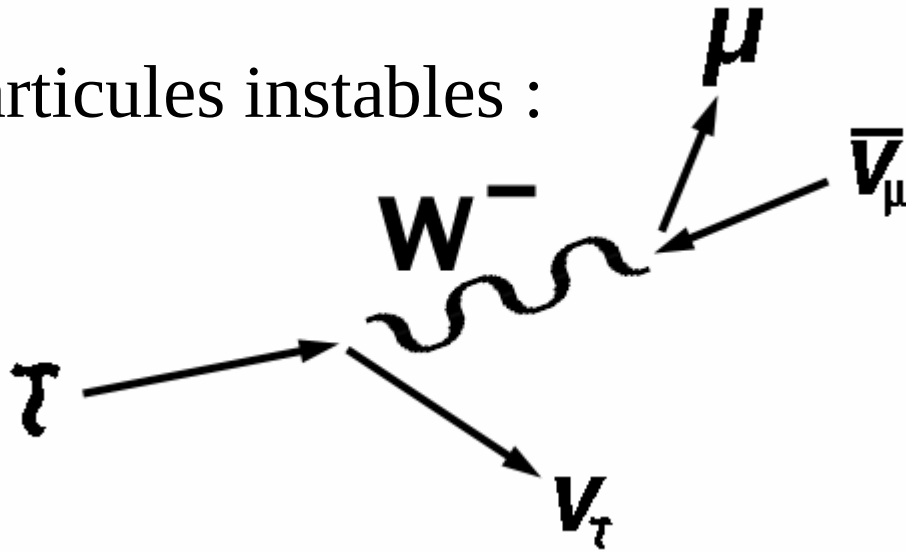
On connaît 6 quarks, qui constituent
entre autres les protons, les neutrons, les pions

Leurs masses vont de 0.005 GeV à 175 GeV.

Prix Nobel 2004 !

Mesures “indirectes” : deviner l'invisible

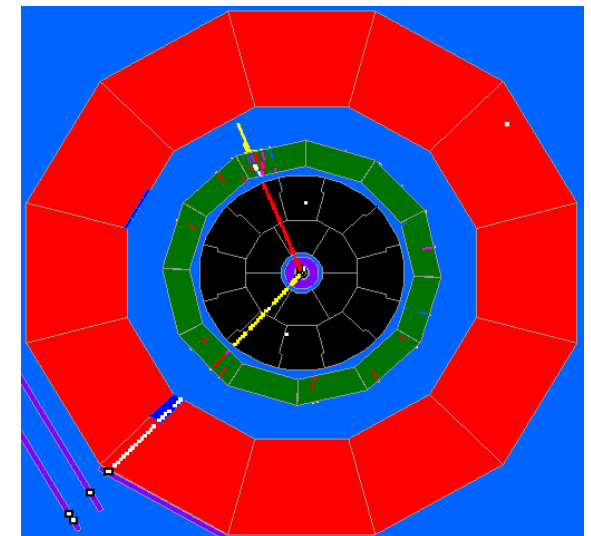
1) les particules instables :



2) les invisibles :

Comment “voir” un neutrino (particule *invisible*) ?

par la conservation de l'**impulsion** totale !



Les neutrinos

Très très légers

Pas de charge électrique

pas visibles dans le trajectographe

Pas de jets

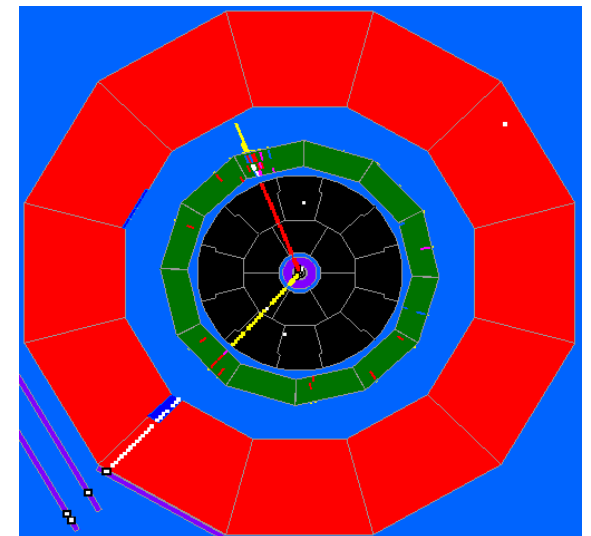
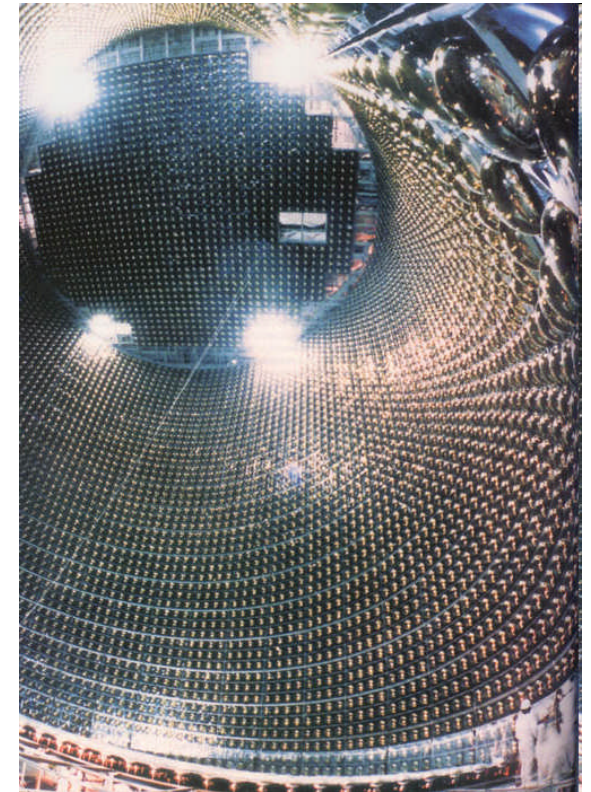
Interagissent très peu

On ne les observe pas dans un « petit » détecteur

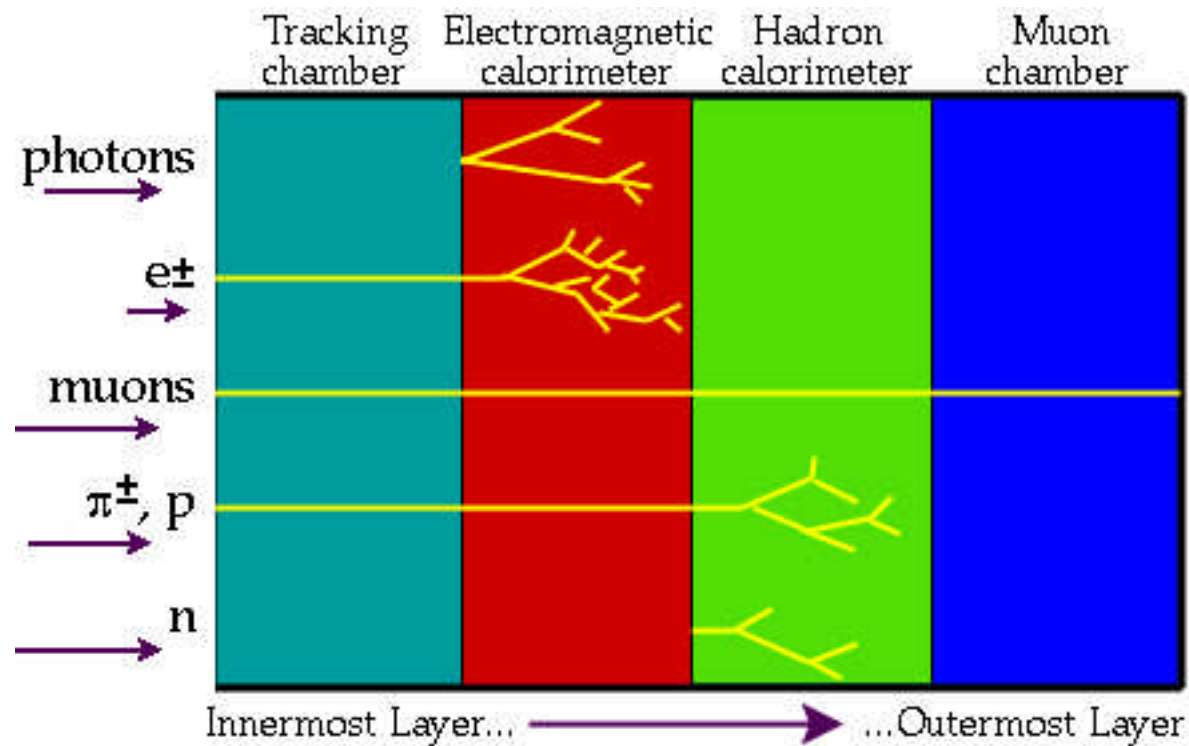
2 solutions :

- détecteurs pharaoniques

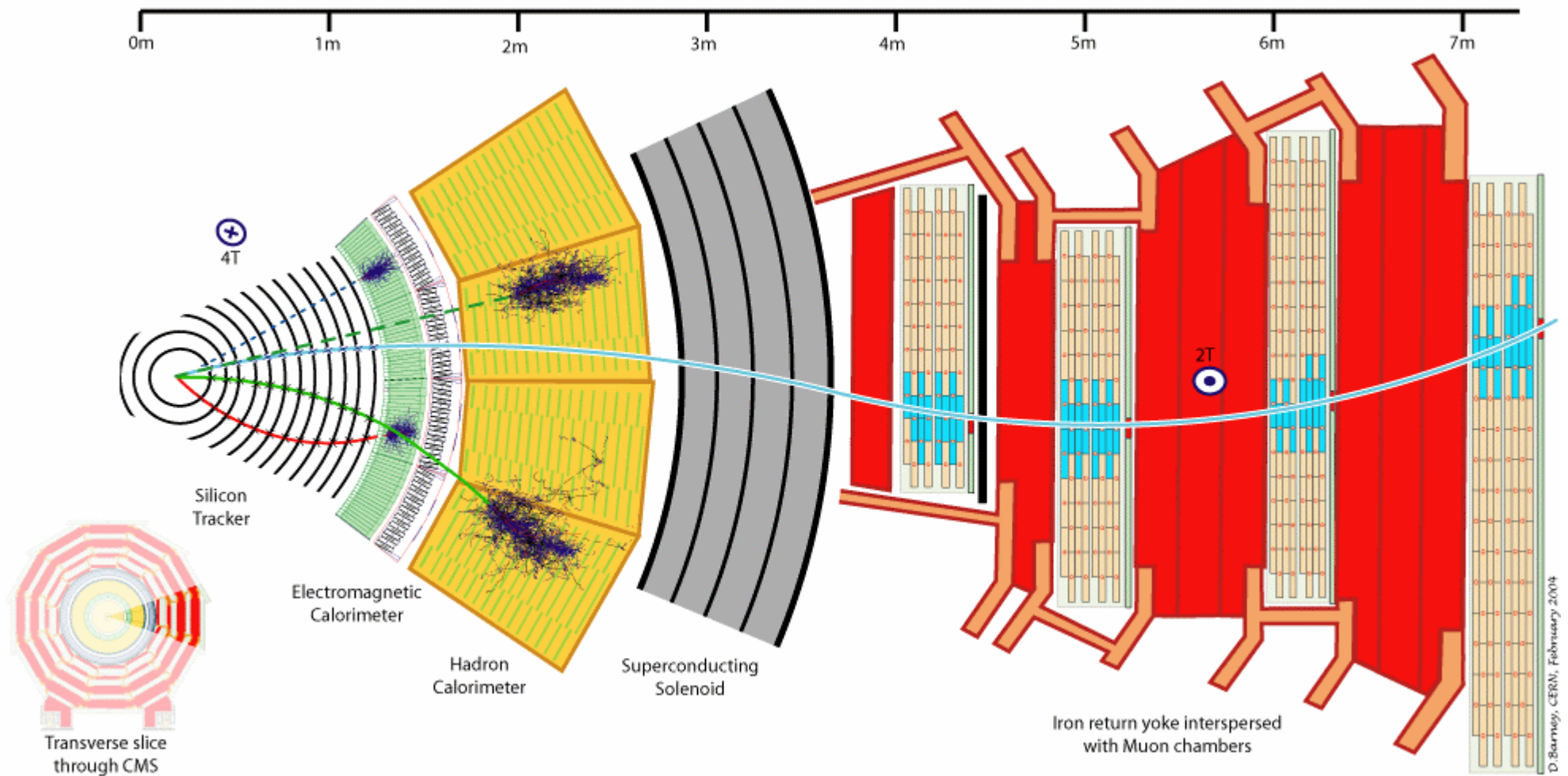
ou - déductions logiques



On récapitule...



Qui est qui ?



Chapitre 5 :

La quête du Graal : le boson de Brout - Englert - Higgs.



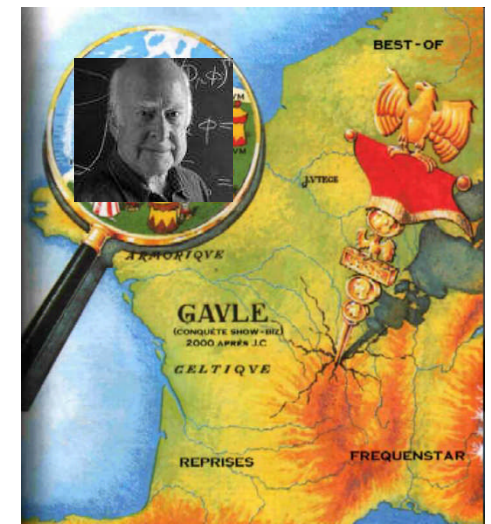
Ce que l'on cherche...

Si l'on se réfère au modèle standard des particules et de leurs interactions, on a observé toutes les particules décrites...

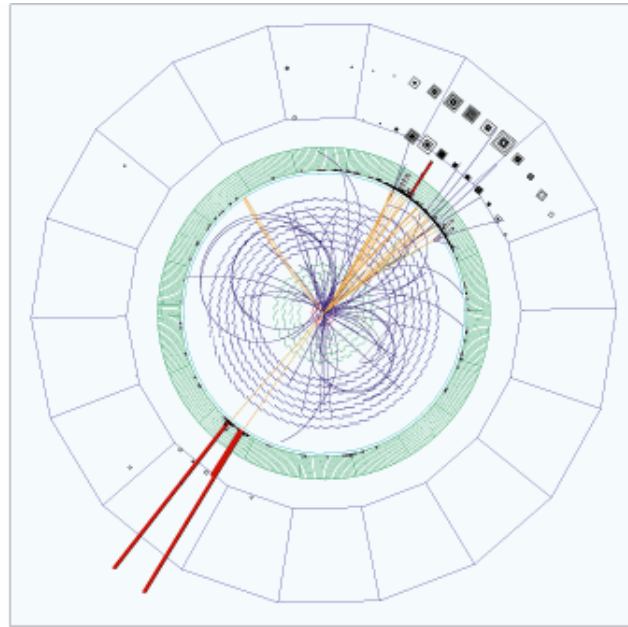
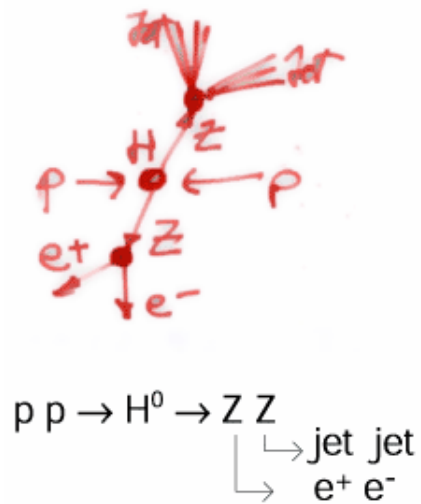
Toutes ? Non... Une particule, rebelle, se fait attendre !

Il s'agit du boson de Higgs, qui explique théoriquement l'origine de la masse des particules.

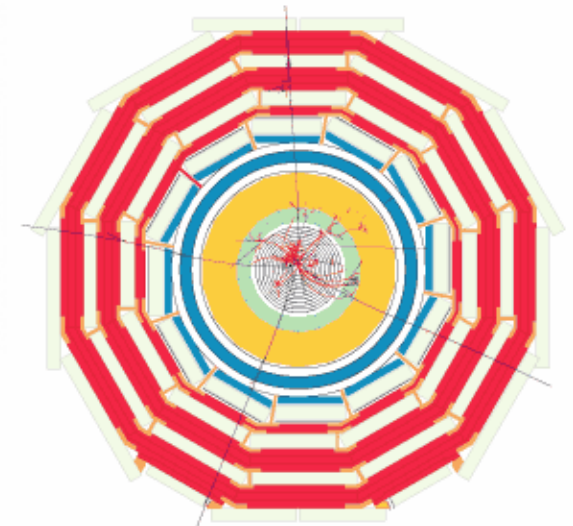
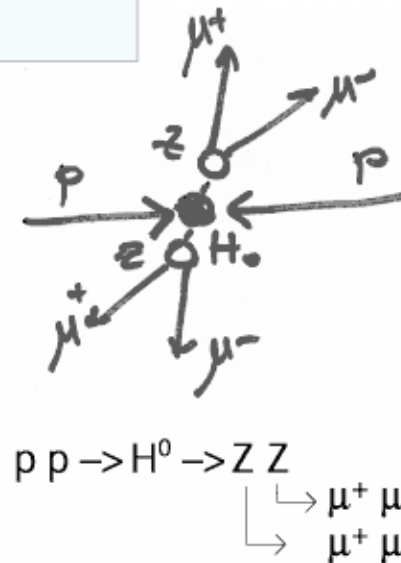
Evidemment, l'imagination des théoriciens à inventé plein d'autres particules, dans d'autres modèles, mais seule l'expérience aura le dernier mot !



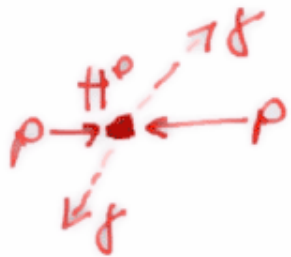
Signatures observées dans les détecteurs



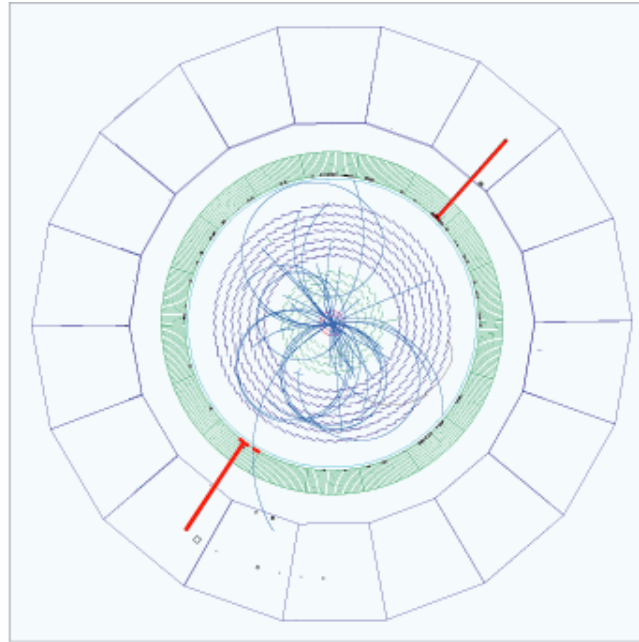
Selon la masse du Higgs (inconnue),
il se désintégrera de préférence en
différentes particules... et sera plus
ou moins facile à identifier !



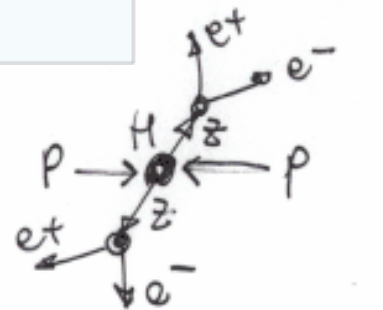
Autres signatures



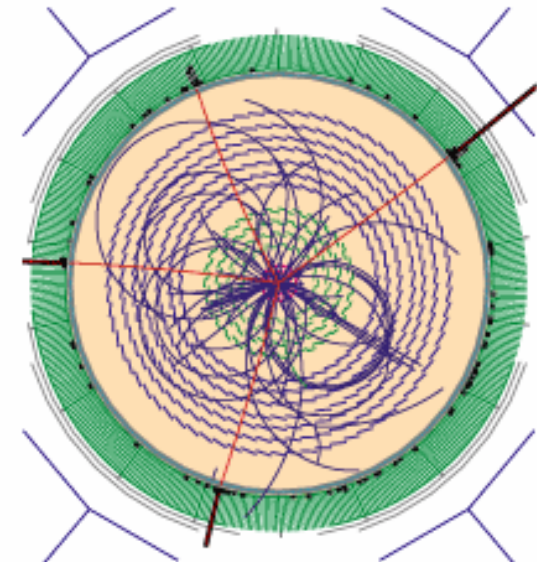
$$pp \rightarrow H^0 \rightarrow \gamma\gamma$$



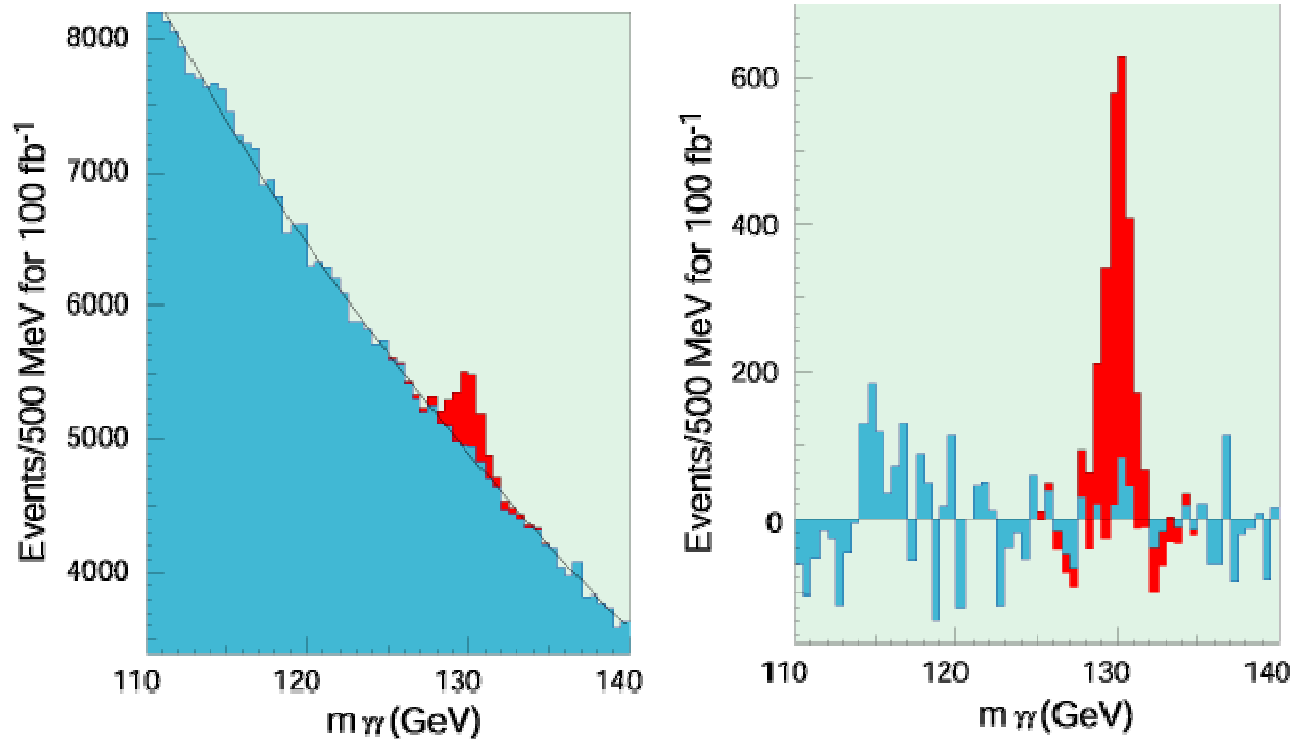
Autres modes de désintégration possibles...



$$pp \rightarrow H^0 \rightarrow ZZ \rightarrow e^+e^- e^+e^-$$



Chercher un μg d'aiguille dans 10 tonnes de foin



Trouver le higgs au LHC, c'est isoler quelques événements par jour, quand il y en a 800.000.000 par seconde !!!

Conclusions

La physique des particules, c'est des théoriciens bourrés d'imagination, des expérimentateurs qui voient grand et qui pour certains adorent les ordinateurs...

Pour voir l'infiniment petit, sans microscope assez puissant, il faut savoir ruser, chercher des infos cachées, voir l'invisible et boire beaucoup de café.

~ ~ ~ FIN ~ ~ ~