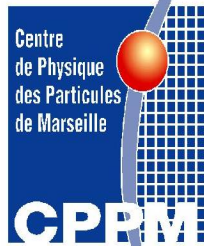


Cycle des Conférences du CPPM



DIRK HOFFMANN

DOCTEUR EN PHYSIQUE (UNIV. HAMBOURG)

INGÉNIEUR DE RECHERCHE

EXPERT EN DÉVELOPPEMENT D'APPLICATIONS

INFORMATIQUES (TEMPS RÉEL)

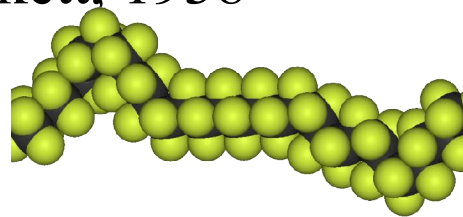
Physique des Particules

—

Incitateur d'innovations et de développement depuis 100 ans

■ De l'expérience de Rutherford au LHC

- Symboliquement, les équipes des expériences “Rutherford” et ATLAS
 - Geiger, Marsden, Rutherford
 - 2500 physiciens (+ n techniciens)
- D'un début de siècle à l'autre
- Nous connaissons la poêle Teflon, qu'en est-il pour la PP ?
 - R. Plunkett, 1938



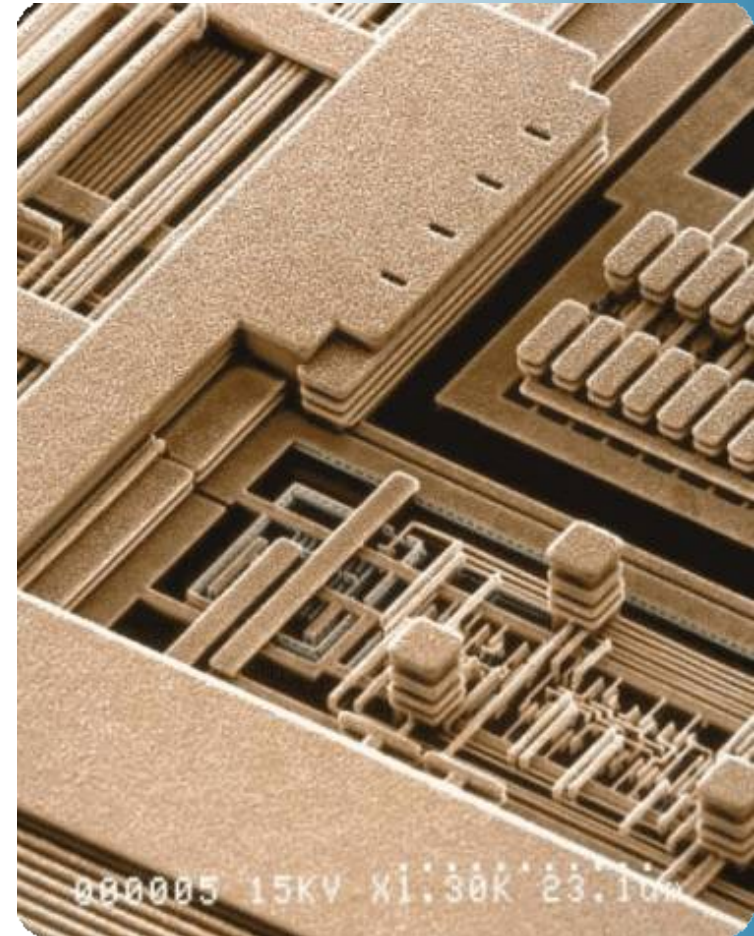
M. Grégoire, 1954

Les vraies « poêles de Teflon »

- Mesureur de tension oculaire de poche



- Calculateur μ -électronique



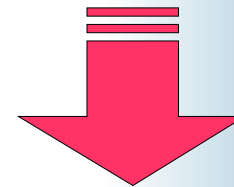
Changements sur plusieurs plans

- **Fabrication des objets de recherche : Accélérateurs**
- **Outils et appareils de manipulation : Détecteurs**
- **Traitement des données**
- **Collaborations**

- **Technologie**

- Electronique
- Informatique
- Mécanique

- **Sociologie**



- **Valorisation ?**

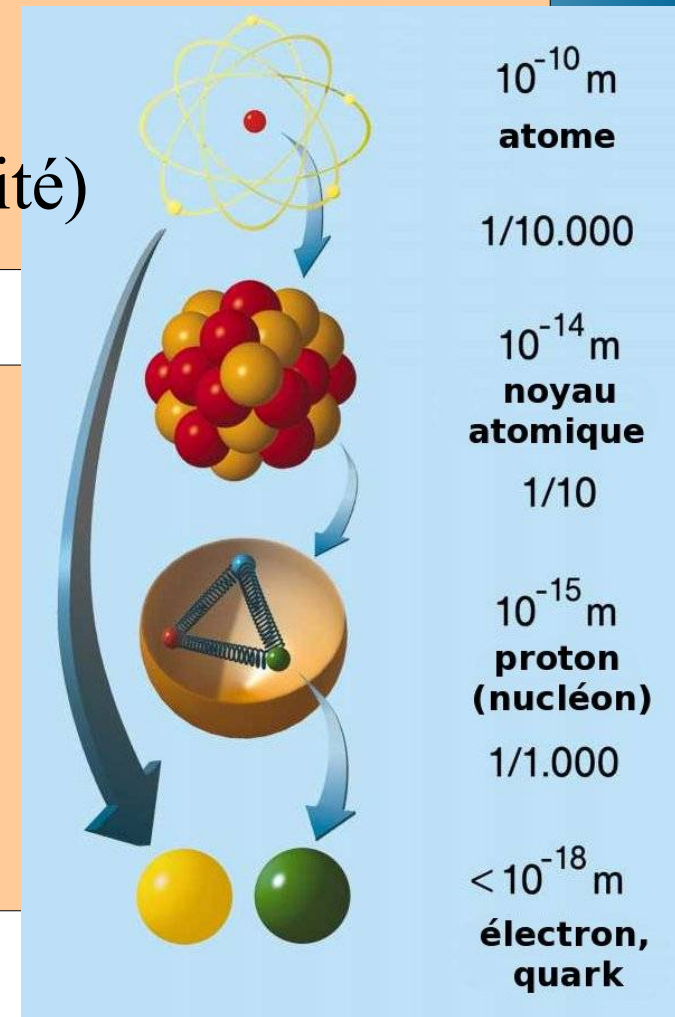
La physique

- **1900 : « physique classique » (pas quantique)**

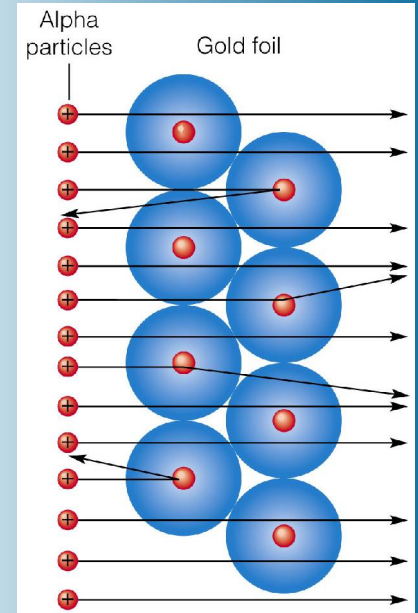
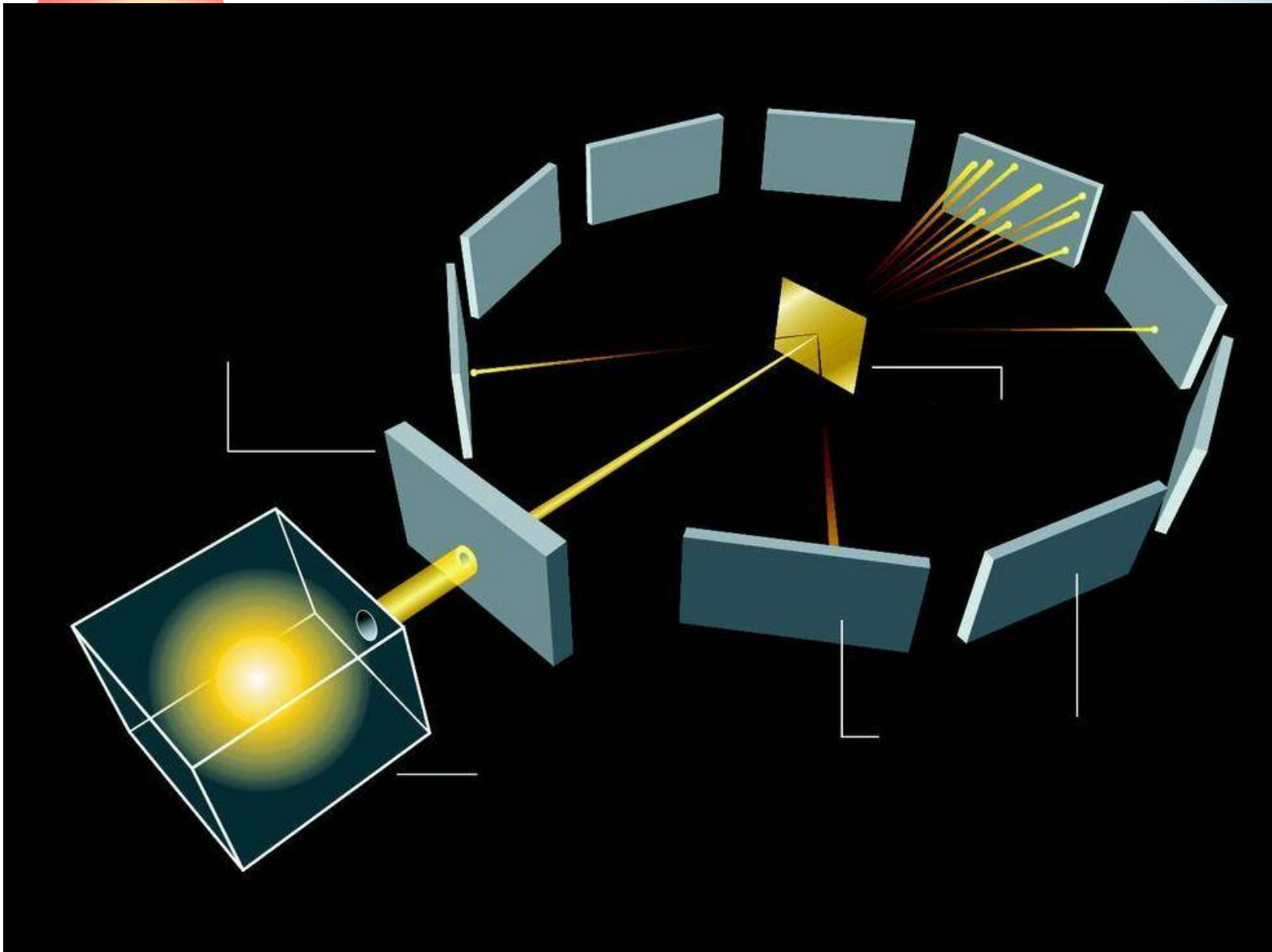
- 3 particules élémentaires (e^- , p^+ , n)
- 2+1 forces (électro-magnétique, gravité)

- **2000 : modèle standard**

- 2 types de 3 générations de particules [udscbt- $e\mu\tau$ + ν]
- 3+1 forces (électro-faible + forte, gravité)



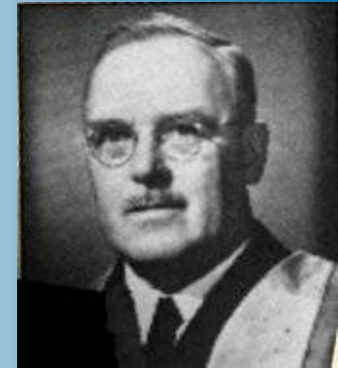
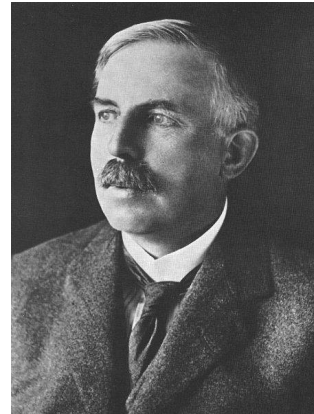
L'expérience de Rutherford



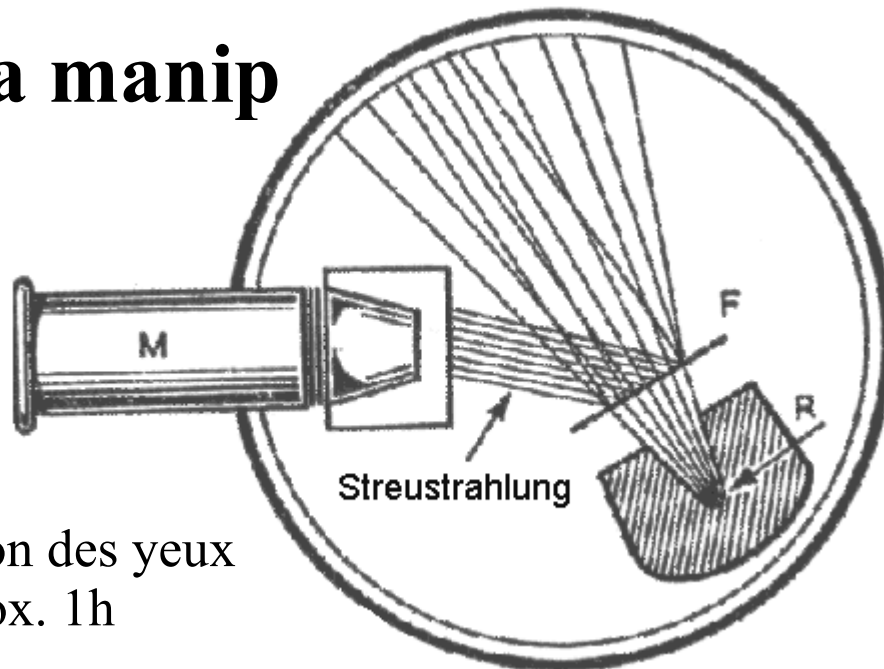
L'expérience de Rutherford

■ L'équipe :

- Ernest Rutherford
- Hans Geiger
- Ernest Marsden

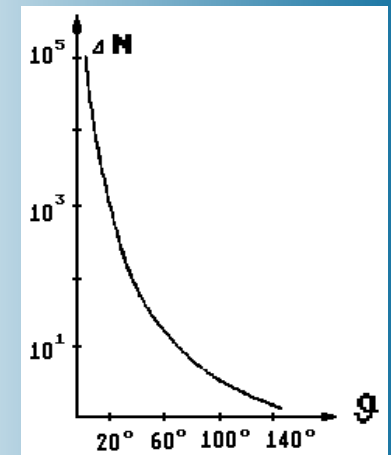


■ La manip




Adaptation des yeux
approx. 1h

■ Le résultat



Rétrodiffusion de 1/20000
part. !

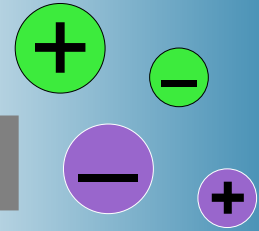
Les lois de la physique



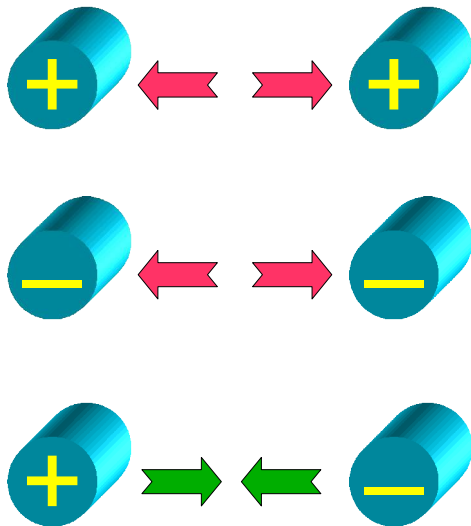
PHYSIQUE
(électromagnétisme)

Forces subies par une particule

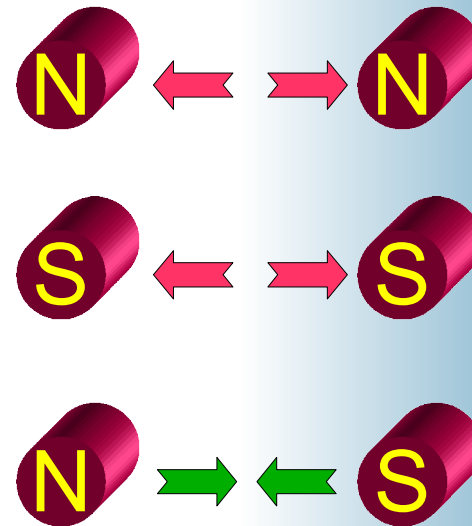
- Charge électrique (protons, électrons)
anti - protons, électrons



- électricité

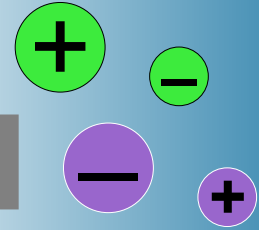


- magnétisme

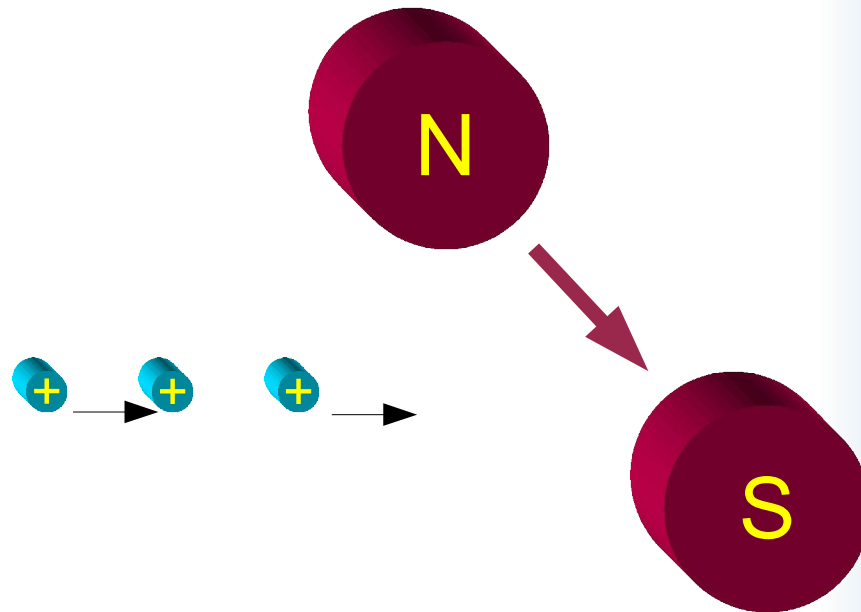


Forces subies par une particule

- Charge électrique (protons, électrons)
anti - protons, électrons

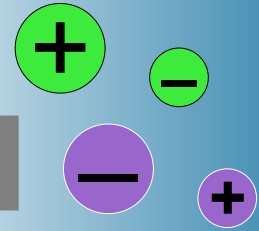


- électromagnétisme

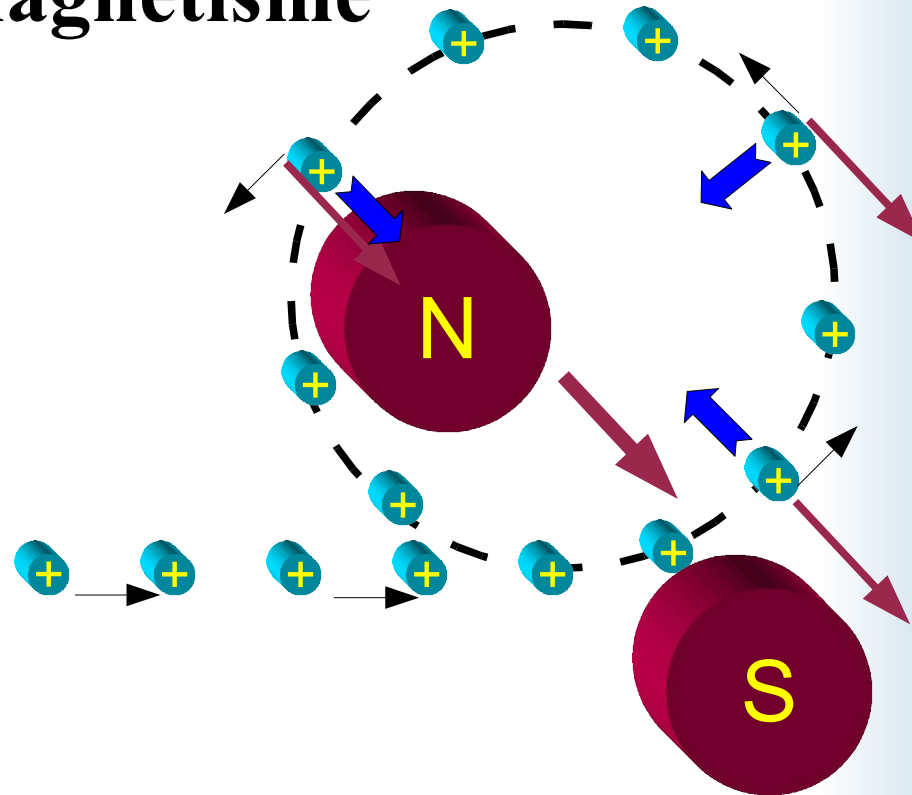


Forces subies par une particule

- Charge électrique (protons, électrons)
anti - protons, électrons

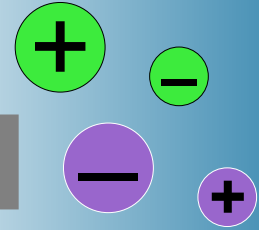


- électromagnétisme

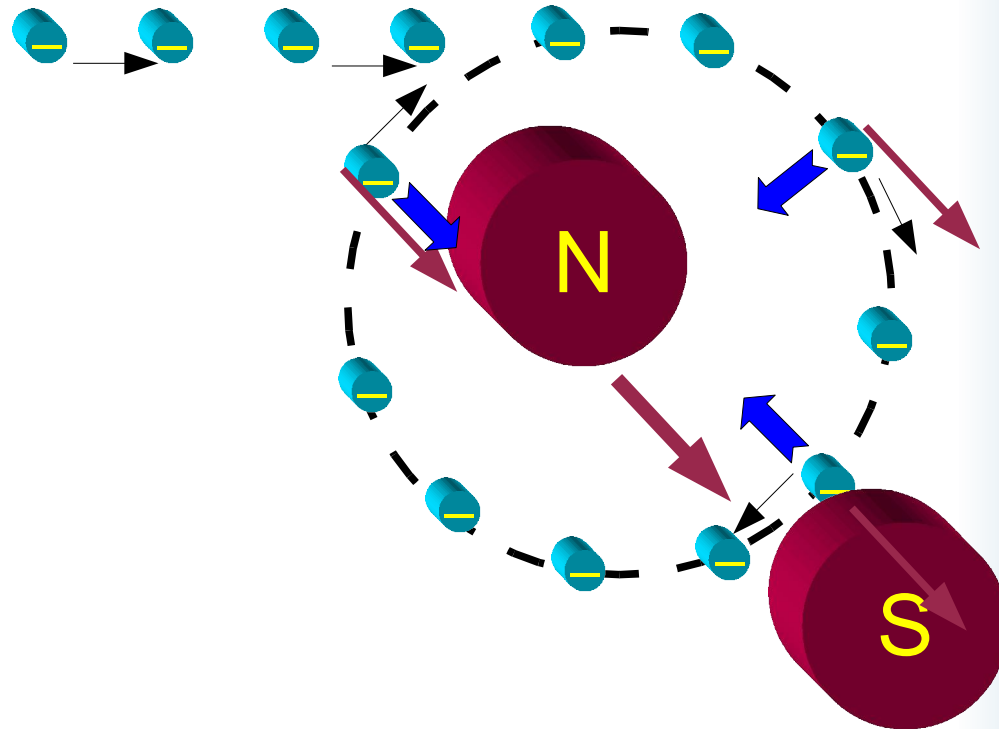


Forces subies par une particule

- Charge électrique (protons, électrons)
anti - protons, électrons

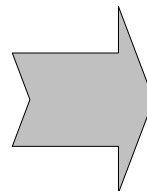


- électromagnétisme (charge négative)



Transformation $E - m(c^2)$

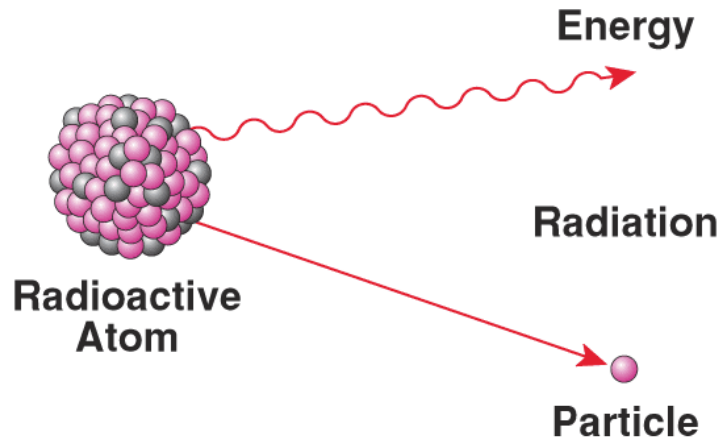
- Une énergie suffisamment haute permet de générer de nouvelles particules (ou anti-part.) :
 - électron / positon : $511 \text{ keV} = 511\,000 \text{ eV}$
 - muon : $100 \text{ MeV} = 100\,000\,000 \text{ eV}$
 - proton / antiproton : $1 \text{ GeV} = 1\,000\,000\,000 \text{ eV}$
 - quark top : 170 GeV



Génération des particules

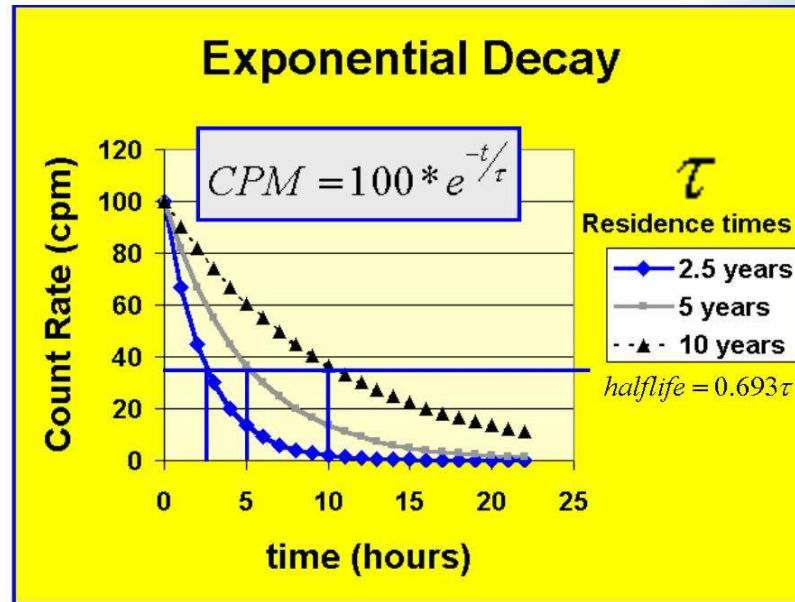
ACCELERATEURS

Source radioactive



- Génération stochastique d'émissions α , β ou γ
- Istotope
- Durée de vie

$$\frac{dx}{dt} = a x(t)$$

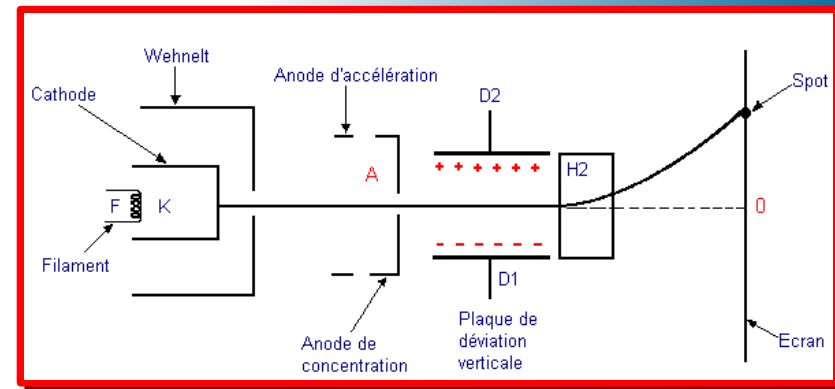
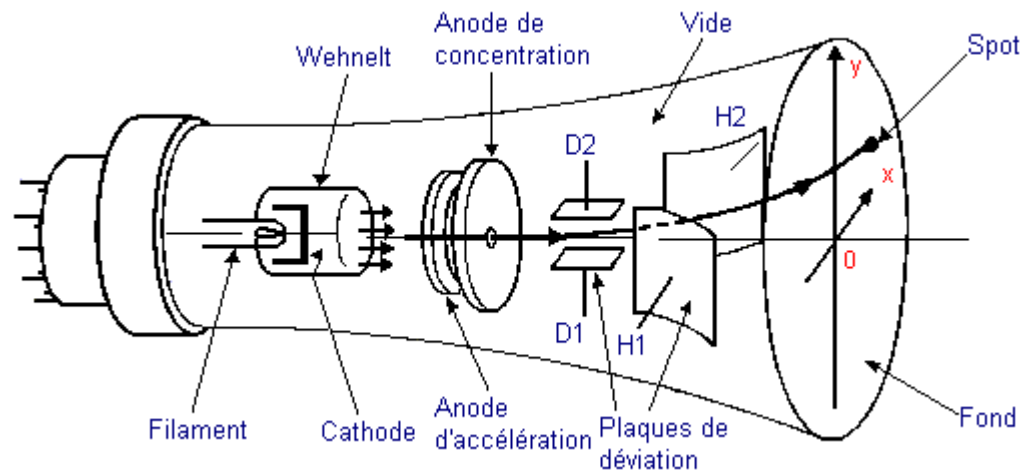


Nous devons améliorer les sources.

- **Intensité augmentée**
- **Le plus constant possible (reproductible)**

Nous devons améliorer les sources.

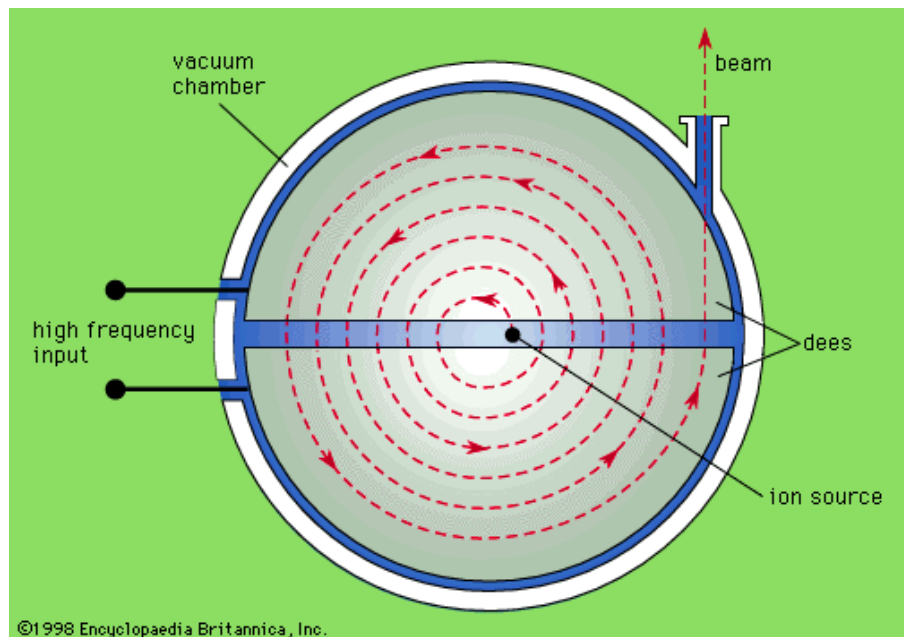
- Intensité augmentée
- Le plus constant possible (reproductible)
- **ETAPE n° 1 : le fil incandescent**



- **Désavantage : opération sous vide !**

Nous devons améliorer les sources.

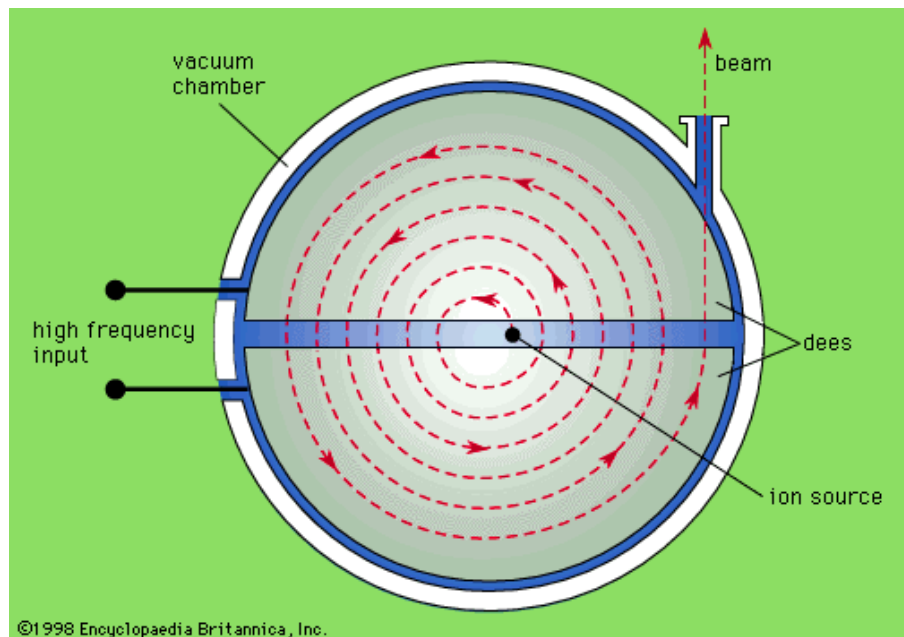
- Intensité augmentée
- Le plus constant possible (reproductible)
- **ETAPE n° 2 : le cyclotron**



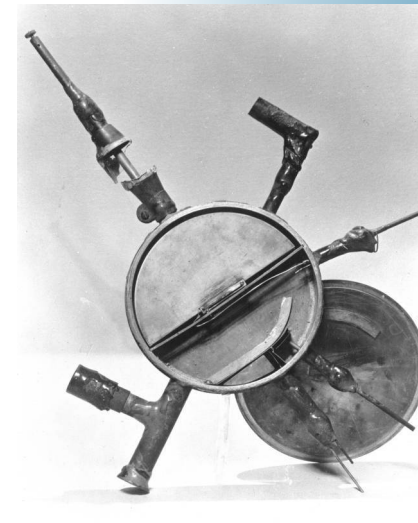
- **Utilisation sur cible fixe**

Nous devons améliorer les sources.

- Intensité augmentée
- Le plus constant possible (reproductible)
- **ETAPE n° 2 : le cyclotron**



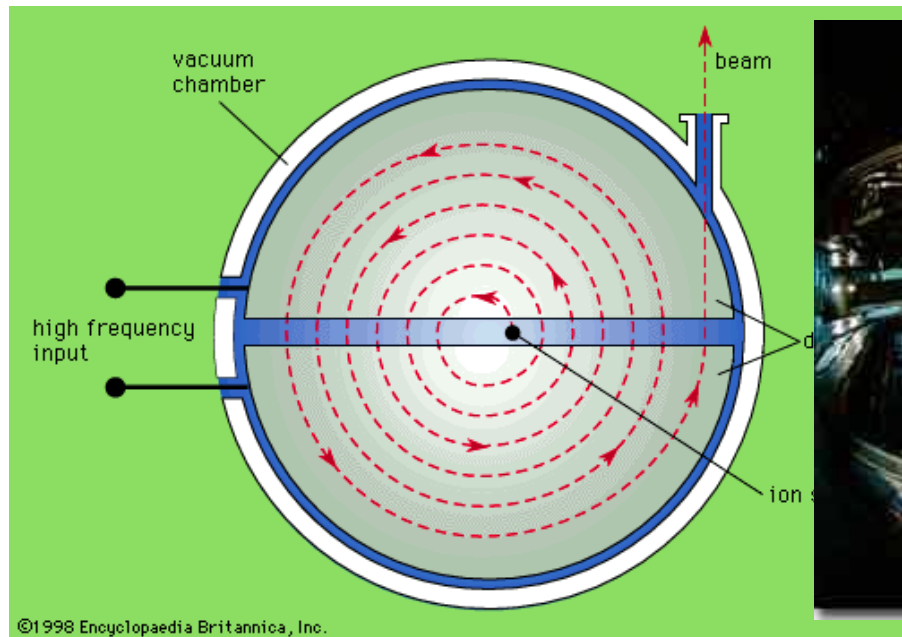
©1998 Encyclopaedia Britannica, Inc.



- **Premier cyclotron à Berkeley (CA), 1930**

Nous devons améliorer les sources.

- Intensité augmentée
- Le plus constant possible (reproductible)
- **ETAPE n° 2 : le cyclotron**

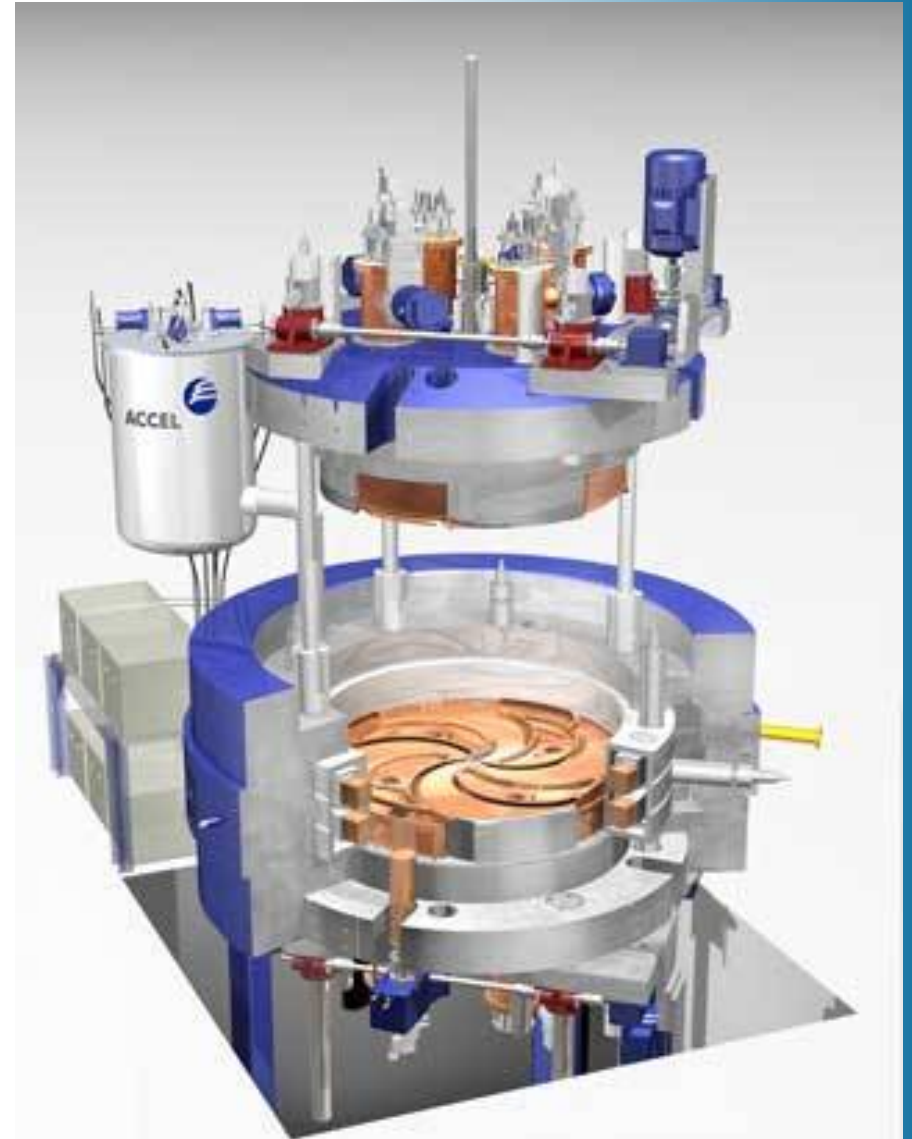


©1998 Encyclopaedia Britannica, Inc.

- **Un grand cyclotron à TRIUMF (BC)**

Cyclotron moderne

- **PSI, Suisse, en 2001**
- **Construit par
ACCEL Instruments
GmbH**
- **cyclotron
supraconducteur
de 250 MeV**



Nous devons améliorer les sources.

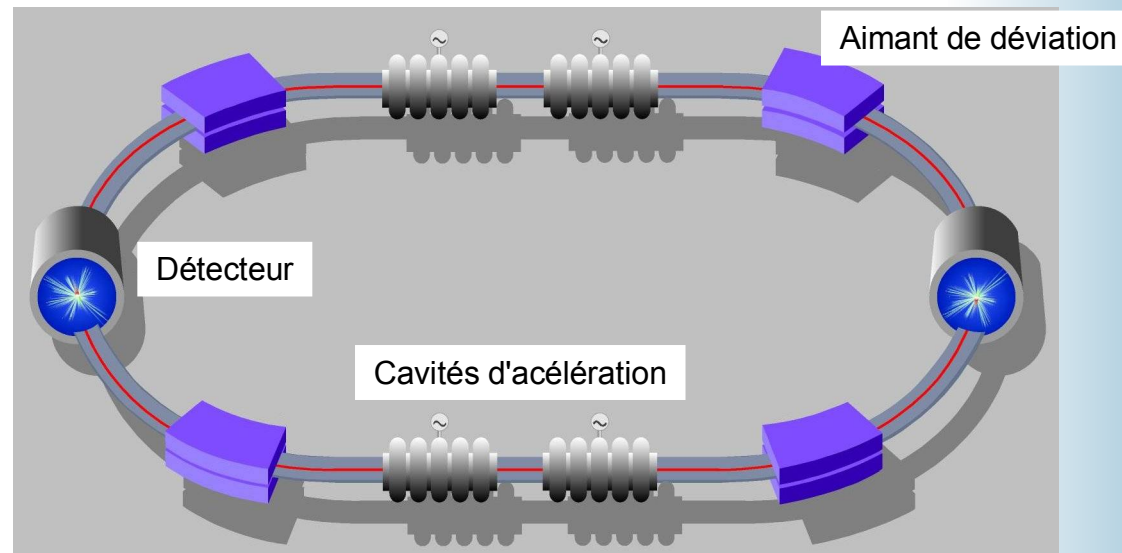
- **Intensité augmentée**
- **Le plus constant possible (reproductible)**
- **ETAPE n° 3a : cavité d'accélération**



- **15 MeV/m : 7 TeV / 500 km**
- **champs forts : surfaces d'excellente qualité !**

Nous devons améliorer les sources.

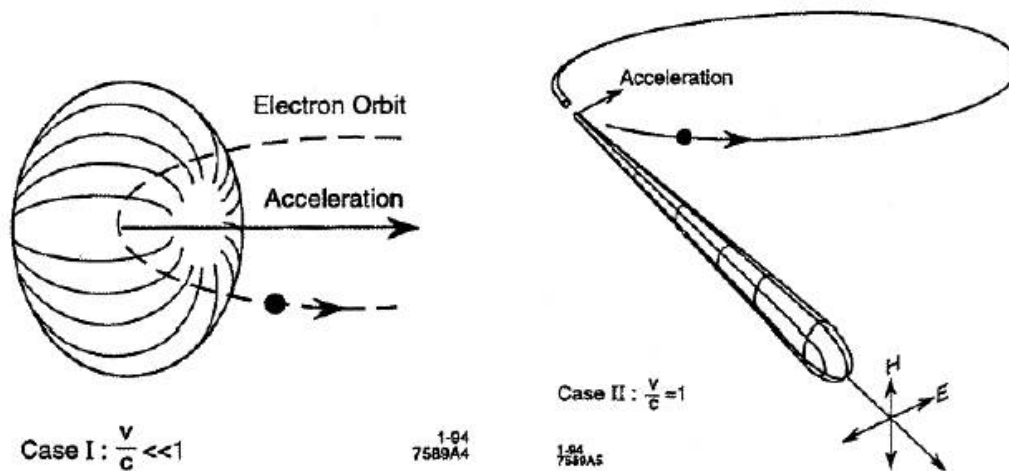
- Intensité augmentée
- Le plus constant possible (reproductible)
- **ETAPE n° 3b : anneau de stockage**



- **Limite : Rayonnement Synchrotron !**

Rayonnement Synchrotron (1)

- La première « poêle de teflon »
- Charge accélérée émet rayonnement (radio)
- Ch. acc. relativiste émet ray. synchrotron



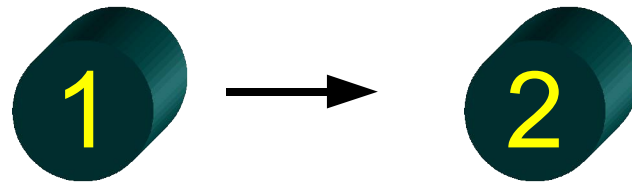
- Directionnel, d'excellentes propriétés
- Fait perdre de l'énergie aux particules !

Rayonnement Synchrotron (2)

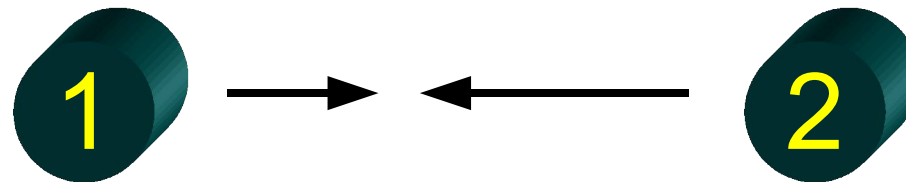
- **Utilisation pour l'analyse avec rayons X, mais plus fort :**
 - (physique, chimie)
 - cristallographie
 - biologie
 - médecine
 - ...
- **Plus d'accélérateurs pour ray. synchrotron que pour la physique des particules.**

Cible fixe – Collisions

- Energie disponible : $\sqrt{2 m E}$



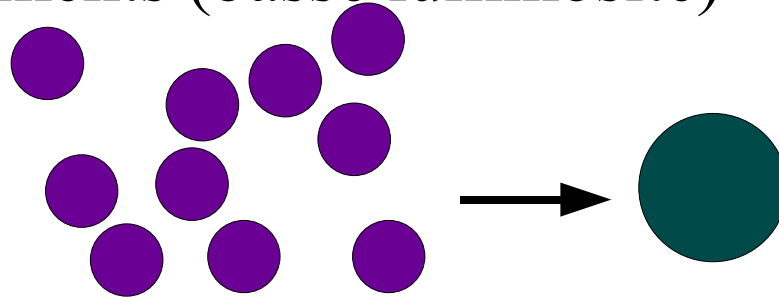
- Energie disponible : $E_1 + E_2$



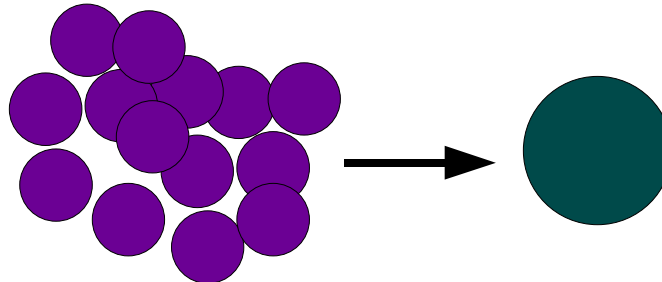
- Mais il faut focaliser les faisceaux !

Luminosité

- **Le taux d'événements dépend de la densité des particules dans les faisceaux.**
 - peu d'événements (basse luminosité)

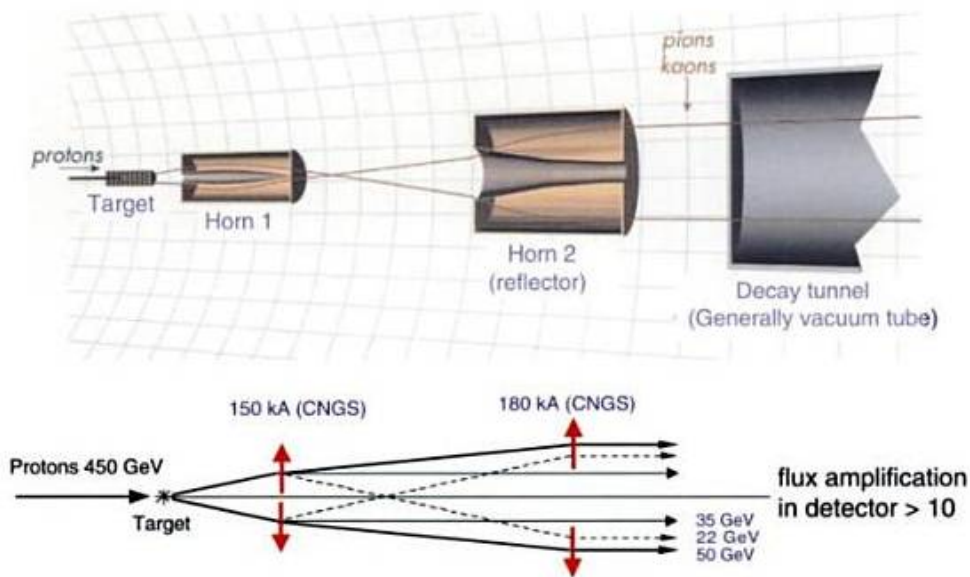


- beaucoup d'événements (haute luminosité) : 10^{13} au LHC



Améliorations (1)

- Cor magnétique (“magnetic horn”)

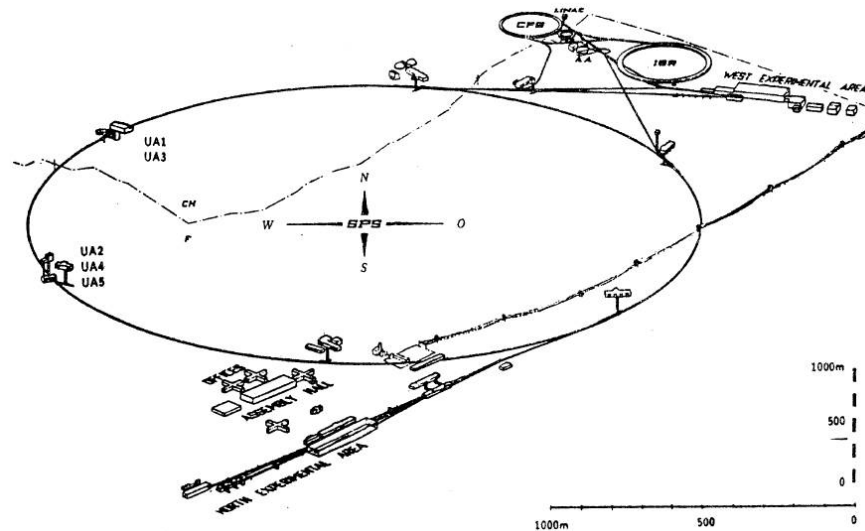


Améliorations

- **Cor magnétique (“magnetic horn”)**
- **Augmenteur d'intensité (“booster”)**
- **Refroidissement stochastique**

Améliorations (à titre d'exemple)

- Cor magnétique (“magnetic horn”)
- Augmenteur d'intensité (“booster”)
- Refroidissement stochastique
- ... ce qui a permis des collisions p - p au SCS (1961)

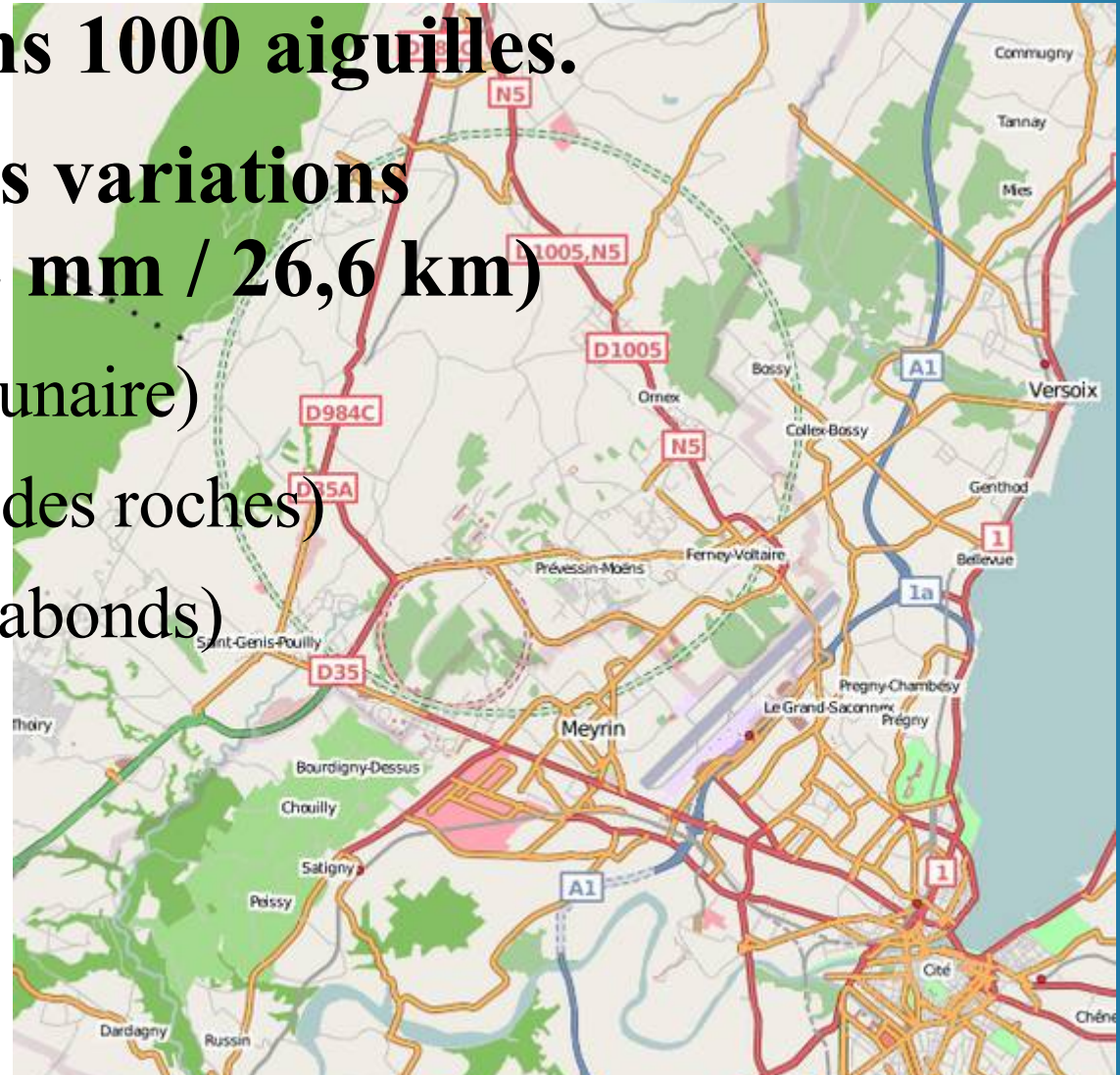
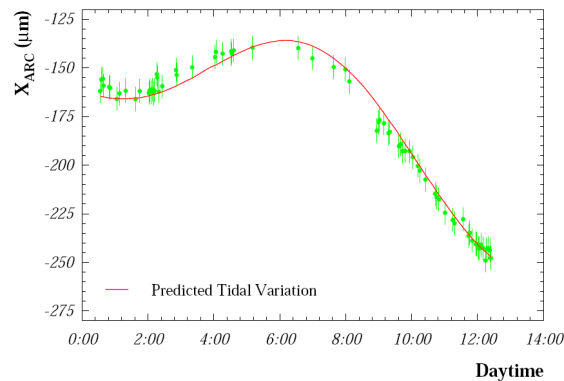


Collision de faisceaux



Complexité / Sensibilité

- Ajuster des milliers d'aimants revient à enfiler un fil dans 1000 aiguilles.
- Le LEP a subi des variations de longueurs (1-2 mm / 26,6 km)
 - marées (attraction lunaire)
 - pluies (gonflement des roches)
 - TGV (courants vagabonds)

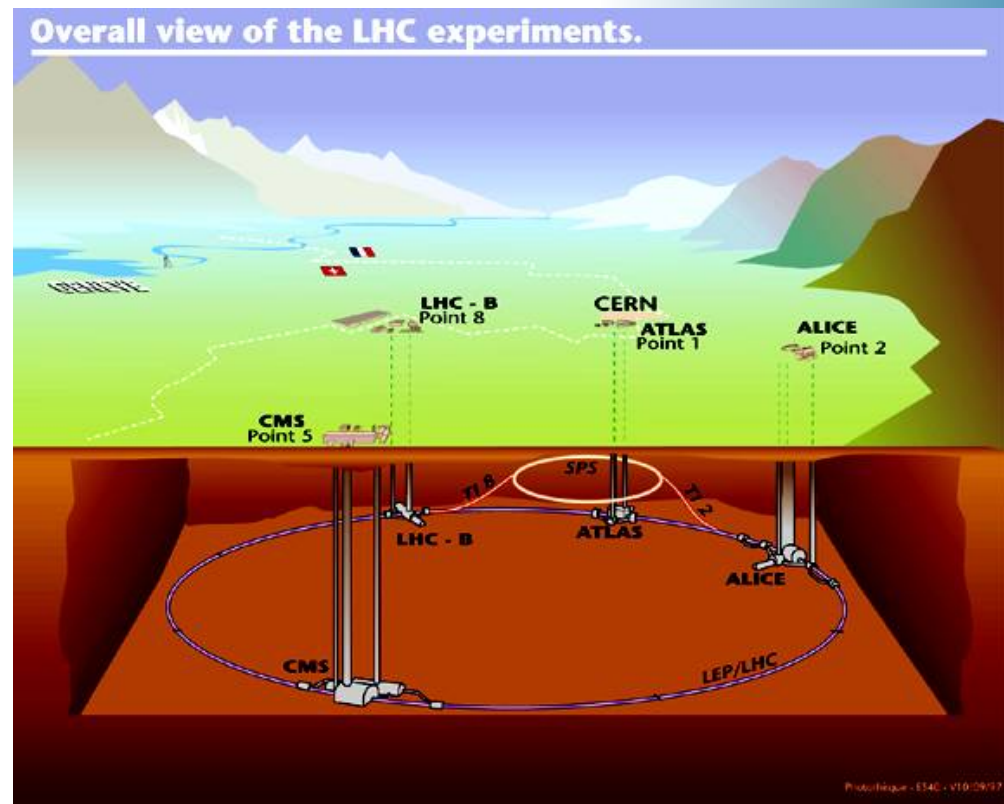


Supraconductivité

- **Meilleur rendement par utilisation de supraconducteurs :**
 - HERA – Tevatron – LHC
- **Savoir-faire unique**
- **Aimants HERA : fournisseurs 50%/50% D/I**

Où en sommes-nous ?

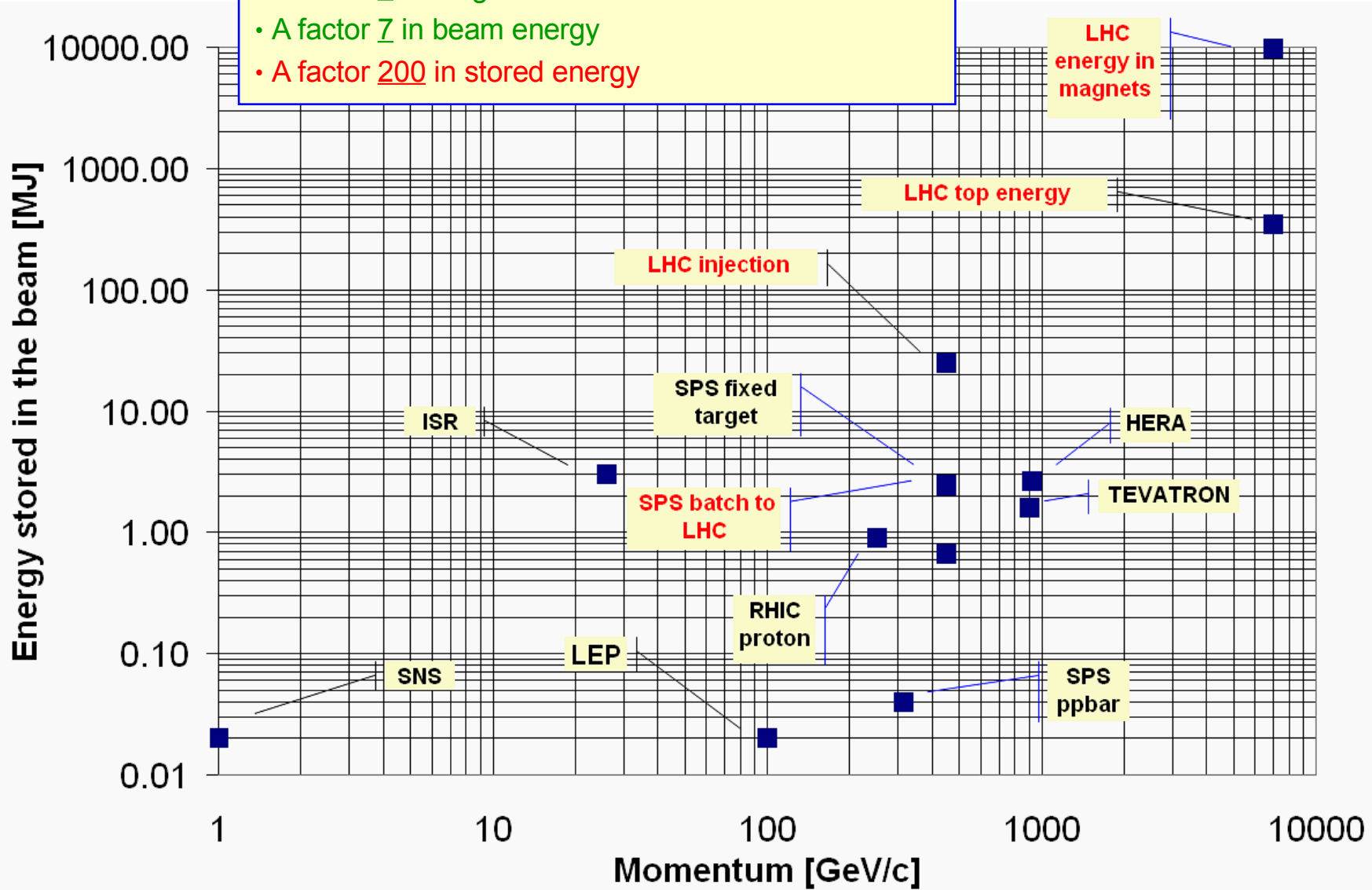
- Le LHC (7 + 7 TeV) est près d'être mis en route.
- C'est le « plus puissant » accélérateur jamais construit (dans plusieurs sens).



Stored Energy

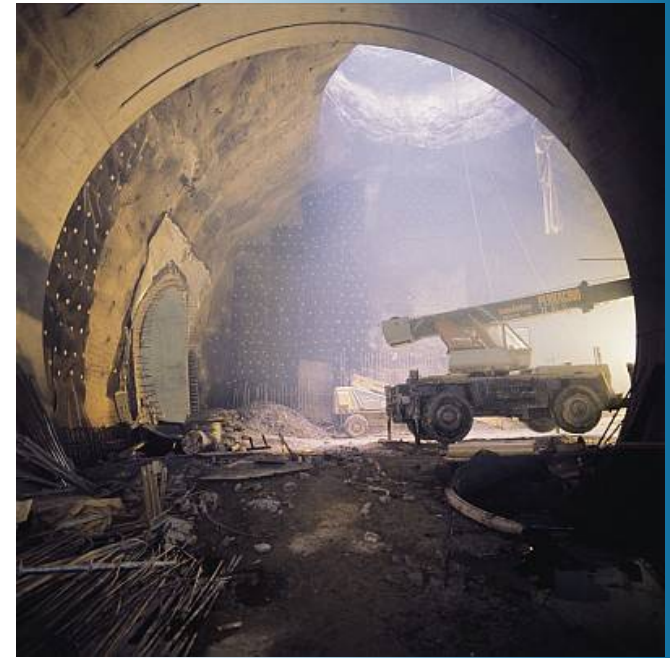
Increase with respect to existing accelerators :

- A factor 2 in magnetic field
- A factor 7 in beam energy
- A factor 200 in stored energy



Génie civil

- Une autre demande à l'industrie :
- Comment creuser un tunnel de 27 km de circonférence dans la roche ?
- Le tunnel du LEP était le plus grand tunnel en Europe avant le tunnel sous la manche.
- Pour la construction de HERA :
HERAKLES



Accélérateurs dans le monde



Les principaux accélérateurs dans le monde

NSCL/MSU

TJNAF

GANIL

VIVITRON

CERN

ALPI

AGOR

DESY

TSL

JINR

GSI

LNS

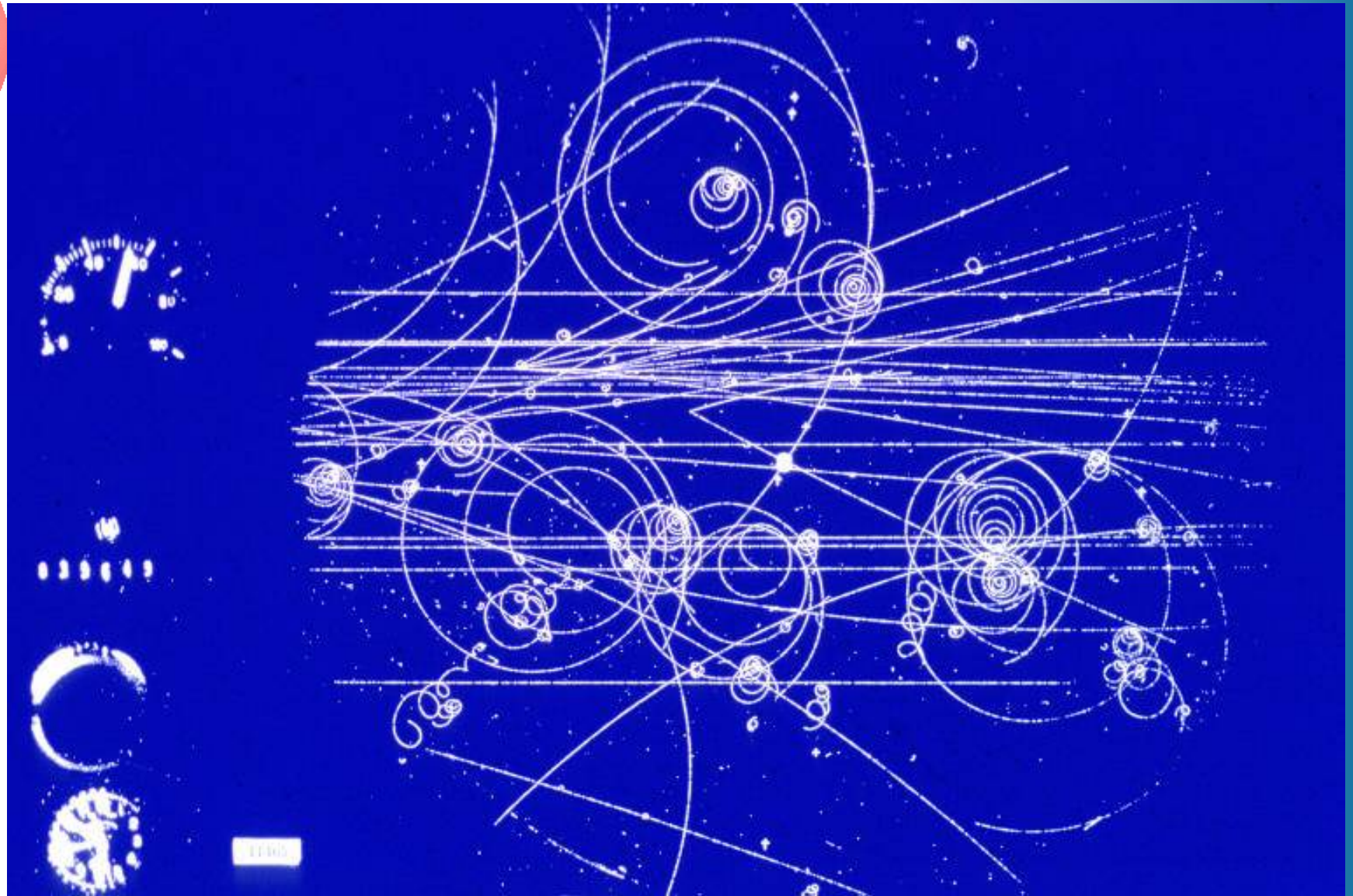
JYFL

RIKEN, RCNP

Mesure des particules

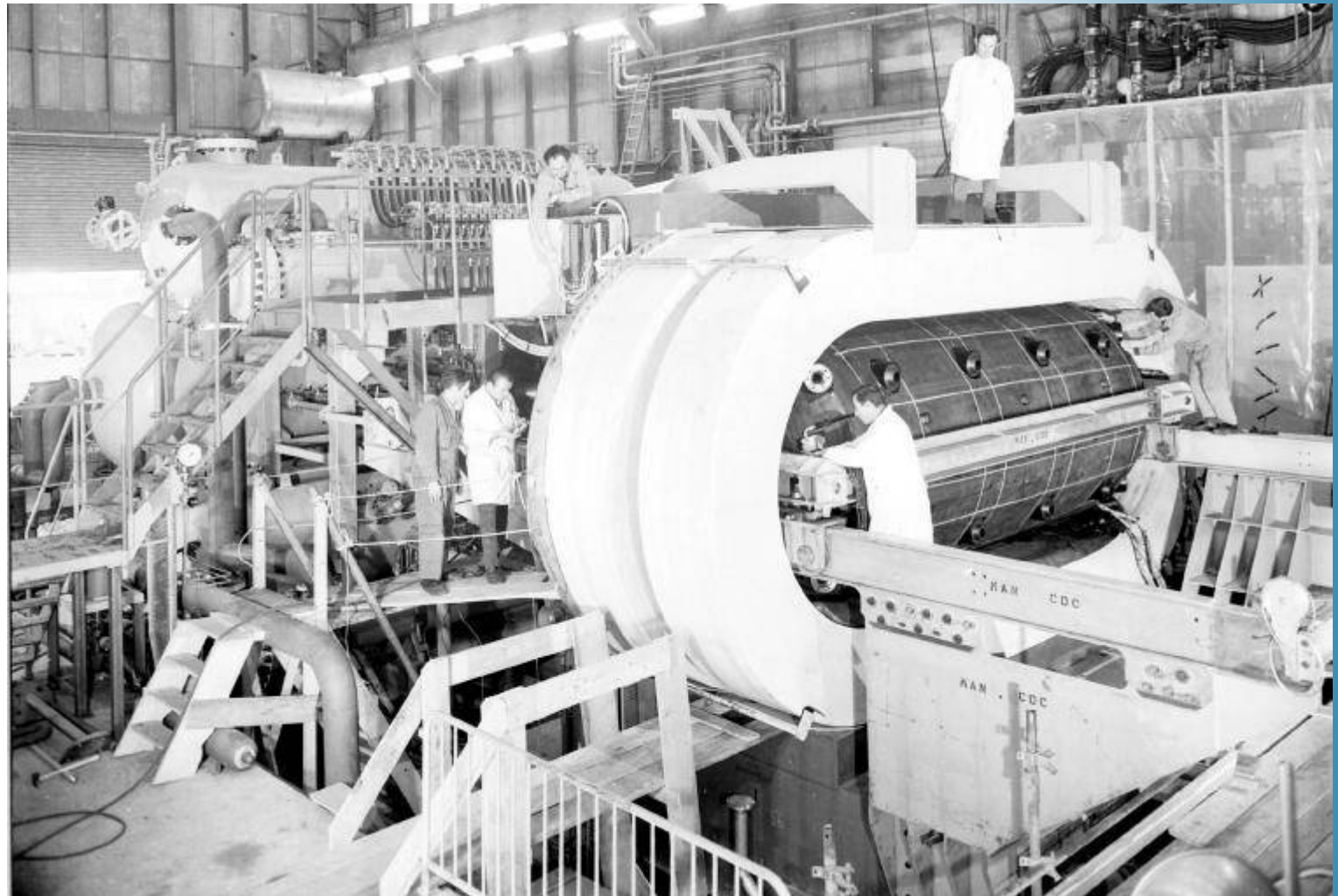
DETECTEURS

Chambres à bulles (brouillard)



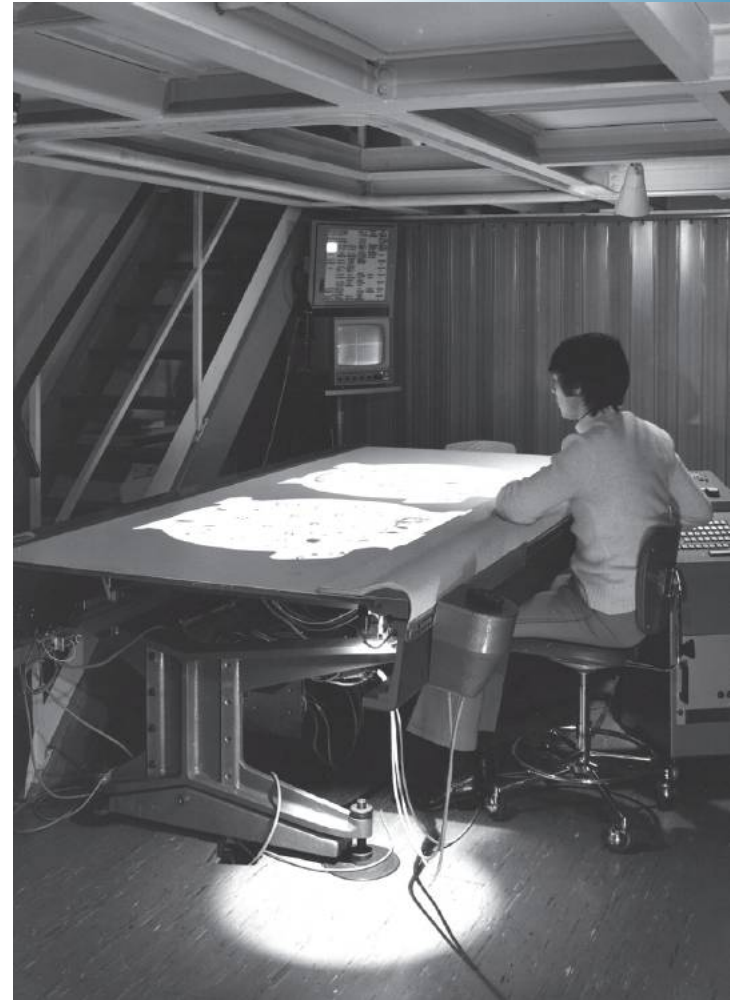
Chambres à bulles (brouillard)

- **GARGAMELLE (découverte des bosons W/Z)**



Scanning girls

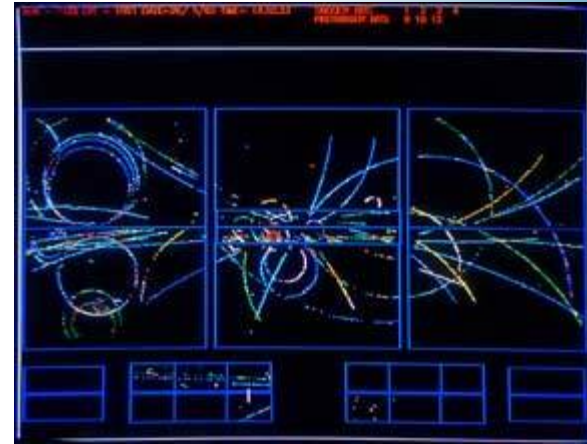
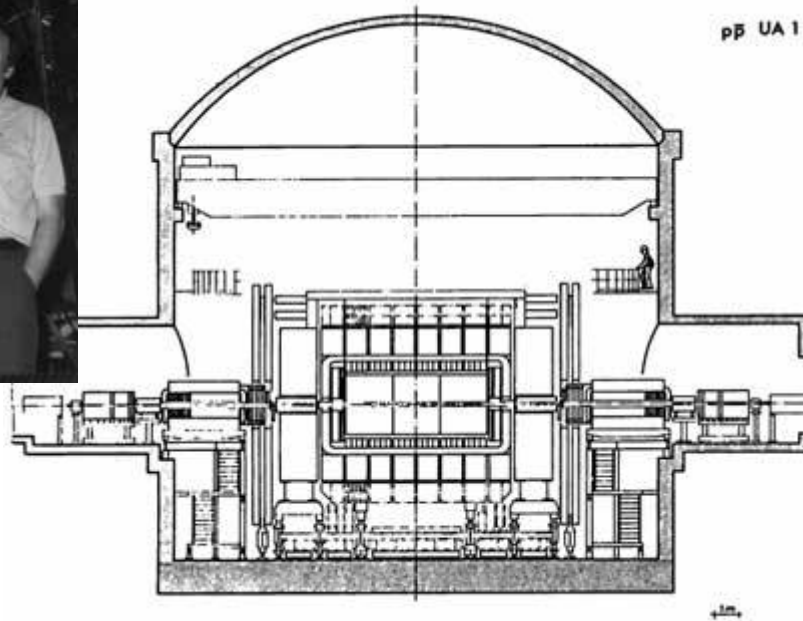
- **Traitement humain**
- **Semi-automatisé ultérieurement**



Une nouvelle ère de détecteurs

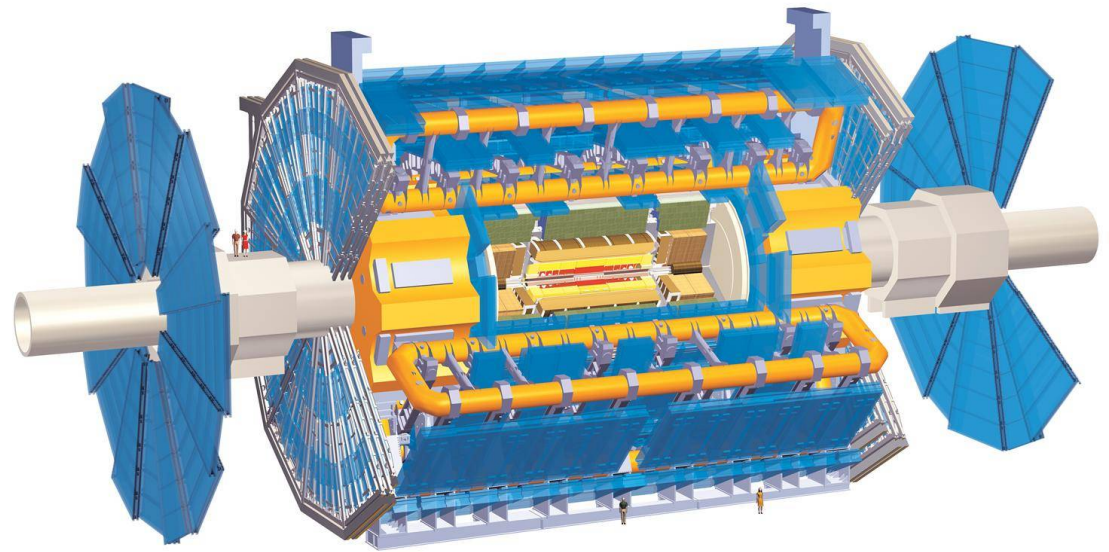
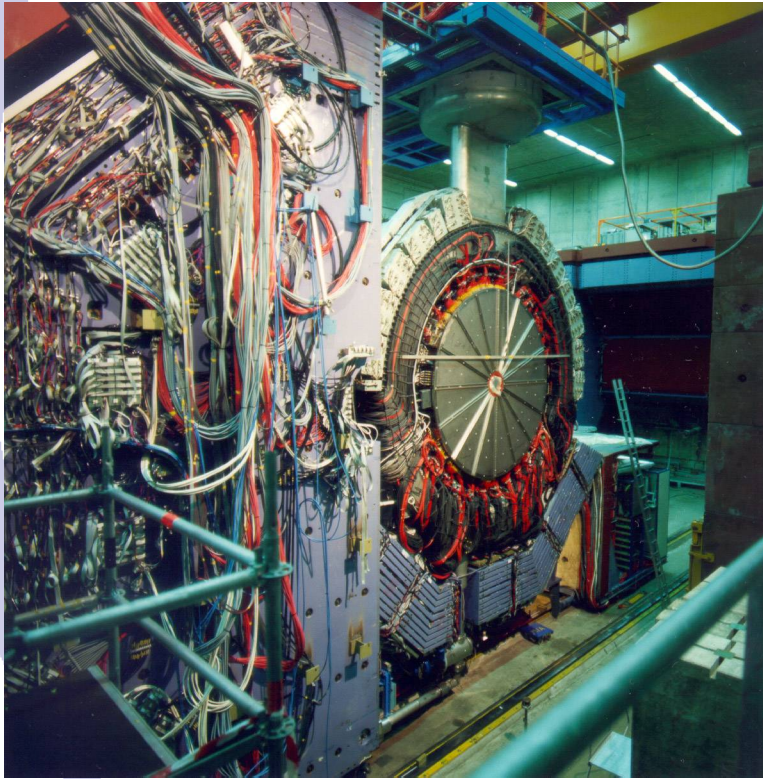
UA1, UA2

- Hermétiques (grands !)
- Lecture électronique



Complexité en augmentation

- **Exp. H1 / ATLAS**



Acquisition de données

- **Principe : Ionisation**
- **LHC**
 - $4 \cdot 10^7$ Hz d'événements possibles
 - 10^6 canaux
- **$O(10^{13})$ canaux/s > 10 To/s**
- **Equivalent de 1400 CDs par seconde !**
- **Solution : Déclenchement rapide, filtre (grille)**

Sur accélérateur cosmique

■ Antares / AUGER

- Expériences très étendues / difficiles d'accès
 - boîte de jonction, distribution de signaux
 - autonomie, maintenance à distance (contraintes du genre « spatial »)

■ Alternative : faisceaux de neutrinos

- pas encore techniquement faisable (de manière équivalente)

Imagerie médicale

- **MEDIPIX au CERN**
- **résolution du PET 1975-95**
- **imXgam au CPPM**



Les collaborations scientifiques



SOCIOLOGIE et organisation

Taille des collaborations

- Rutherford : 3
- UA1 :
- DELPHI :
- H1 : 400
- Atlas : 2500 !



Le web, la toile, « internet », ...

- Communication entre collaborateurs autour du monde entier
- En 1990, à l'ère du LEP, T. Berners-Lee invente le protocole HTML au CERN.
- Le web est né.



Organisation et Géopolitique

- **Nouveaux modèles de gestion de ressources humaines**
- **Collaboration basées sur le volontariat**
- **Frais/coûts énormes et participations conséquentes**
- **Autant de systèmes et règles de financement que de contributions**
- **Plus qu'une PME à gérer !**

Les origines du CERN : 1950

- Issue des plus grandes guerres dans la première moitié du siècle, des millions de morts
- Intérêts humanitaires et économiques pour stabiliser la région la plus guerrière du monde
- Sous les auspices de l'UNESCO,
- 12 états signent l'acte de fondation du CERN en 1954.
- Et cela fonctionne bien ...

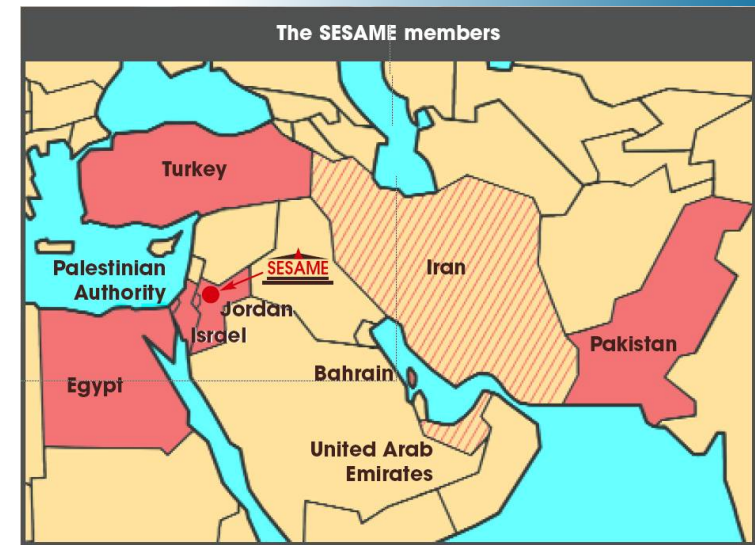




SESAME

حامل السلام

- **Idée d'un “CERN moyen-oriental” en 1997/98**
 - Hermann Winick (SLAC), Gustav-Adolf Voss (DESY)
- **Décision du démantèlement de BESSY 1**
 - Berliner Synchrotron
- **Synchrotron light for Experimental Science and Applications in the Middle East (H. Schopper)**
 - Don des composants
 - Recherche d'un lieu
 - Amman, Jordanie
 - “Soft inauguration” 3 novembre



Science bringing nations together

- **Brochure de l'UNESCO, octobre 1998**

Science bringing nations together

- **Brochure de l'UNESCO, octobre 1998**



Science bringing nations together

■ ... et 10 ans plus tard



Merci de votre attention !

- **Entre l'expérience de Rutherford et ATLAS, un long chemin de 100 ans**
- **Accompagné de développements techniques, plus ou moins importants, et même sociologiques**

La science fondamentale est une fin en soi. Mais l'expérience montre que la société qui se permet d'entretenir une culture de recherche, y gagne tôt ou tard.