


# L'ère des hadrons



1947 - 1964

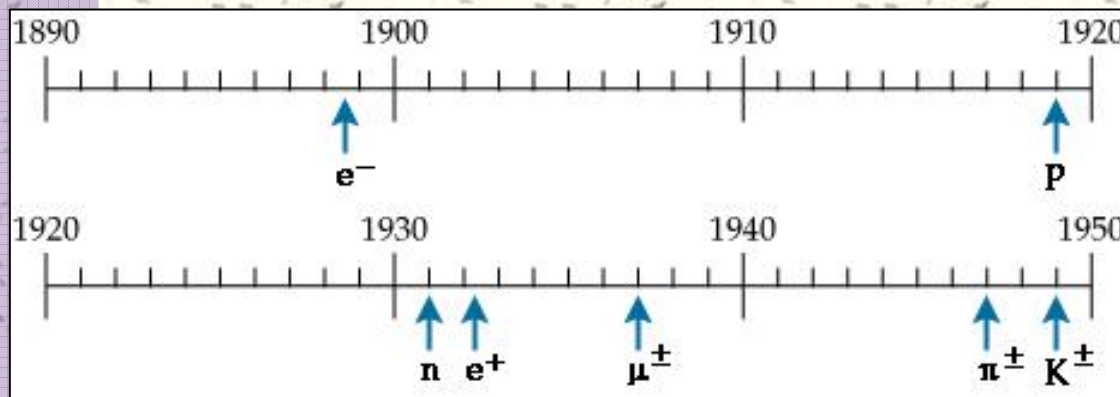
# 1947 - Bilan



## # Des théories d'interaction :

- L'électrodynamique quantique (Dirac)
- L'interaction faible (Fermi)
- L'interaction forte (Yukawa)

## # Les particules élémentaires :

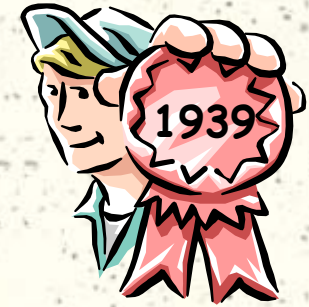


- Électrons / positrons
- Photons (messager e.m.)
- Protons + neutrons
- Hypothèse du neutrino
- Muons !?
- Pions (messager fort)

## # En 1949, arrivent des particules « étranges »

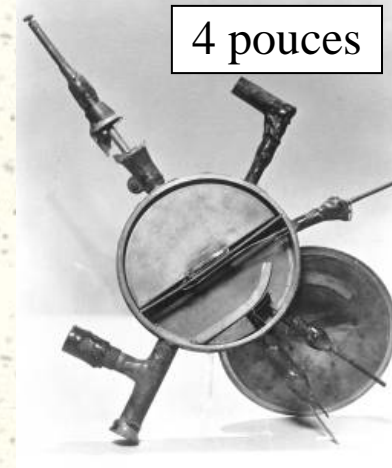


# Un nouvel outil : l'accélérateur



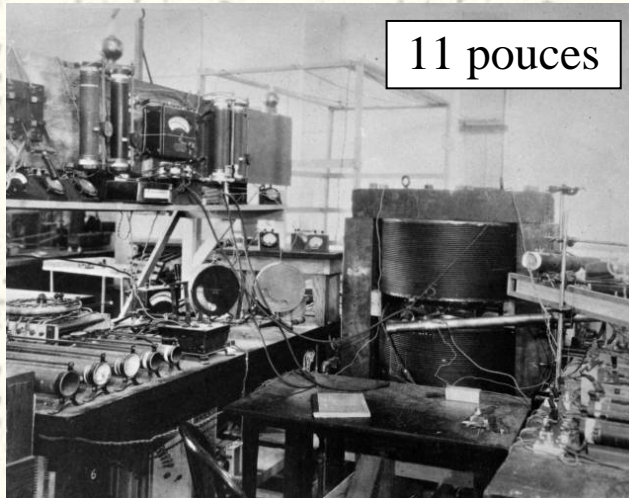
## # Ernest Lawrence et Stanley Livingston inventent le cyclotron à Berkeley

- 1931 : 4 pouces, protons à 80 keV
- 1933 : 11 pouces protons à 1,22 MeV
- 1936 : 60 pouces deutons à 5,8 MeV
  - Berkelium, Californium, Mendeleevium, Americium, Curium...
- 1941 : 184 pouces
  - Séparation des uraniums (WW2)
- *Lawrence Berkeley National Laboratory*

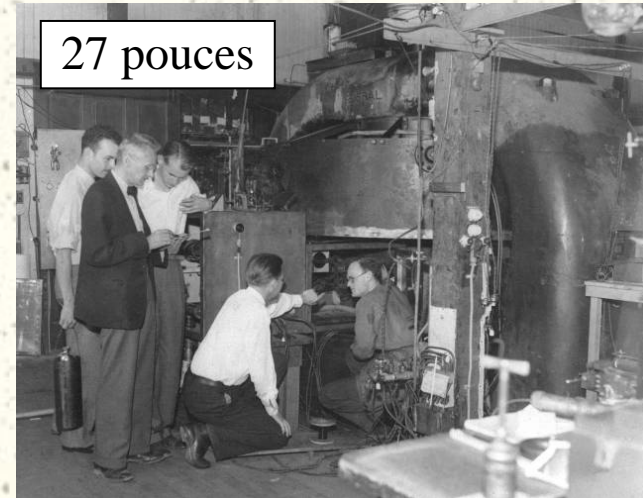




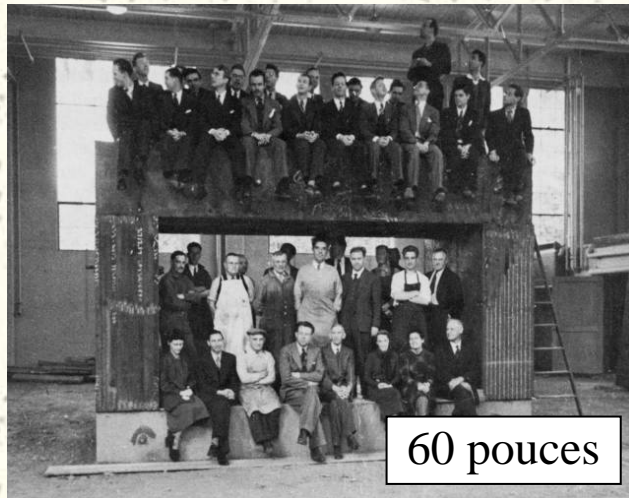
# Les cyclotrons de Berkeley



11 pouces



27 pouces

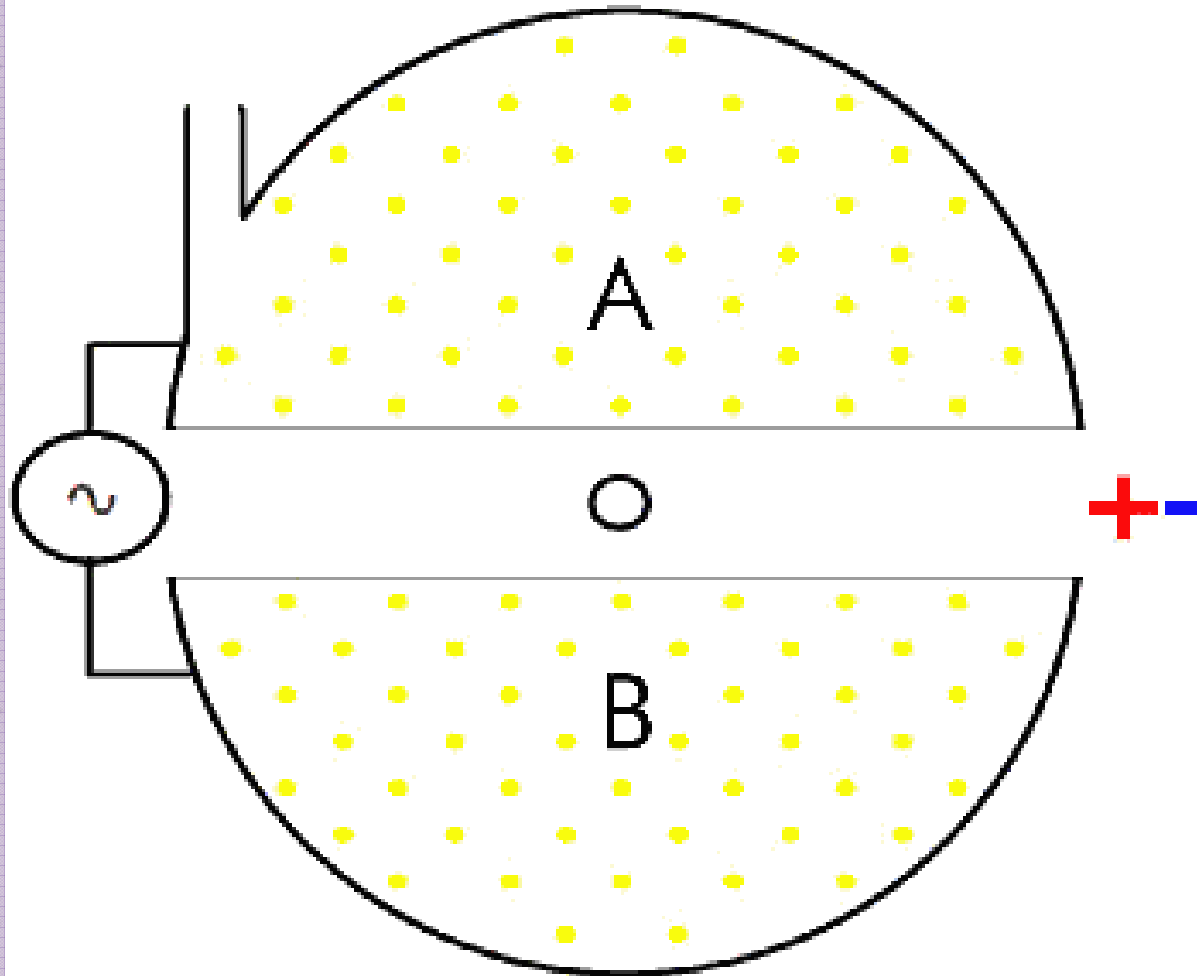


60 pouces



184 pouces

# Principe du cyclotron



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

Même temps  
de parcours

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

Courant  
alternatif

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



## Autres accélérateurs...

# 1948 **Synchrotron** à Berkeley

■ 1945 McMillan invente le synchrotron

■ Rayon fixe et champ magnétique variable

# Ou **Synchro-cyclotron**

■ Fréquence variable (RR)

Preuve de la  
relativité  
restreinte !

# 1950 **Cyclotron** à Chicago

# 1952 « **Cosmotron** » à Brookhaven (NY)

# 1954 « **Bevatron** » à Berkeley (CA)

# 1959 **Proton Synchrotron** du CERN...

# Une particule attendue...

## # Le pion neutre, vu en 1950

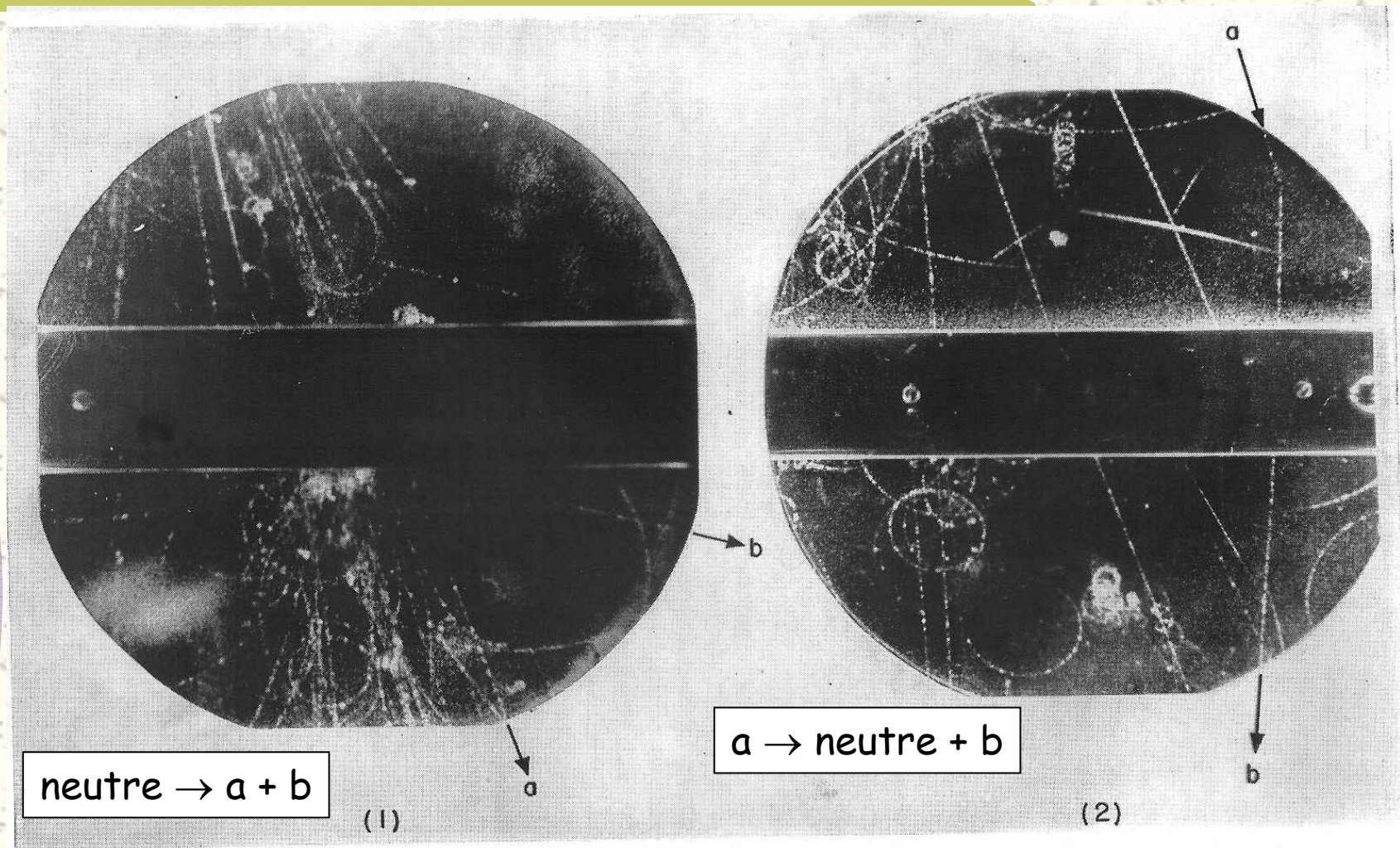
- Source : Berkeley cyclotron (184 pouces)
- Bjorklund puis Steinberger puis Panovsky
- $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$  en  $8 \times 10^{-17}$  seconde
- Prédit par la théorie de Yukawa de l'int. forte.

## # L'interaction forte semble donc bien portée par trois particules, les « pions » :

- De charges différentes : -1 0 +1
- Masse des chargés :  $275,2 \pm 2,5 \times m_e$
- Neutre plus léger :  $\Delta m = 10,6 \pm 2,0 m_e$



# Des particules inattendues...



Les particules « V » vues par Rochester et Butler en 1947



# Des particules inattendues...

## # Plusieurs observations...

### ■ 1944 : Leprince-Ringuet & Lheritier

- Collision de rayons cosmiques
- → part. chargée de  $m \sim 990 \times m_e$

### ■ 1947 : Rochester & Butler

- voient des « V » en photo

### ■ 1951 et + : plusieurs désintégrations

- «  $\tau$  » →  $3 \pi$
  - « K » →  $\mu$
  - «  $\theta$  » →  $2 \pi$
- } Temps de vie  $\sim 1$  ns

## # Une seule particule : le kaon chargé...

- (au prix de la conservation de P...)

... plus ou moins lourdes ...

# 1951 : Armenteros et al. distinguent deux sortes de « V » neutre (cosmique)

■ le kaon neutre  $\rightarrow \pi^+ \pi^-$

■  $m \sim 1000 \times m_e$  (proche des kaons chargés)

■ le lambda  $\rightarrow p^+ \pi^-$

■  $m \sim 2000 - 2500 \times m_e > m_p$  « hyper-protonic »

# 1952-53 : autres « hypérons »

■ Anderson et al. Résonances  $\Delta^0, \Delta^{++}$  (Chicago)

■ Armenteros et al.  $\Xi^-$  (cosmiques)

■ Bonetti et al.  $\Sigma^- \Sigma^+$  (cosmiques)



## ... plus ou moins lourdes ...

### # Les particules lourdes se conservent...

- Constatation expérimentale !
- « lourdes » = proton, neutron, hypérons...
- $n \rightarrow p^+ + e^- + \dots$  (et pas  $n \rightarrow e^+ + e^- + \dots$ )
- Le proton ne se désintègre pas
  - (le plus léger des plus lourds)
- $\Lambda \rightarrow p^+ + \pi^-$  (et pas  $\Lambda \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ )

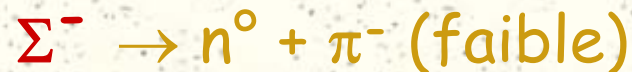
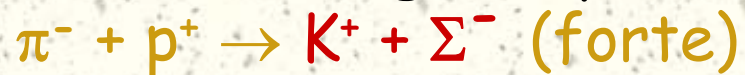
### # Conservation du nombre baryonique B

- Les « baryons »  $B=+1$ 
  - (Les antibaryons auront  $B=-1$ )
- Les « mésons »  $B=0$
- Les « leptons »  $B=0$  (+ insensibles à l'int. forte)

## ... et étranges !

### # Certaines particules :

- Produites par paires par int. forte ( $10^{-23}$  s)
- Se désintègrent par int. faible ( $10^{-10}$  s)



### # D'autres non ! Comme les résonances :



### # 1955-56 : Nishijima & Gell-Mann introduisent un nouveau nombre quantique : « l'étrangeté »

- Conservée par l'int.forte (production par paire)
- Mais pas par l'int. faible (désintégration possible)
- $p, n, \pi, \Delta : S = 0$  /  $\bar{K}^0, K^-, \Lambda^0, \Sigma^\pm : S = -1$  /  $\Xi^- : S = -2$
- Prédiction d'un  $\Sigma^0$  ( $S = -1$ ) et d'un  $\Xi^0$  ( $S = -2$ )



# Particules plus ou moins attendues...

# 1955 Walker au **cosmotron**



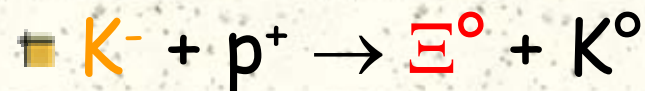
# 1955 Chamberlain et Segrè

■ **Antiproton** au **bevatron**

# 1956 Cork et al. **Antineutron**

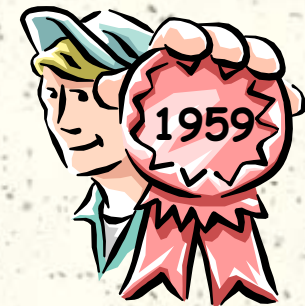
# 1958 Prowse et Baldo-Ceolin **Anti- $\Lambda^0$**

# 1959 Alvarez et al.  **$\Xi^0$**  au **bevatron**



# 1960-63 : Et ça continue...

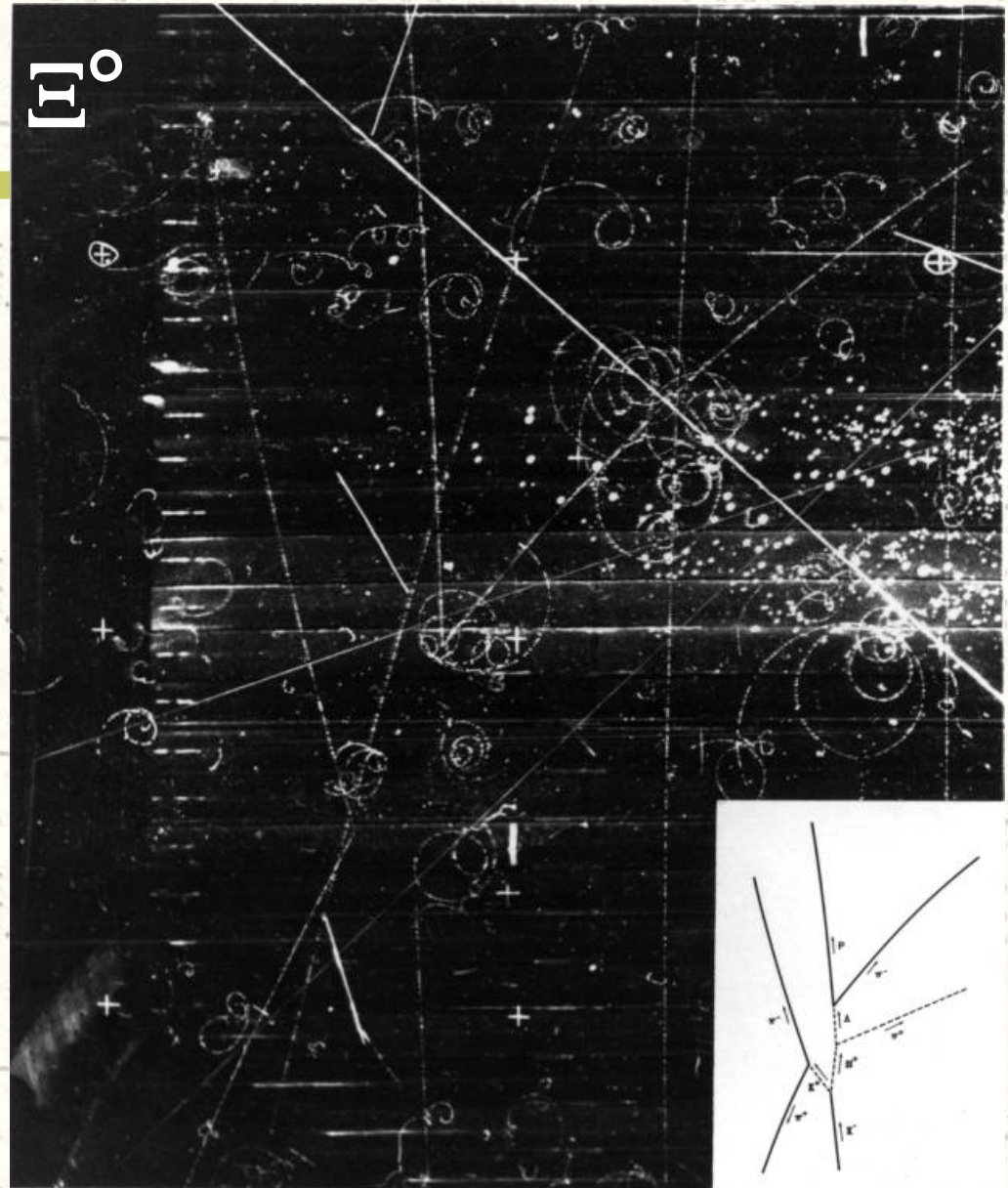
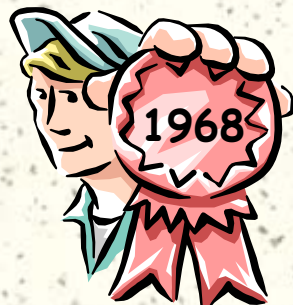
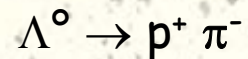
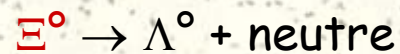
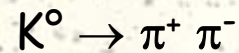
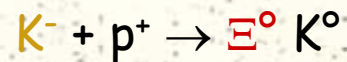
■ **Anti- $\Sigma^0$ , Anti- $\Sigma^-$ ,  $K^*$ ,  $\rho$ ,  $\omega$ , Anti- $\Xi^+$ ,  $\eta$ ,  $\phi$ ...**





# Découverte du $\Xi^0$

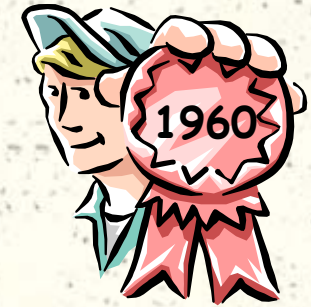
# 1959 Luis W. Alvarez met en évidence le  $\Xi^0$  prédit par Gell-Mann et Nishijima,  $S = -2$



Production and decay of a neutral cascade hyperon (Xi zero ).

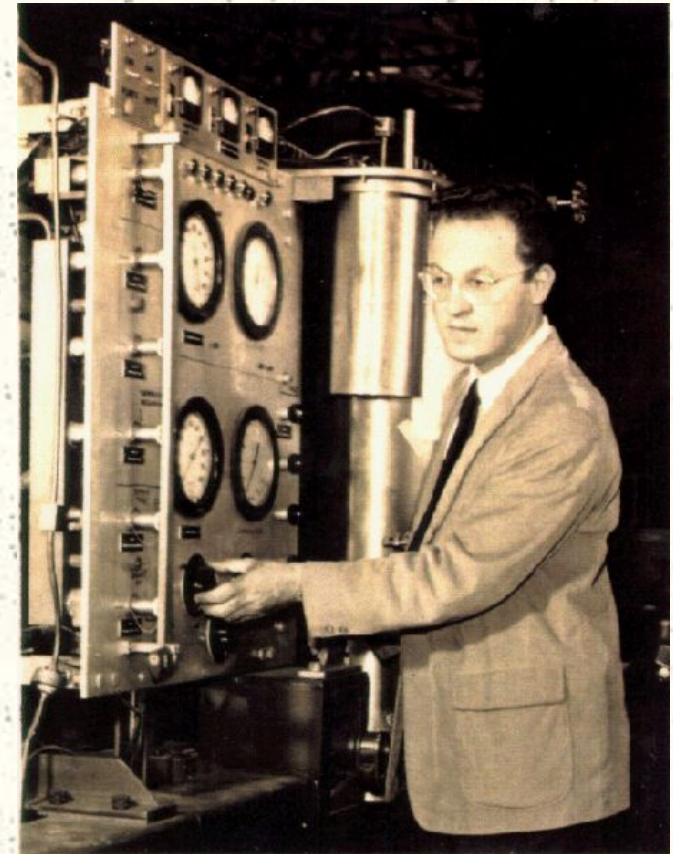
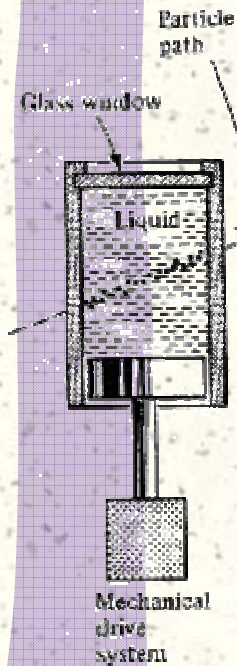


# Nouveau détecteur




# La chambre à bulles inventée en 1953 par Donald Glaser

- Les particules chargées vaporisent un liquide brusquement détendu (hydrogène)
- Remplace la chambre à brouillard de Wilson



# Quoi de neuf au pays des leptons ?

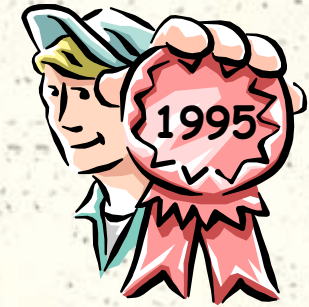


Rappels des épisodes précédents :

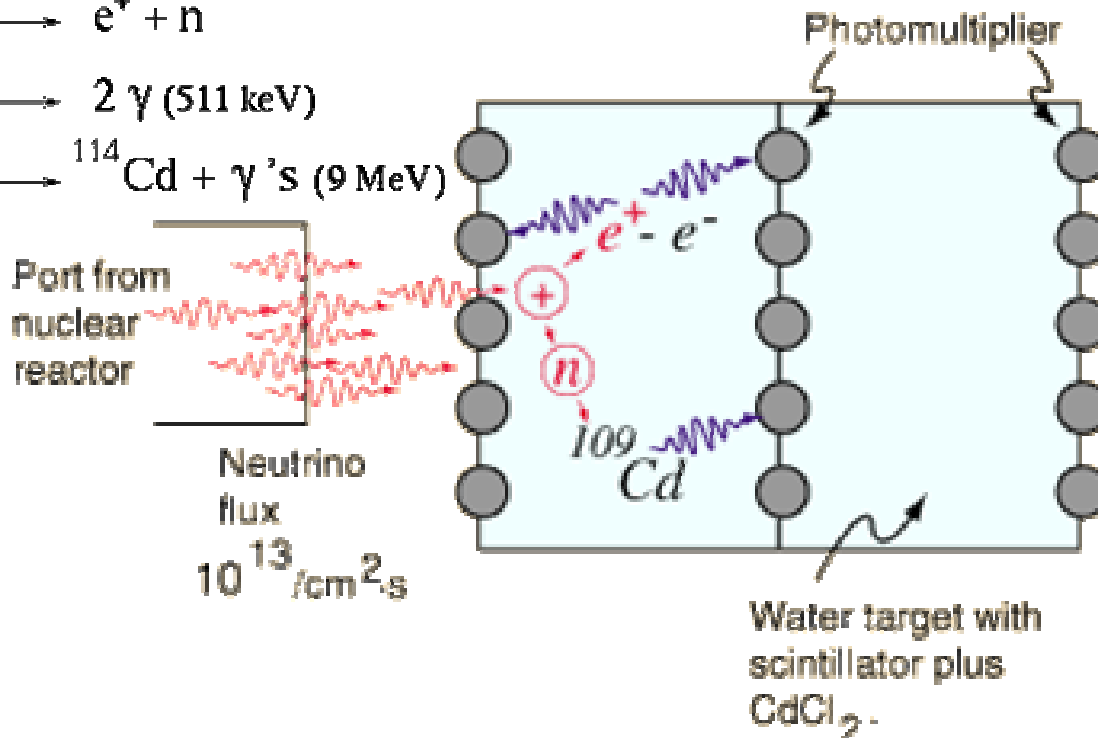
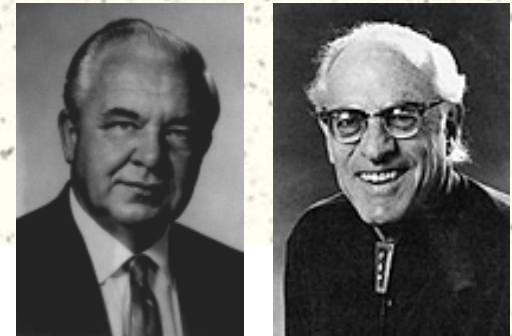
- 1896 Thomson découvre l'électron
- 1930 Pauli invente le neutrino
- 1947 Il y a des muons dans les cosmiques !



# Observation du neutrino



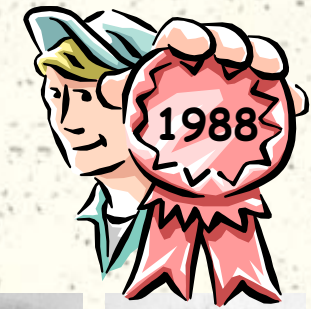
# 1956 : Frederick Reines et Clyde Cowan (†1974) voient des neutrinos sortir du réacteur nucléaire de Savannah River



Delayed coincident detection of  $\gamma$  from  ${}^{109}\text{Cd}$  with pair of  $\gamma$ 's from  $e^+ - e^-$  annihilation.

Réacteur arrêté  
 ~ 1 evt/heure  
 Réacteur allumé  
 ~ 4 evt/heure

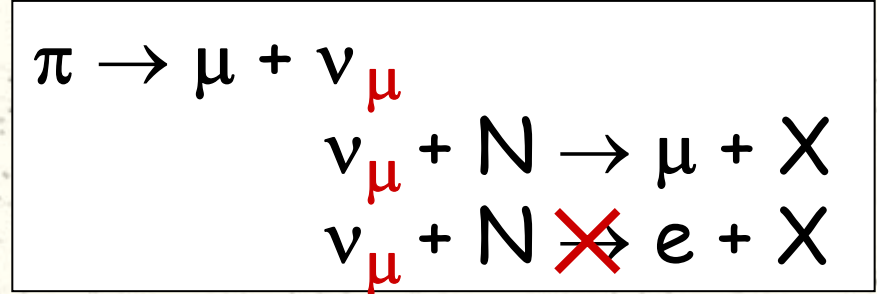
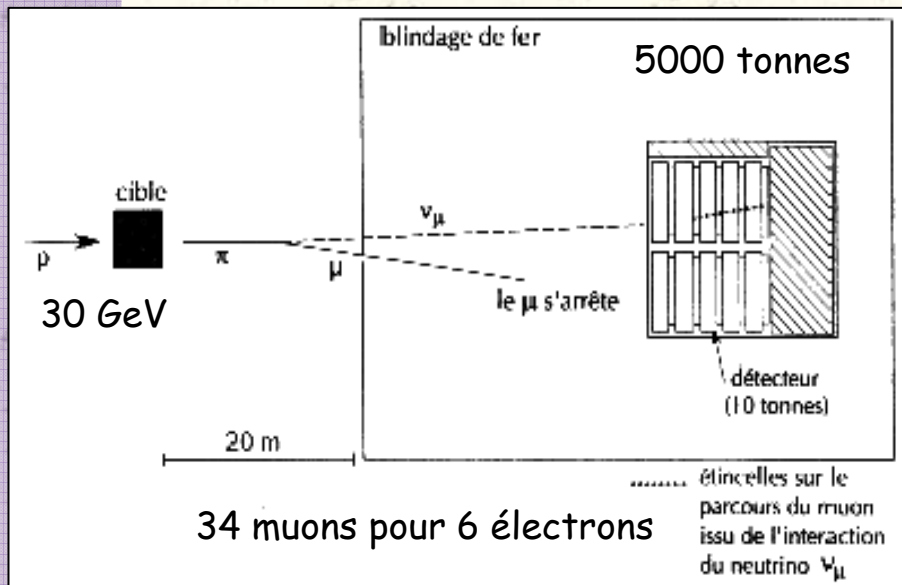
# Le neutrino du muon...



- # Muon découvert en 1937 et identifié en 1947
- # En 1962, faisceau de neutrinos à Brookhaven



Leon Lederman  
Melvin Schwartz  
Jack Steinberger



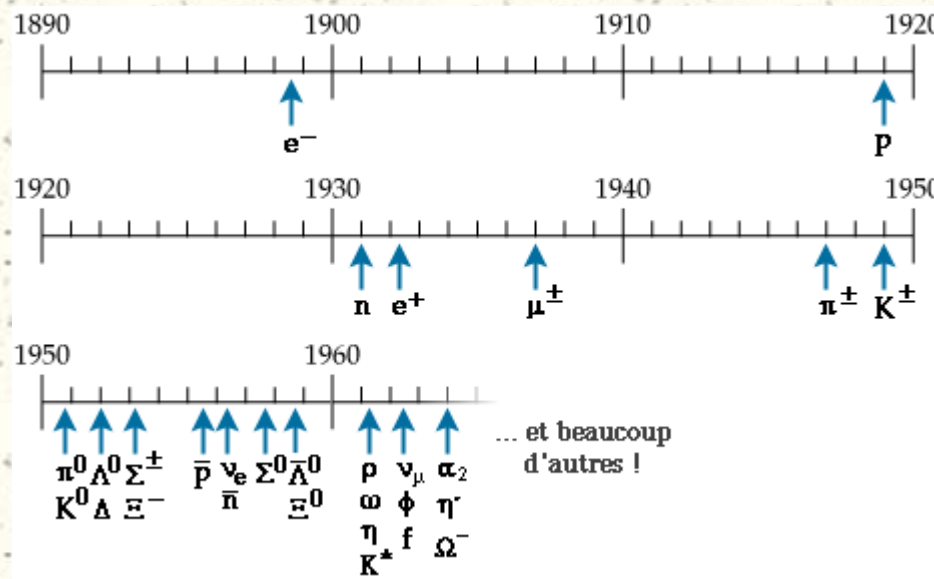
Ce neutrino, associé au muon, est différent du précédent !



# 1964 - Bilan



- # Fantastique succès de la QED\* (Feynman)
- # Doutes sur :
  - L'interaction faible (Fermi)
  - L'interaction forte (Yukawa)
- # Une foultitude de particules élémentaires !



2 familles de leptons  
 $(e, \nu_e)$   $(\mu, \nu_\mu)$   
 + Plein de hadrons

\* Electrodynamique  
 quantique, voir séance  
 sur modèle standard