

Matière et Univers

Albert Bijaoui

Observatoire de la Côte d'Azur

Sommaire

- La masse cachée ou la matière noire?
- Voyage au cœur de la matière
 - Les atomes
 - Les particules élémentaires
 - L'unification
- Du vide et de la création
 - Les premiers instants de l'Univers
 - La répartition de la matière
 - Le chaos quantique

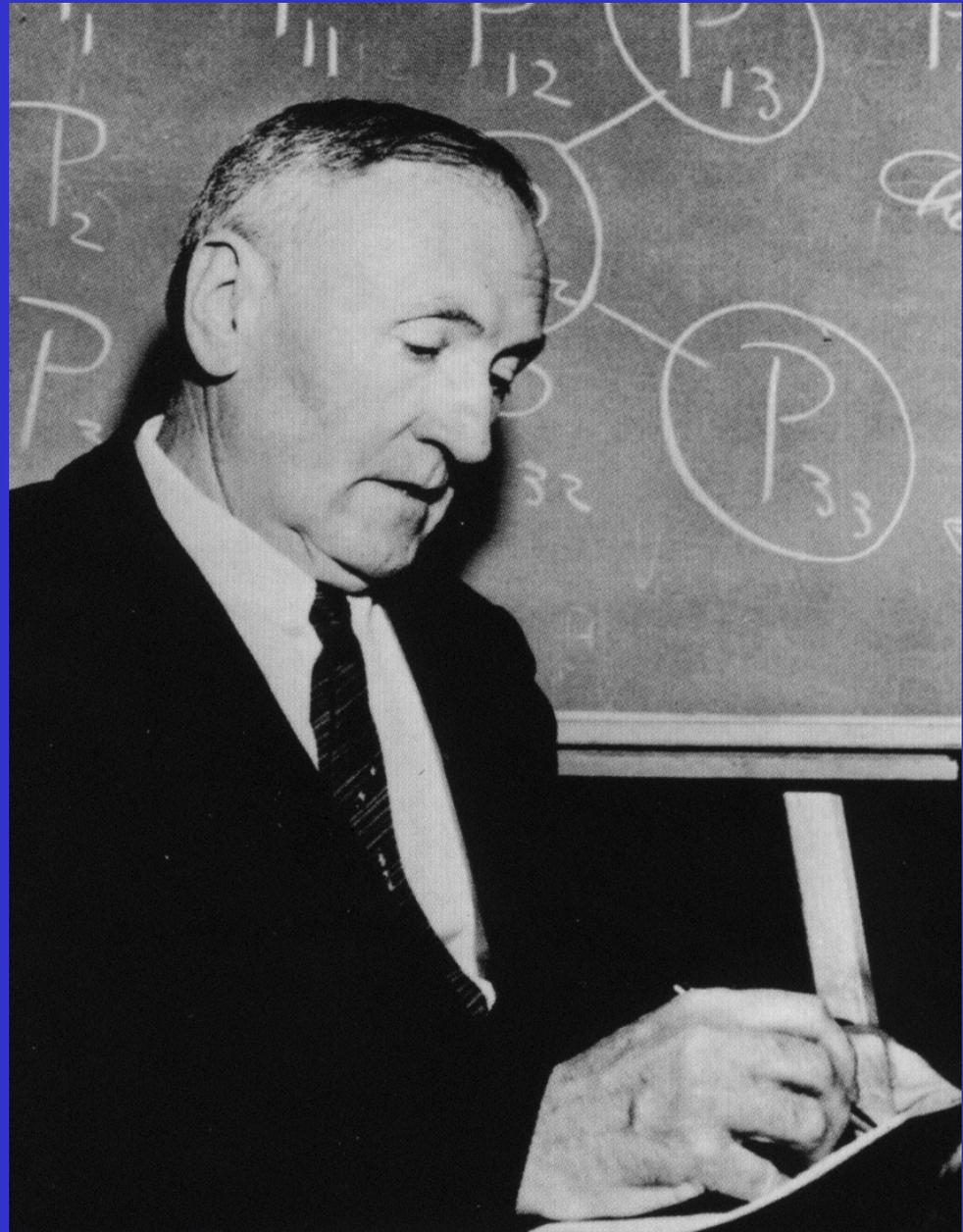
**La Masse Cachée
ou
La Matière Noire?**

Comment peser l'Univers?

- **Approche simple:**
 - Peser chaque composante (étoiles, planètes, etc.)
 - Déduire la masse totale en tenant compte de leur répartition
- **Approche mécanique**
 - Par la dynamique des objets

Le paradoxe de Zwicky

La distribution des galaxies dans un amas de galaxies conduit à une masse bien plus grande que celle obtenue à partir de toutes les galaxies.



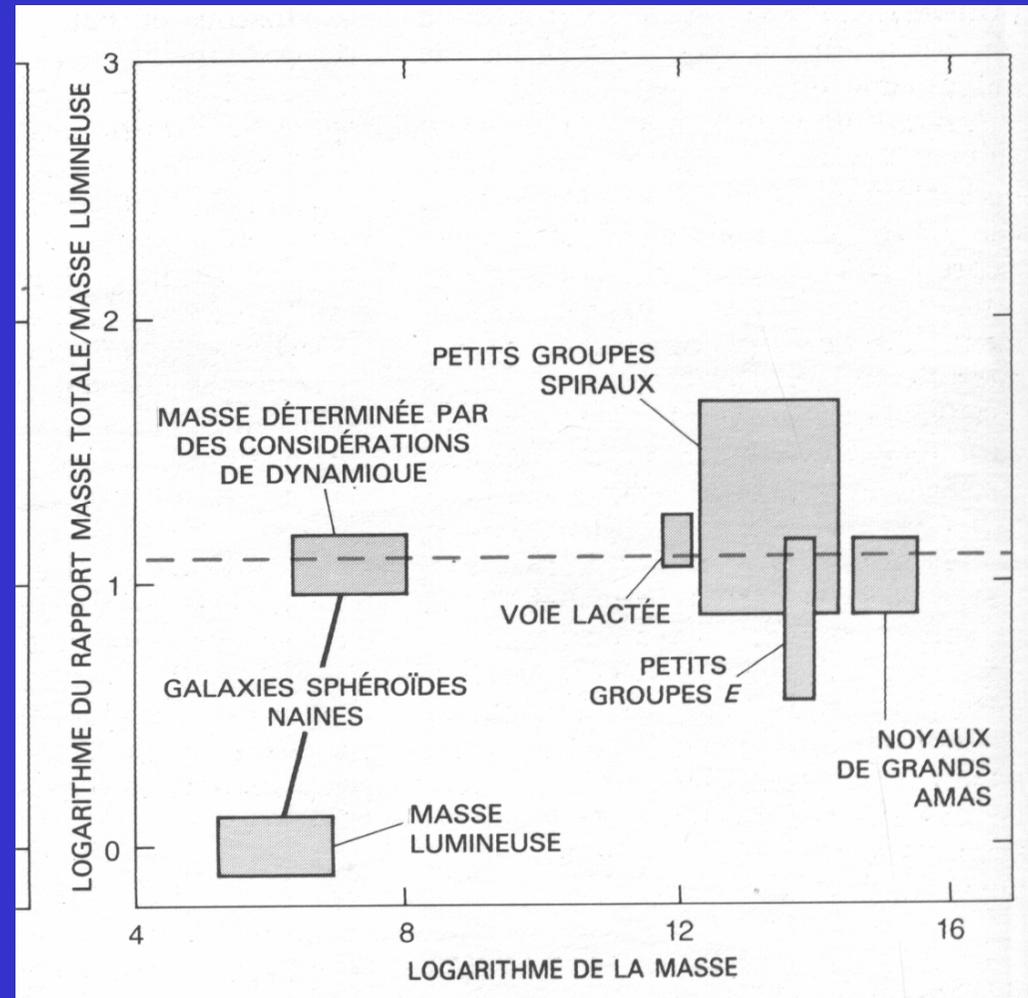
Le Halo Massif



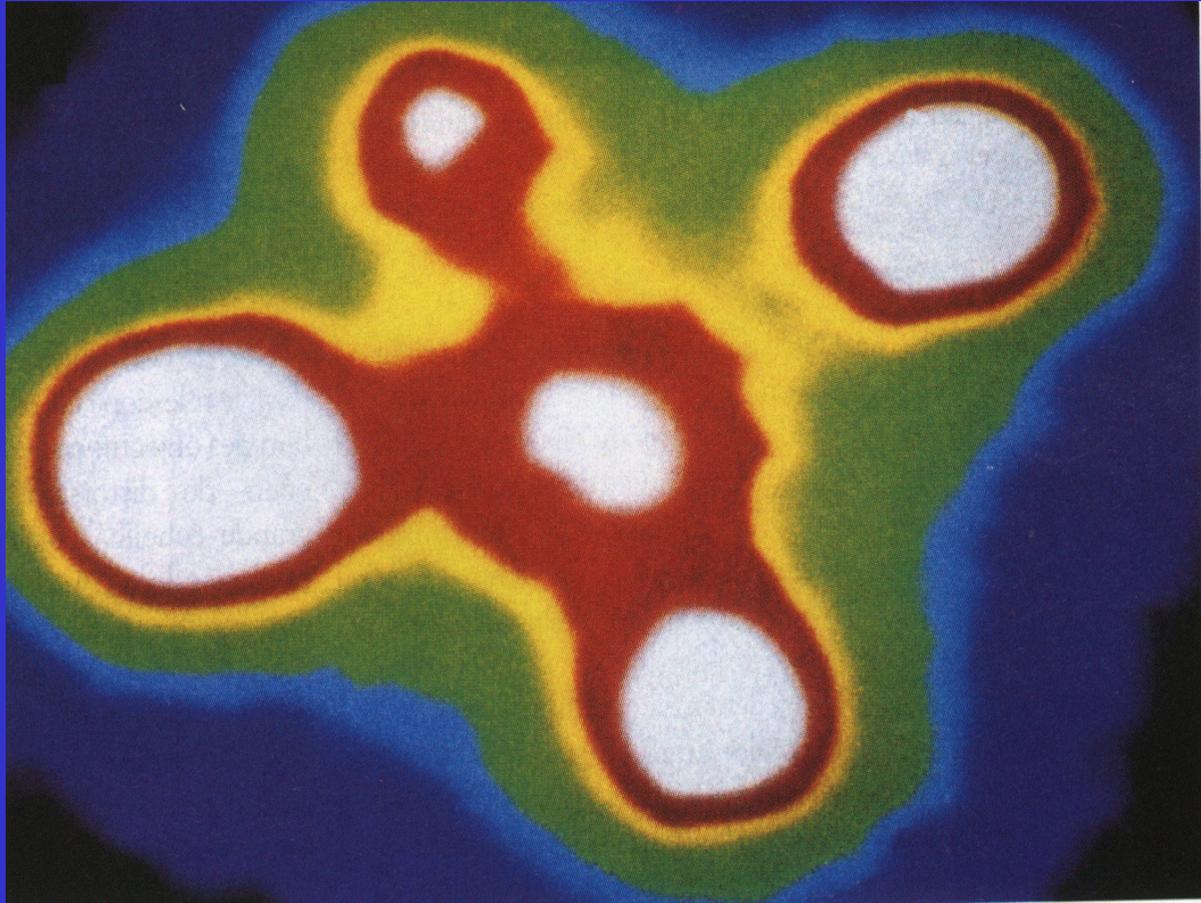
Vera Rubin découvre en 1948 que la rotation des galaxies spirales ne peut s'expliquer que par la présence d'une importante masse cachée

Masses Dynamique et Masse Lumineuse

Les observations
conduisent à
une masse
cachée de plus
de 10 fois la
matière visible



Les lentilles gravitationnelles

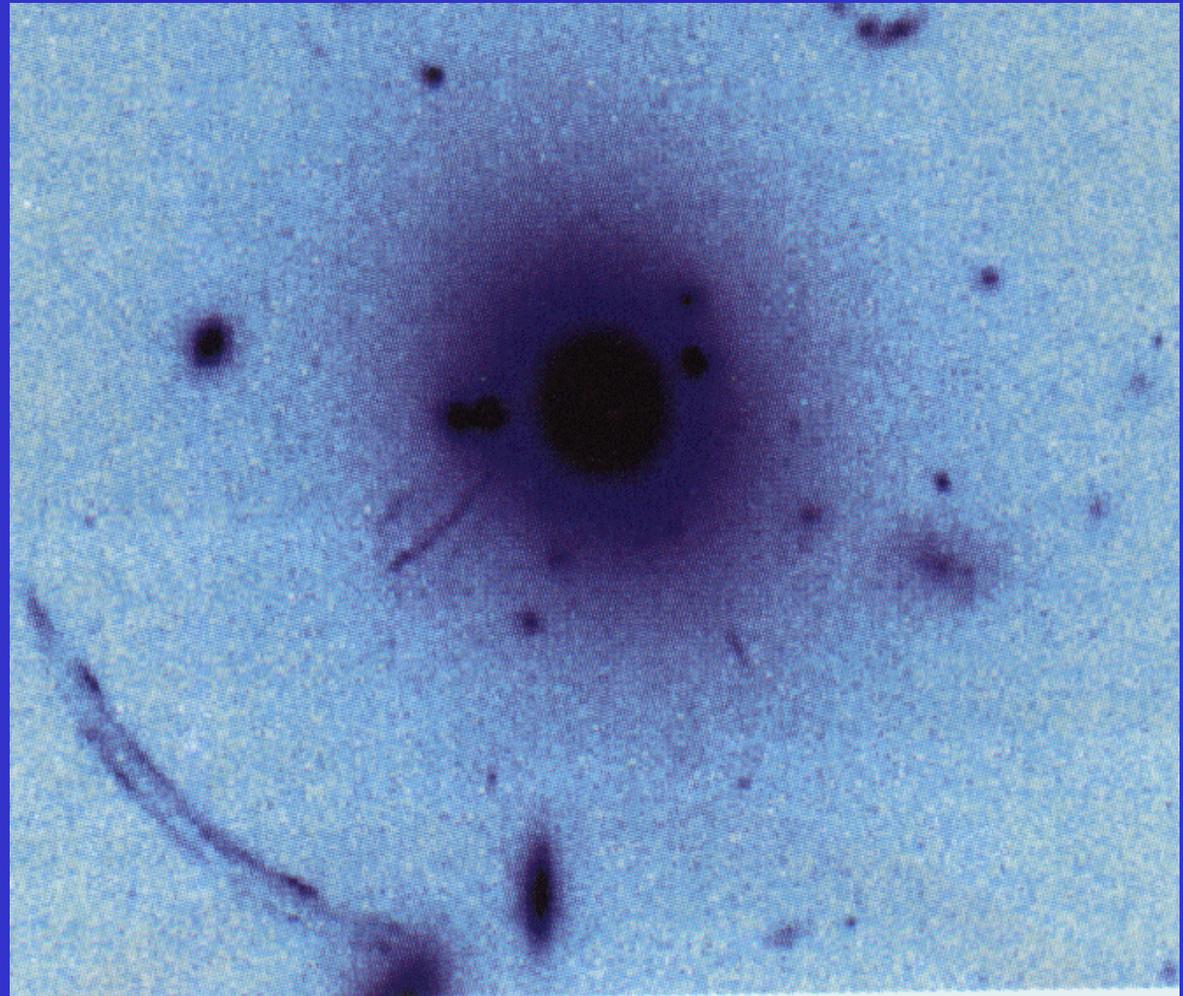


La croix d'Einstein.

L'image d'une galaxie peut être complètement déformée par une galaxie en avant plan

Image HST de l'amas de galaxies MS2137-23

La déformation
des images
des galaxies
permettent de
déterminer la
masse de
l'amas de
galaxies



**Qu'est-ce que cette
Matière Noire?
Mais
Qu'est-ce que la Matière?**

- Les atomes
- Les particules élémentaires
- L'Unification

Les Atomes

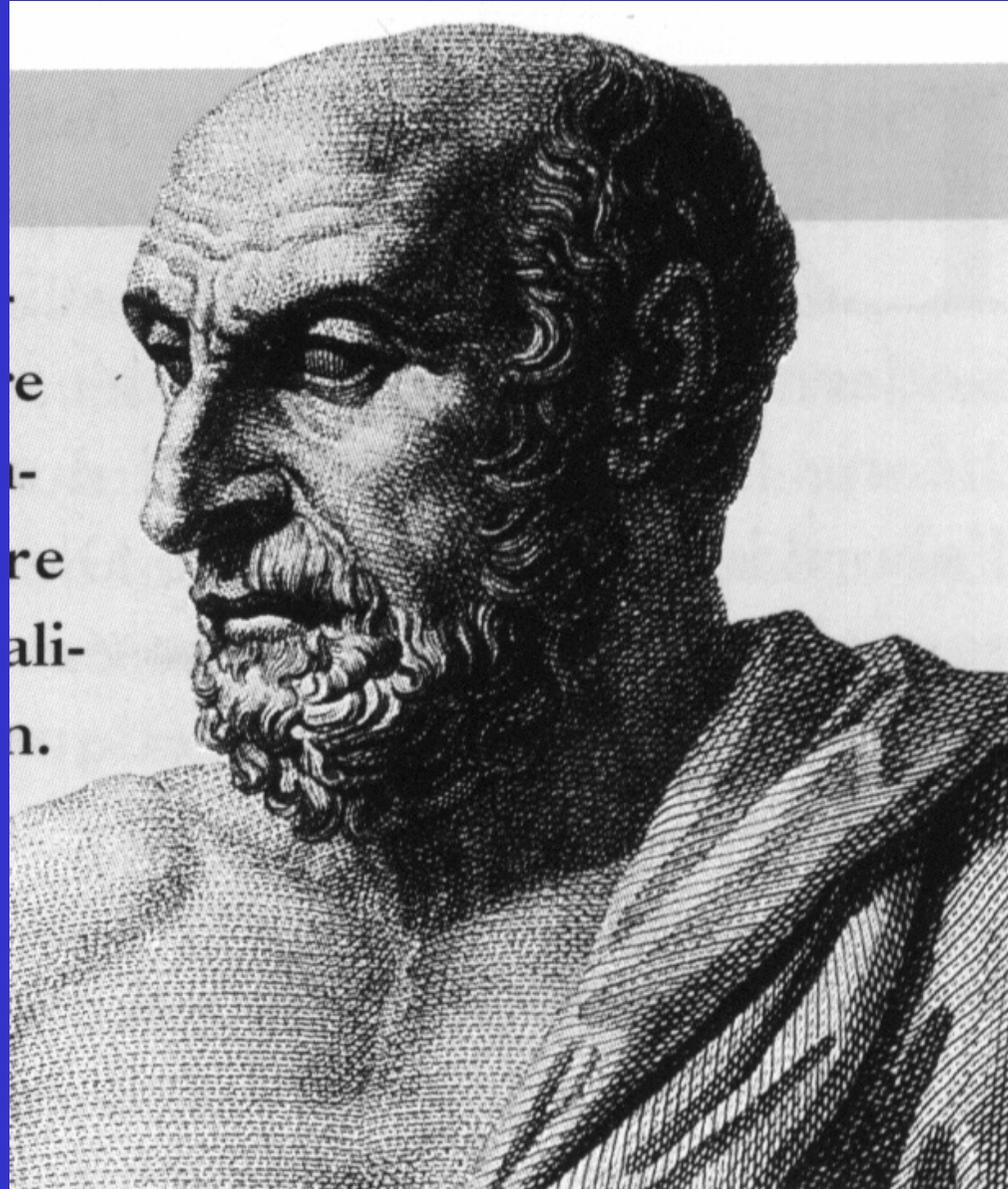
Platon



La Matière est
constituée de
quatre éléments:
L'Air, l'Eau, la
Terre et le Feu
Aristote ajoute la
Quintessence

Démocrite

La Matière est
constituée
d'Atomes



La Quête des Alchimistes



En cherchant à fabriquer de l'or ils découvrent des éléments et des réactions chimiques

Giordano Bruno

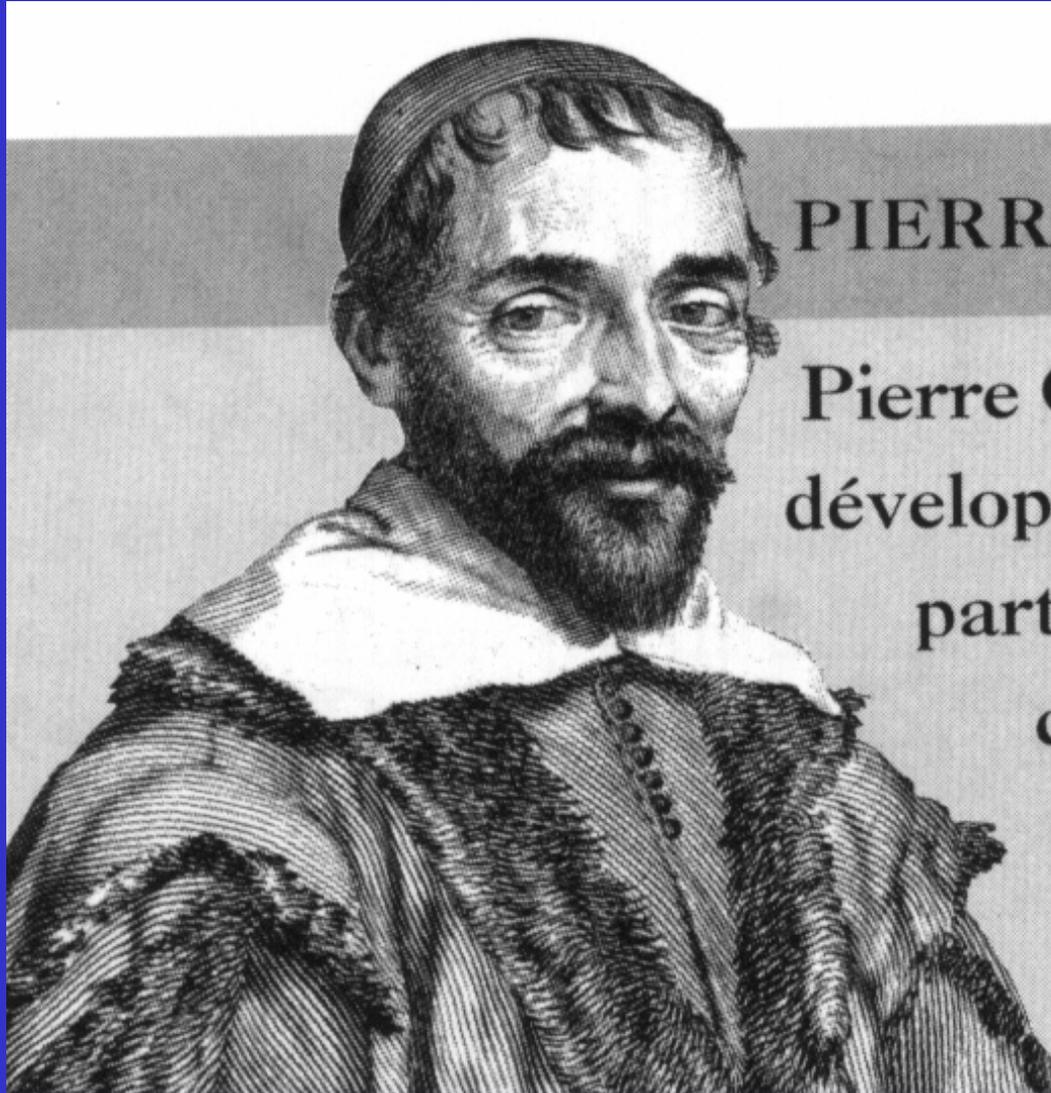
Professe la
plurarité des
mondes et
l'atomisme

Meurt sur le
bûcher à Rome



Giordano Bruno
fut une
tragique :
condamné à Rome
en 1600 sur le bûcher
par l'Inquisition.

de planètes
yeux en ra
masse, de l
sépare d'ell
ou spécul
nicien
devie
cop
au
le
é
e
C
La
prod
est an
sal et lo
pas temp
autorise à
dant à l'Un
aussi imm



Pierre Gassendi

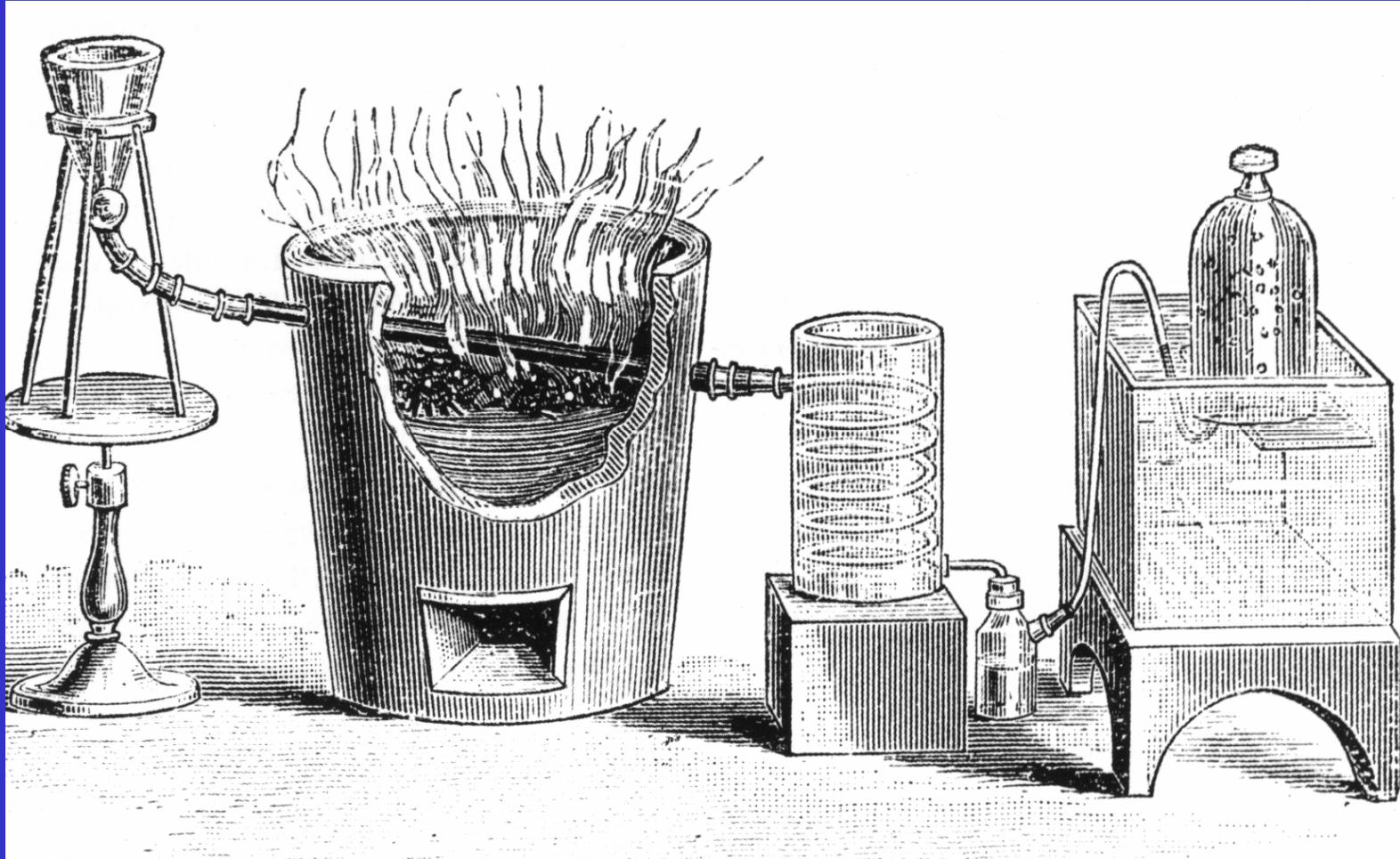
Reprend les
idées atomistes

Lavoisier



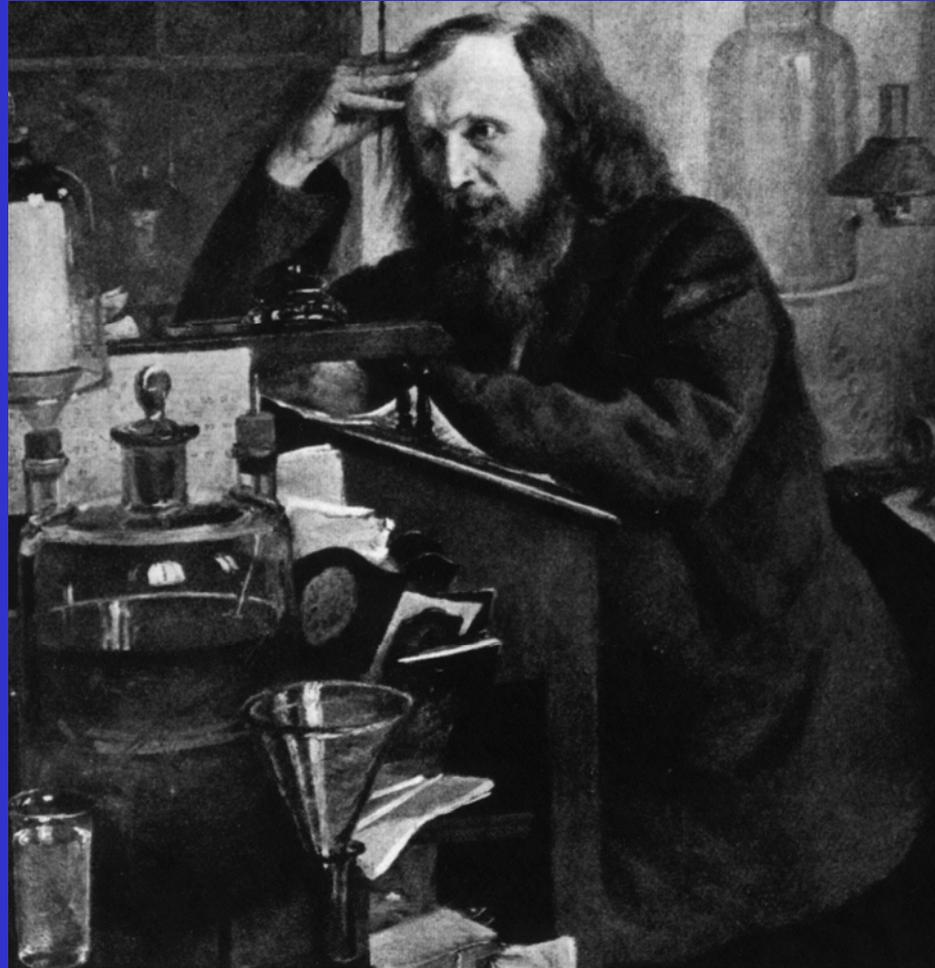
*Rien ne se perd, Rien ne se crée,
Tout se transforme*

Expérience pour dissocier l'eau



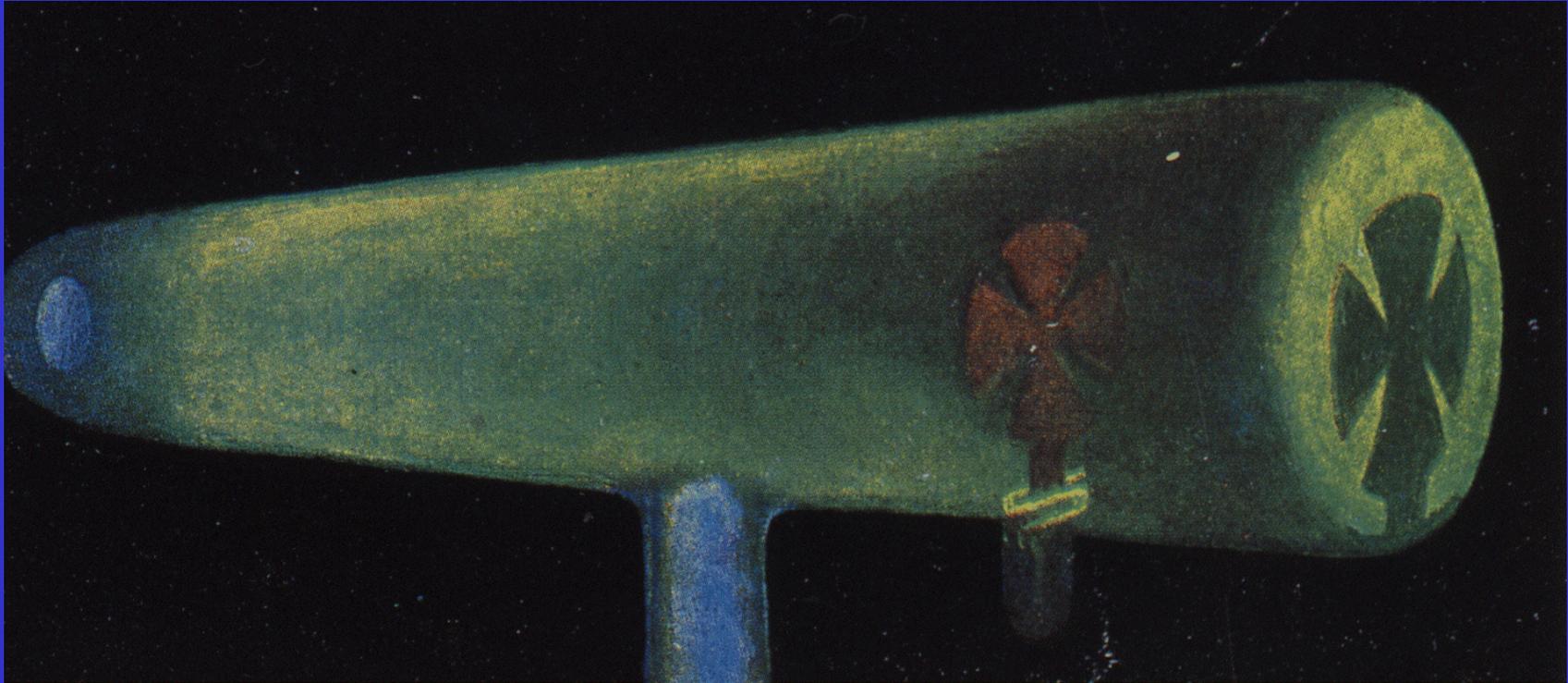
L'eau est un élément composé

Dimitri Ivanovitch Mendéleïev (1834-1907)



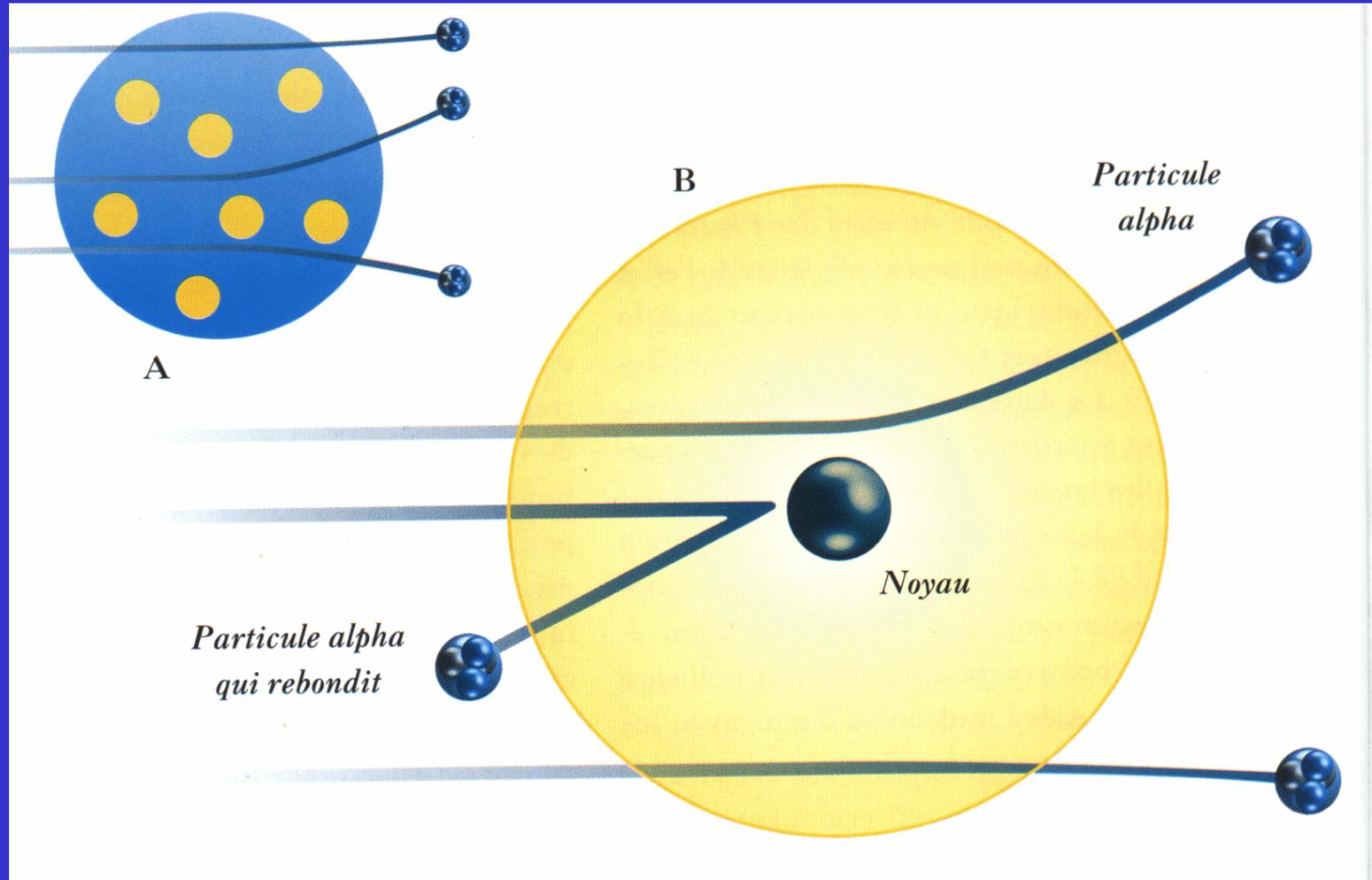
Montre qu'il existe une périodicité des éléments

Les Rayons Cathodiques



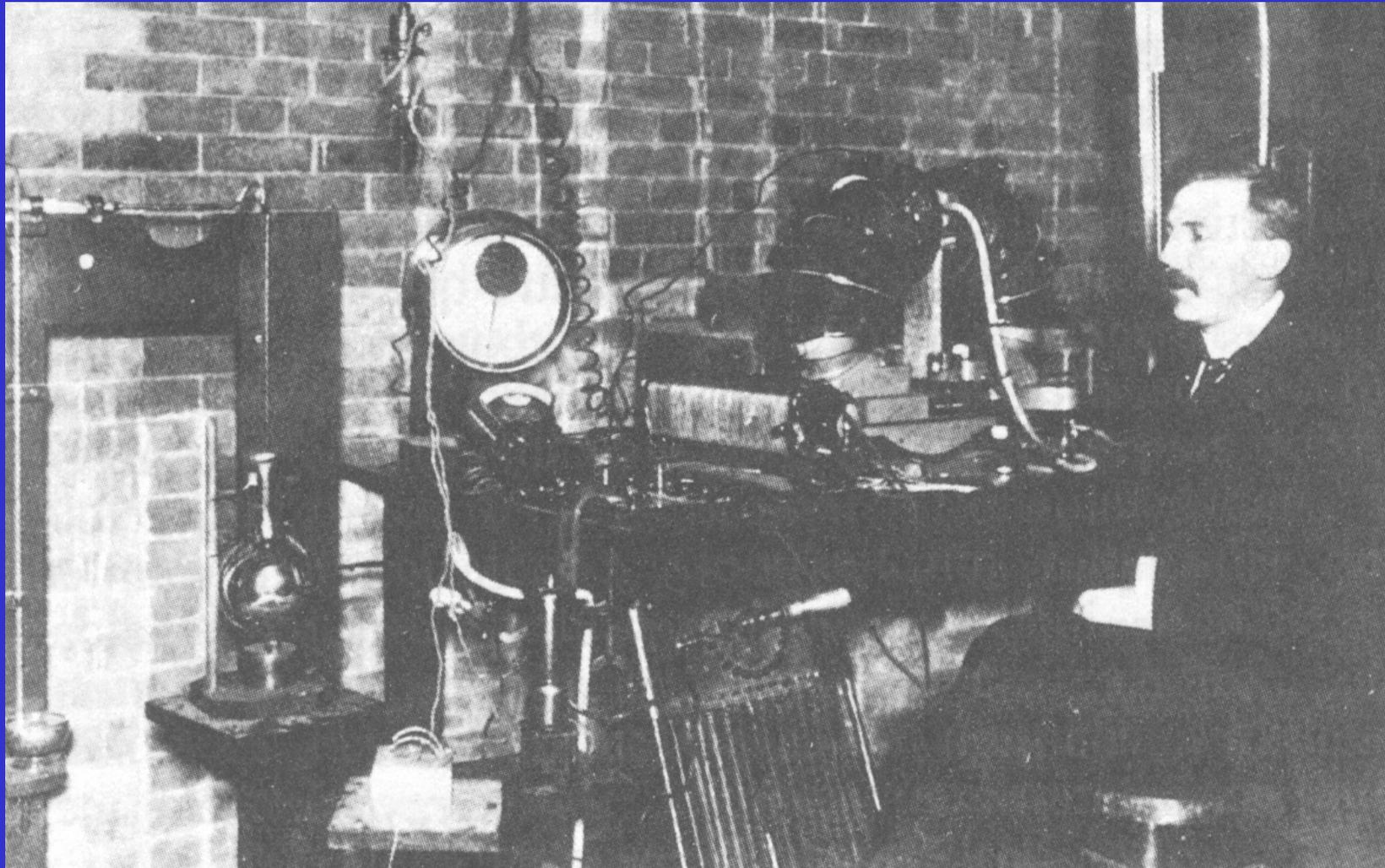
Jean Perrin montre en 1895 que les rayons cathodiques sont formés des particules porteuses de l'électricité : les électrons

L'expérience de Rutherford 1911



Il existe au centre de l'atome un noyau chargé positivement

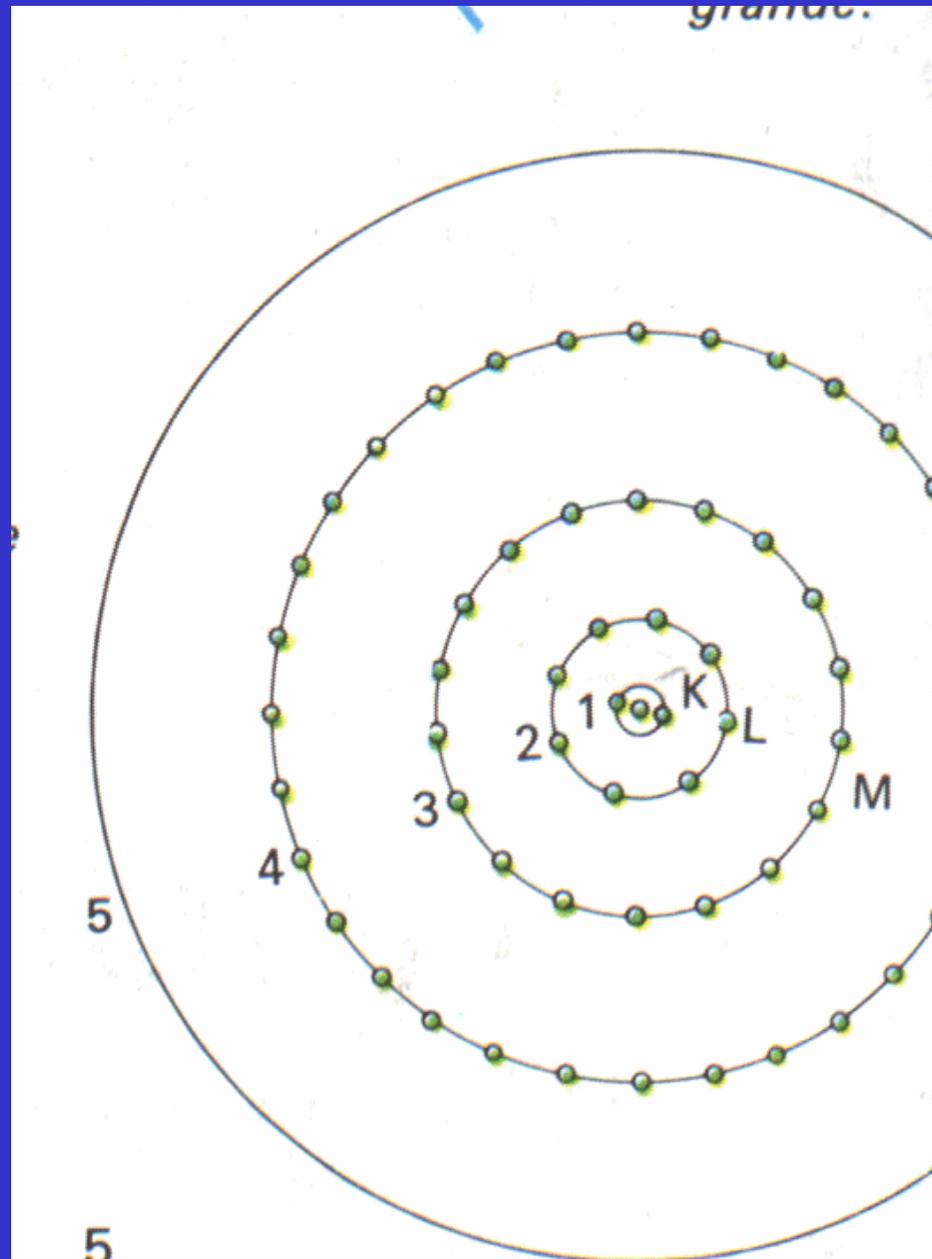
Rutherford dans son laboratoire



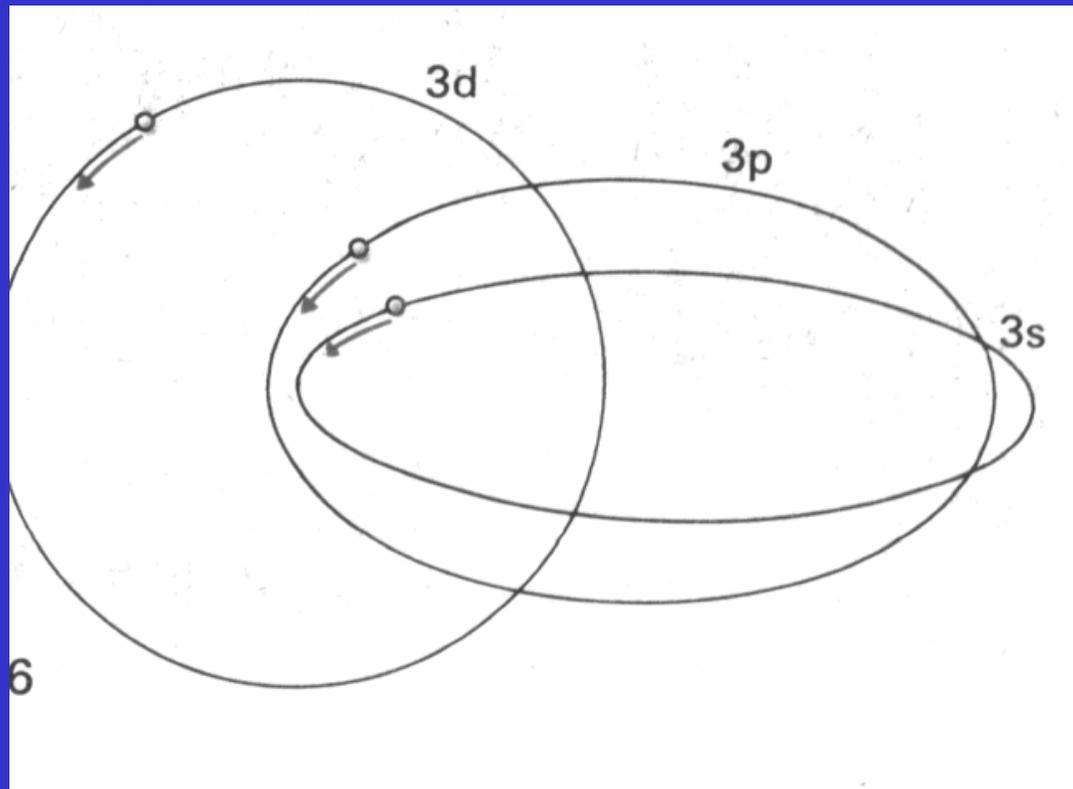
Montre avec Soddy que la radioactivité correspond à une transmutation des éléments

L'atome de Bohr (1913)

Les électrons tournent autour du noyau comme les planètes autour du Soleil



L'Atome de Bohr-Sommerfeld



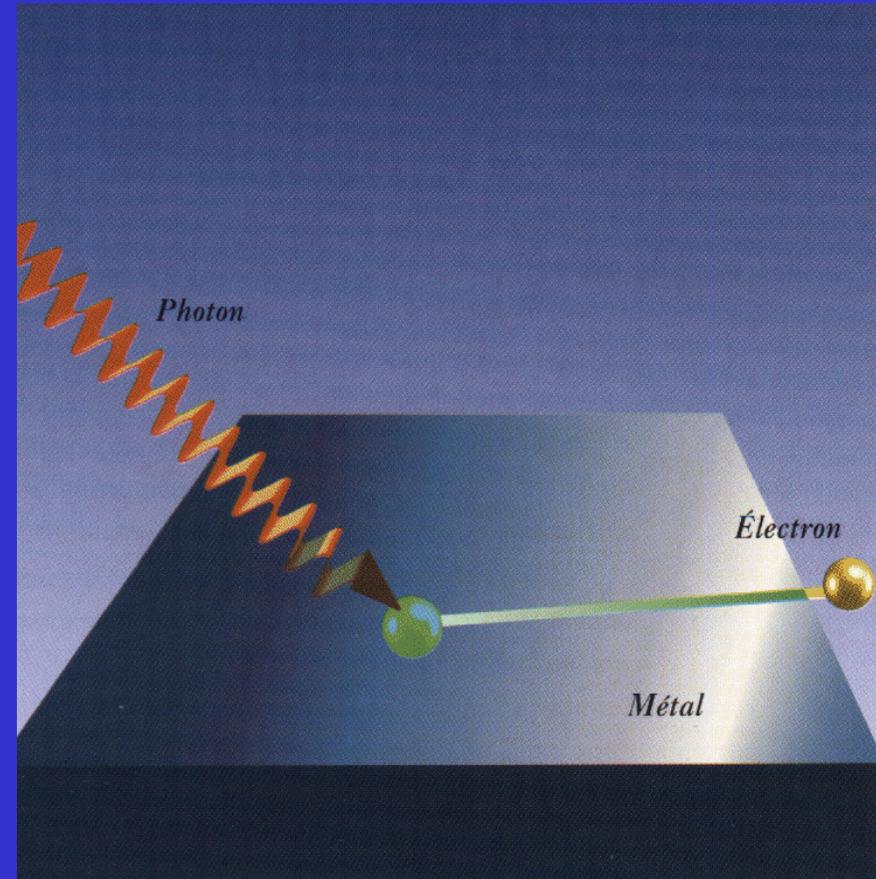
Les orbites des électrons peuvent être elliptiques
nombres quantiques

Principe d'Exclusion de Pauli

Onde et Corpuscule

Les particules ont des propriétés à la fois ondulatoires et corpusculaires

Einstein a ainsi interprété en 1905 l'émission photoélectrique





Le monde de l'Incertitude

Heisenberg en 1927
montre qu'il est
impossible de
préciser à la fois la
position et la vitesse

La mécanique
quantique est un
monde incertain

La structure du Noyau

l'atome le plus simple et ses trois isotopes

constituants de l'atome

- proton (positif) 
- neutron (neutre) 
- électron (négatif) 

noyau

hydrogène $\begin{matrix} 1 \\ \text{H} \\ 1 \end{matrix}$

deutérium $\begin{matrix} 2 \\ \text{H} \\ 1 \end{matrix}$

tritium $\begin{matrix} 3 \\ \text{H} \\ 1 \end{matrix}$

proton

électron

l'atome naturel le plus lourd et le noyau de l'isotope 238

dans un atome, il y a le même nombre d'électrons et de protons

symbole de l'uranium 238

neutrons : 146 } 238

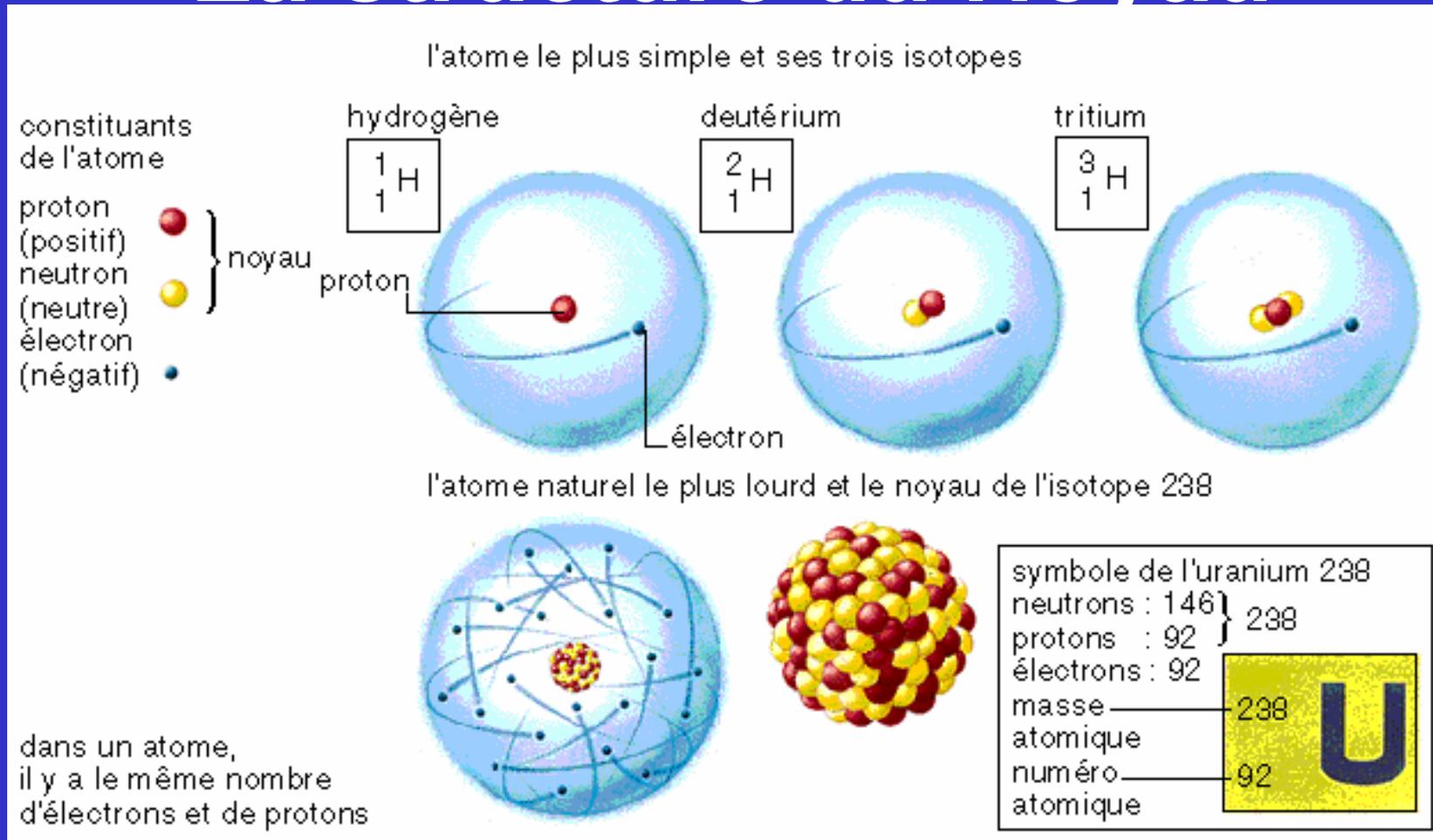
protons : 92

électrons : 92

masse atomique 238

numéro atomique 92

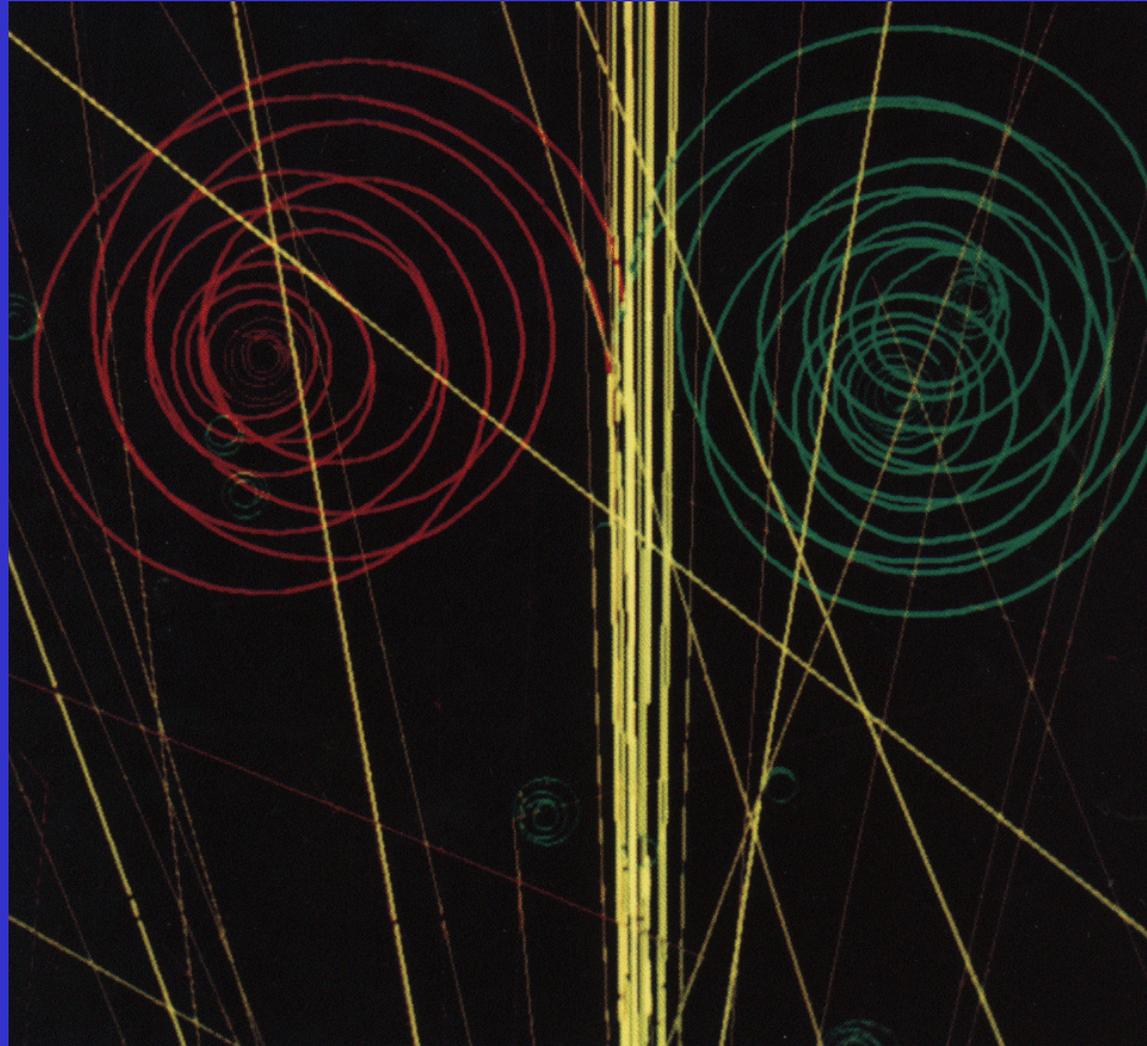




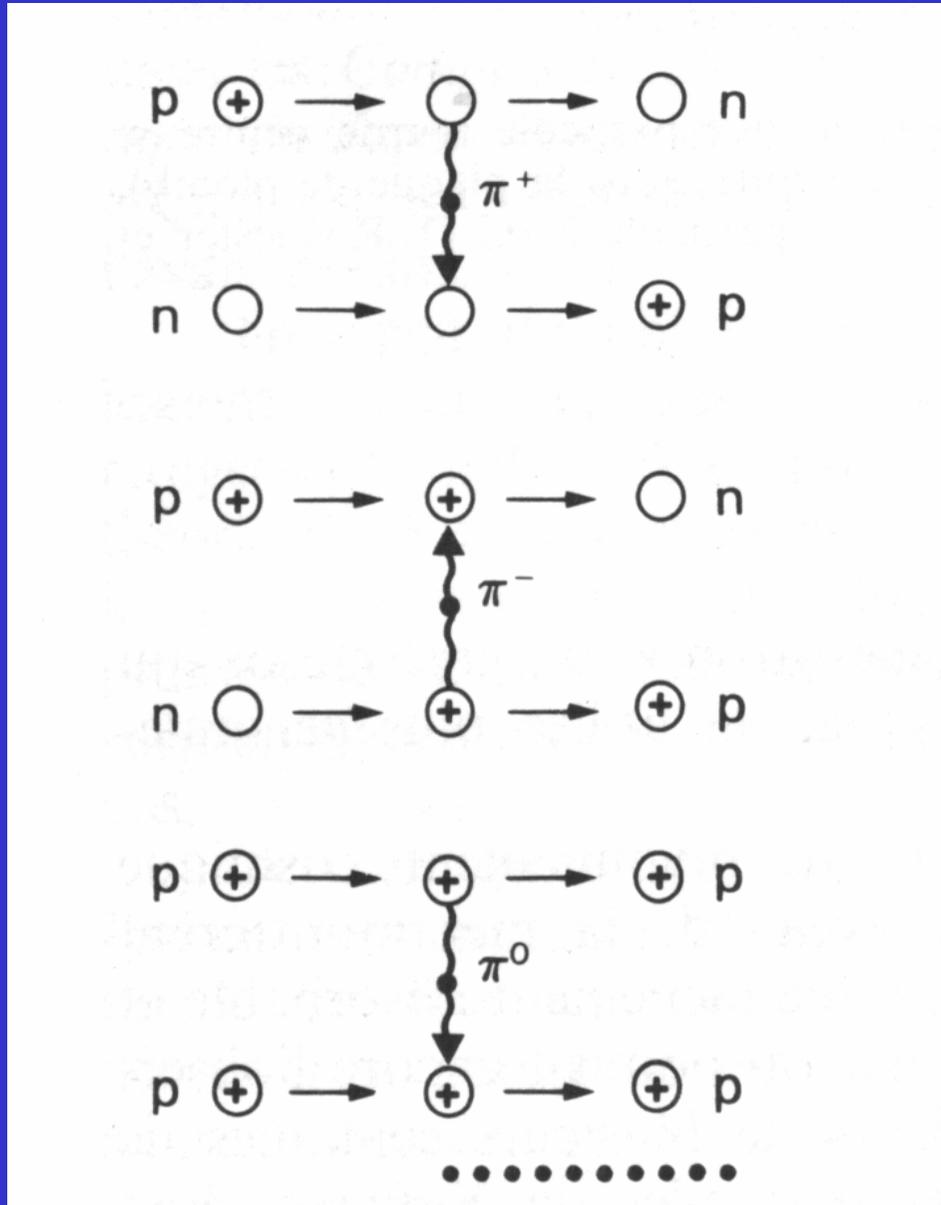
Avec la découverte du neutron par Chadwick en 1932 on comprend que le noyau est composé de protons et de neutrons

Les Particules Élémentaires

Découverte de l'antimatière



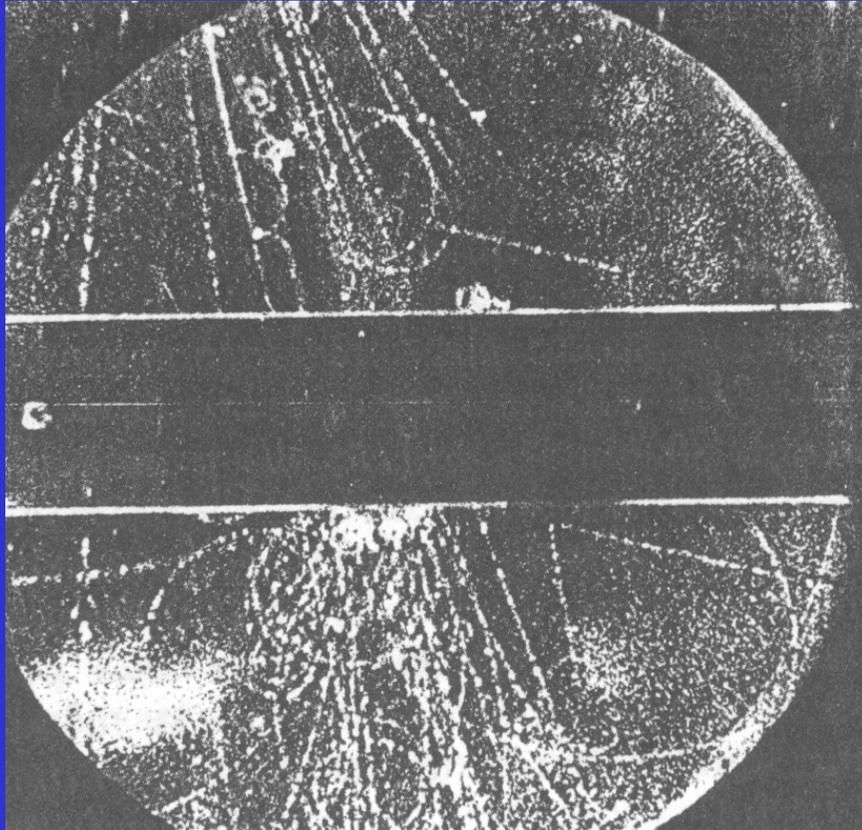
On découvre des positrons anti électrons.



Le Méson π

Yukawa en 1937
explique
l'interaction forte
par l'échange
d'une particule
nouvelle : le
méson π

La découverte du méson π



Premier cliché Wilson montrant une particule lourde neutre se désintégrant en un pion et un proton (à droite, sous la plaque de plomb).

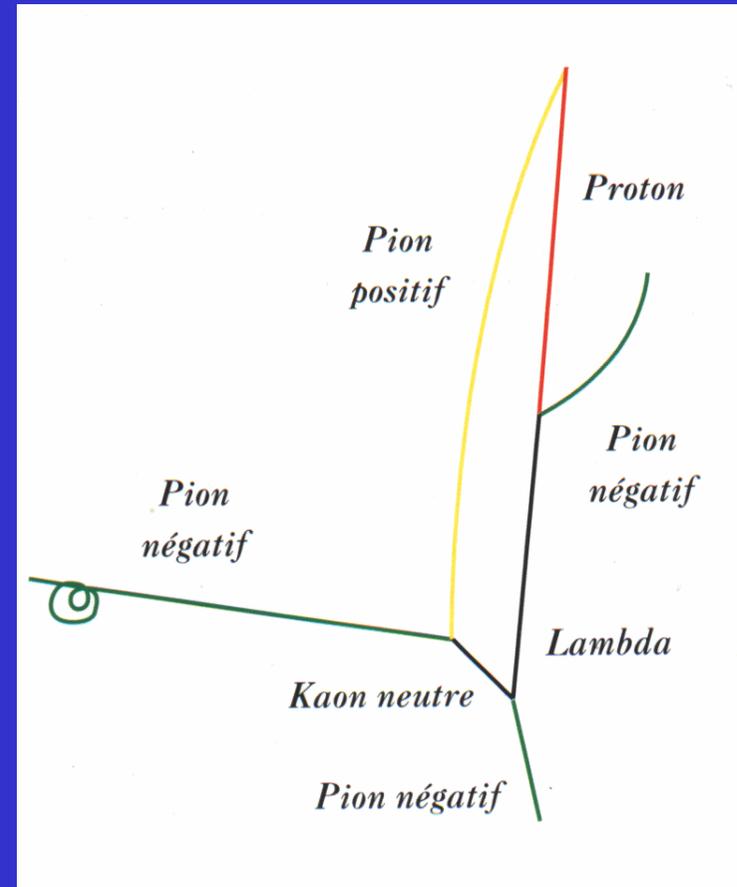
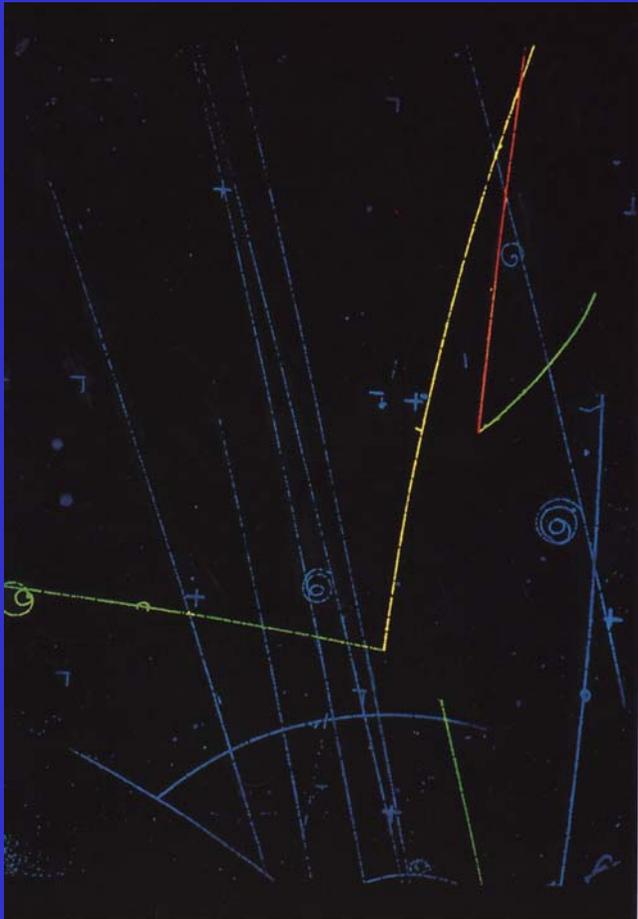
Outre le méson π un autre méson a été découvert en 1946 : le méson μ

Le premier Cyclotron



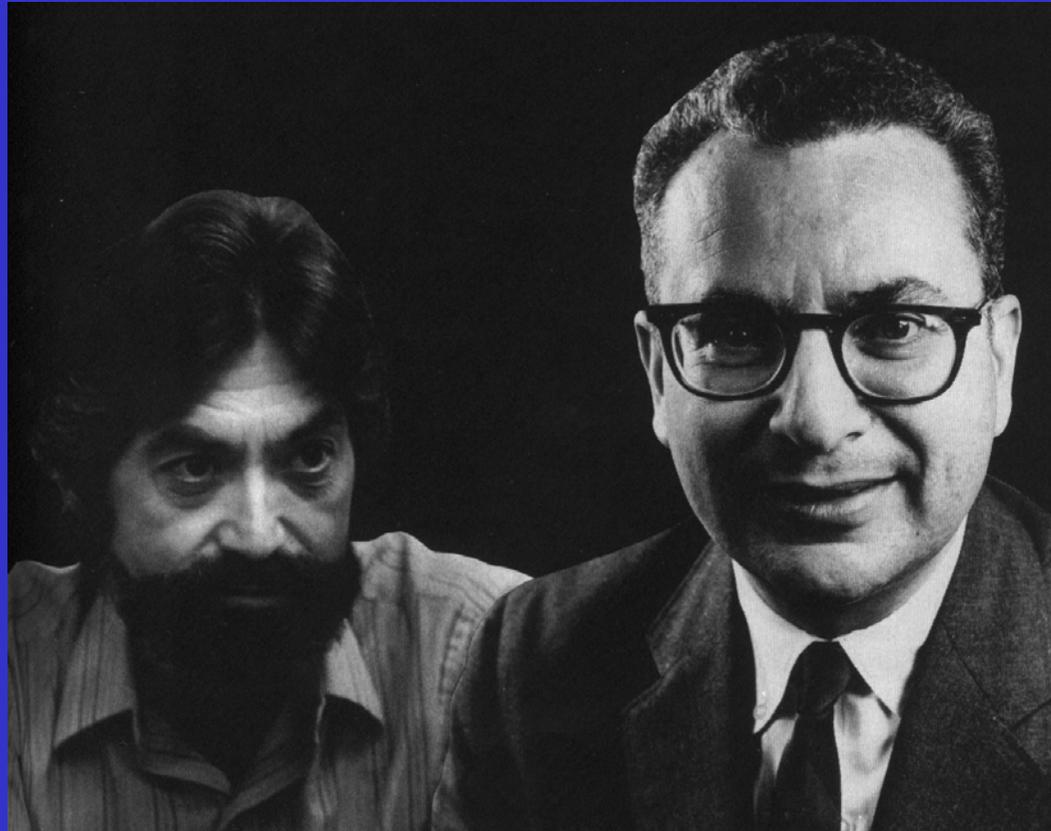
Pour casser les particules
Lawrence imagine le cyclotron

Les chambres à Bulles



Pour voir les trajectoires des particules
Glaser invente la chambre à bulle.
Décomposition d'un pion négatif

Murray Gell-Man Georges Zweig les pères des Quarks



Les Nucléons sont formés de 3 Quarks
Les mésons de 2 Quarks

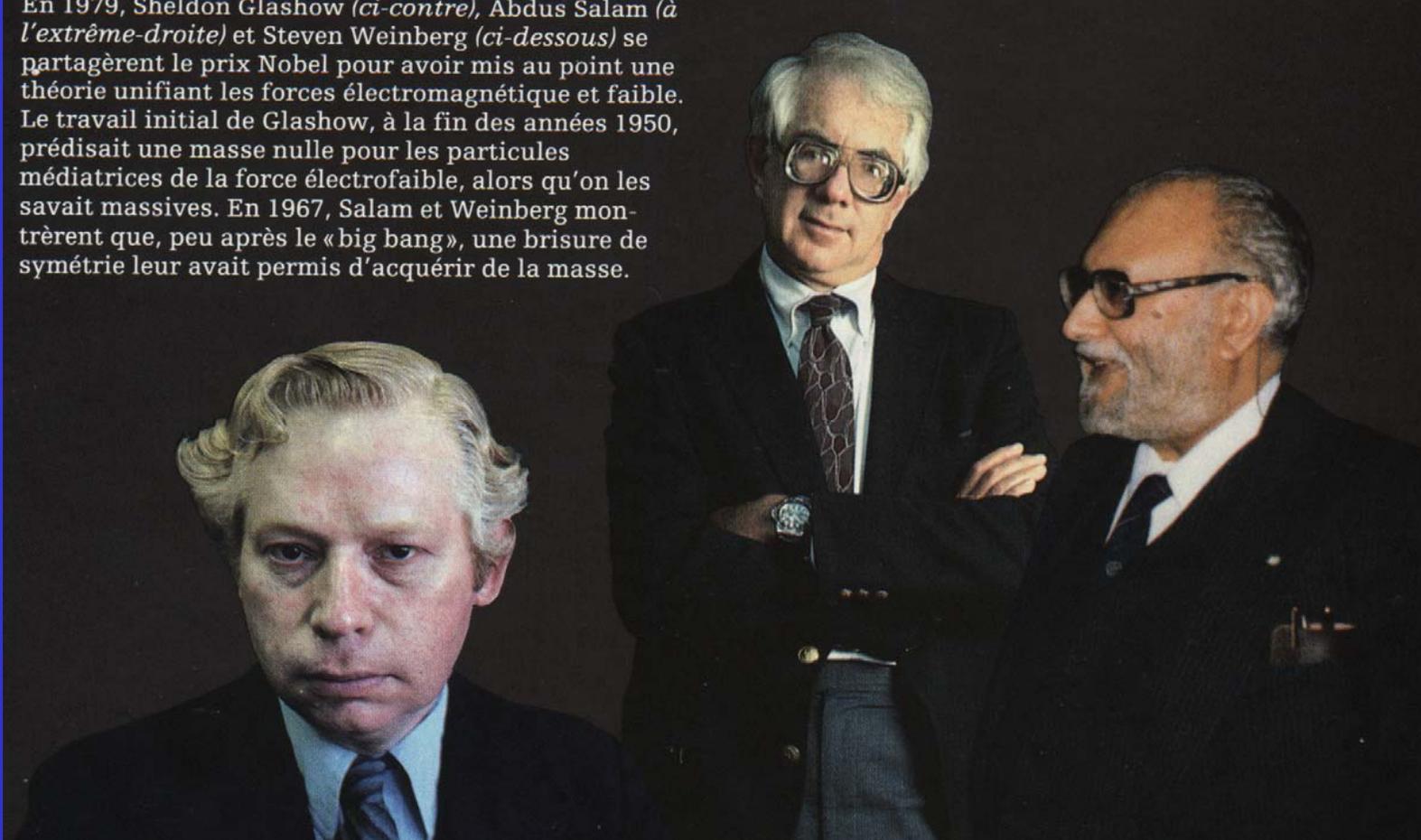
Les Trois Familles

- **Électron**
 - Quarks haut et bas
 - Neutrino électronique
- **Muon**
 - Quarks étrange et charme
 - Neutrino muonique
- **Tau**
 - Quark top et beauté
 - Neutrino tau

L'Unification

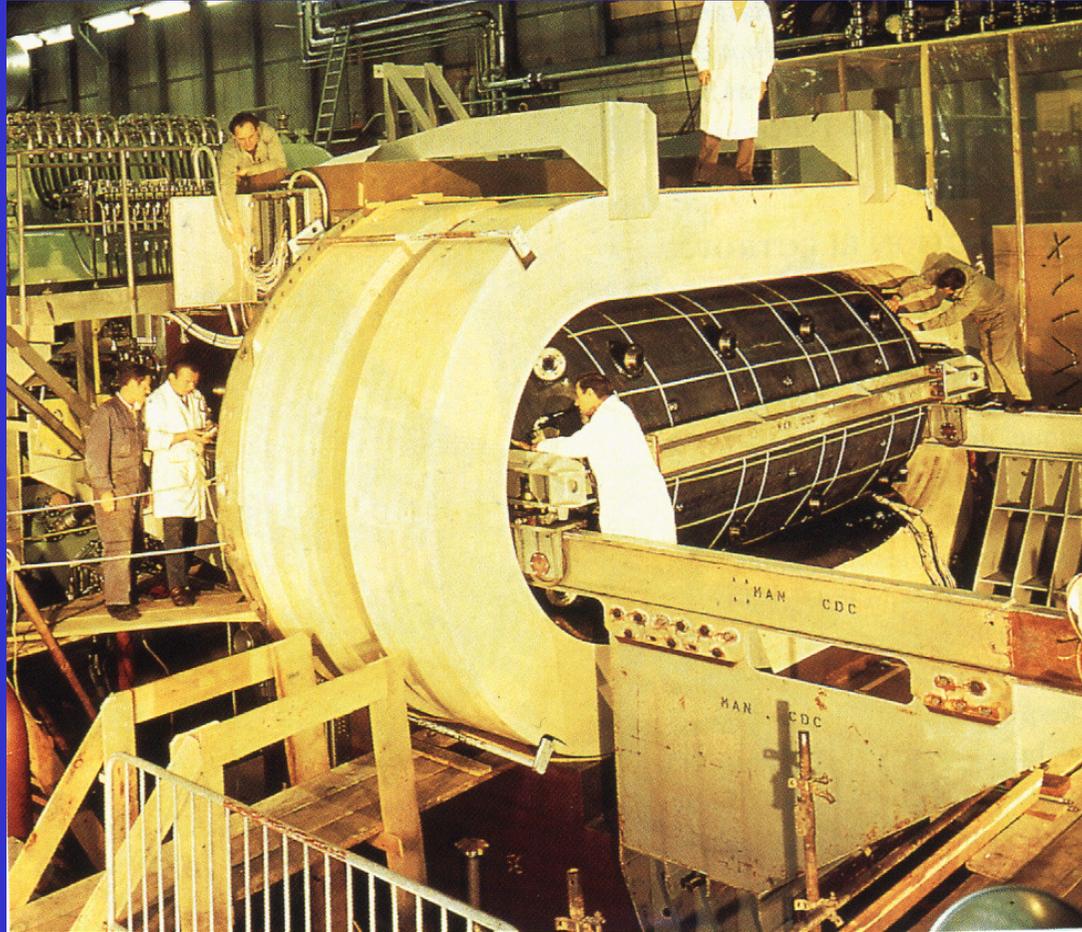
La force électrofaible

En 1979, Sheldon Glashow (*ci-contre*), Abdus Salam (*à l'extrême-droite*) et Steven Weinberg (*ci-dessous*) se partagèrent le prix Nobel pour avoir mis au point une théorie unifiant les forces électromagnétique et faible. Le travail initial de Glashow, à la fin des années 1950, prédisait une masse nulle pour les particules médiatrices de la force électrofaible, alors qu'on les savait massives. En 1967, Salam et Weinberg montrèrent que, peu après le « big bang », une brisure de symétrie leur avait permis d'acquérir de la masse.



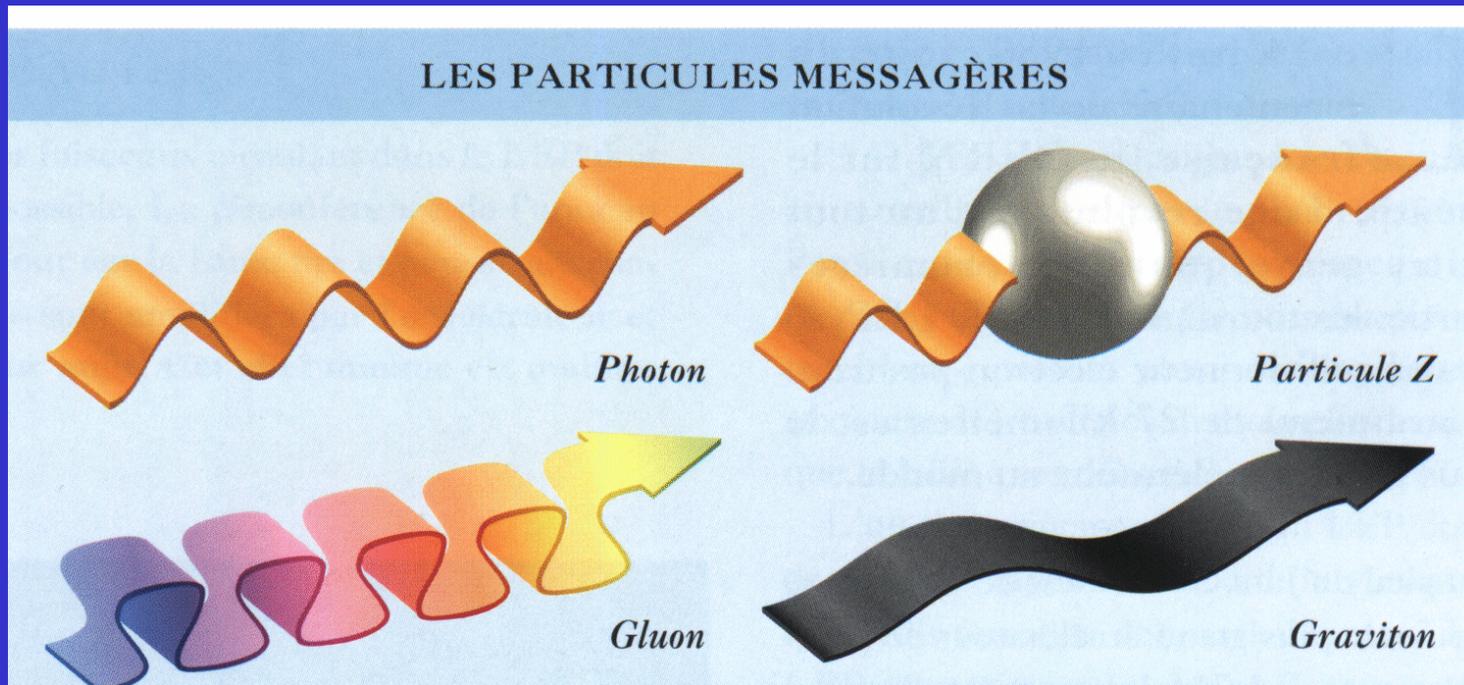
Steven Weinberg, Sheldon Glashow et Abdus Salam les pères de la théorie électrofaible.

L'expérience Gargamelle



C'est au CERN qu'ont été détectées les particules W^+ W^- et Z^0 de l'interaction faible

Les particules messagères



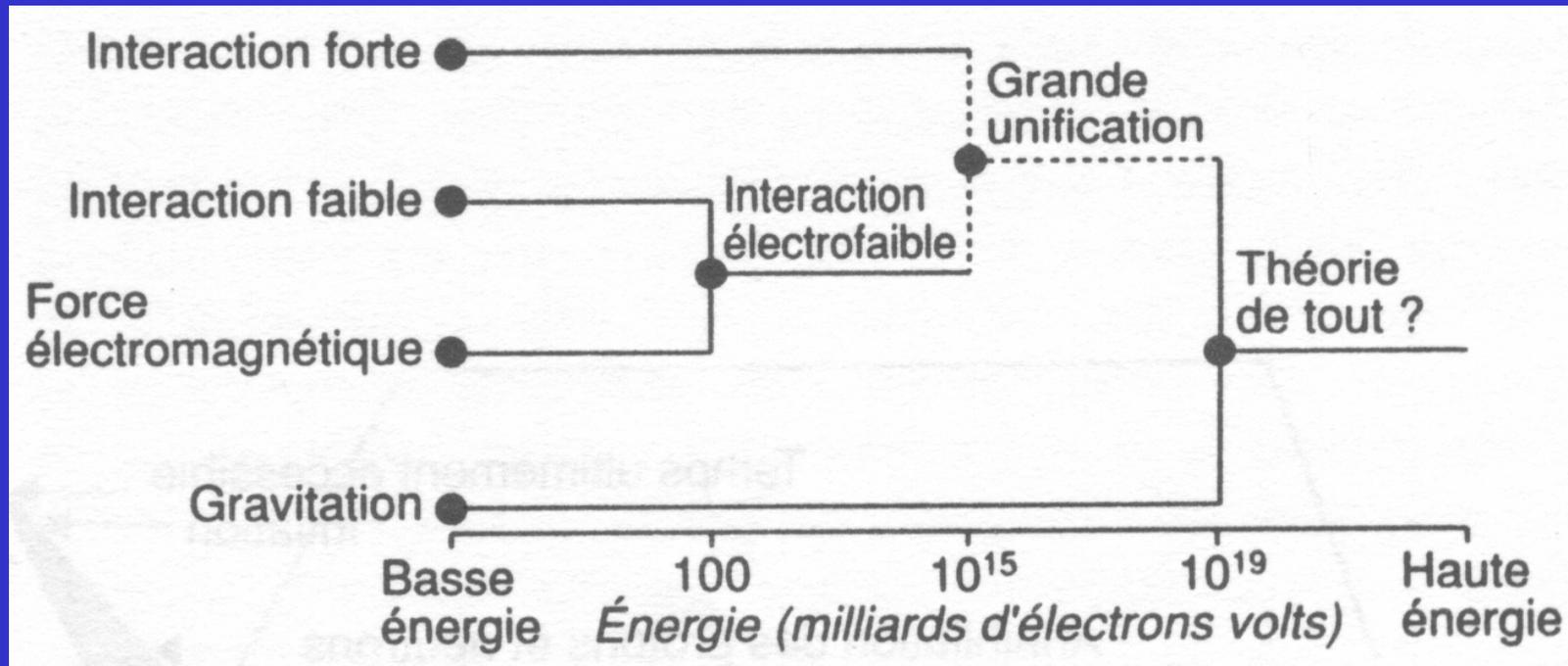
Le photon porte l'électromagnétisme

Les W^+ W^- et Z^0 l'interaction faible

Les gluons sert à relier les quarks

Le graviton serait le messenger de la gravitation

La Théorie Grand Unifiée



Cette théorie unifie l'interaction forte avec la force électrofaible.

Du Vide et de la Création

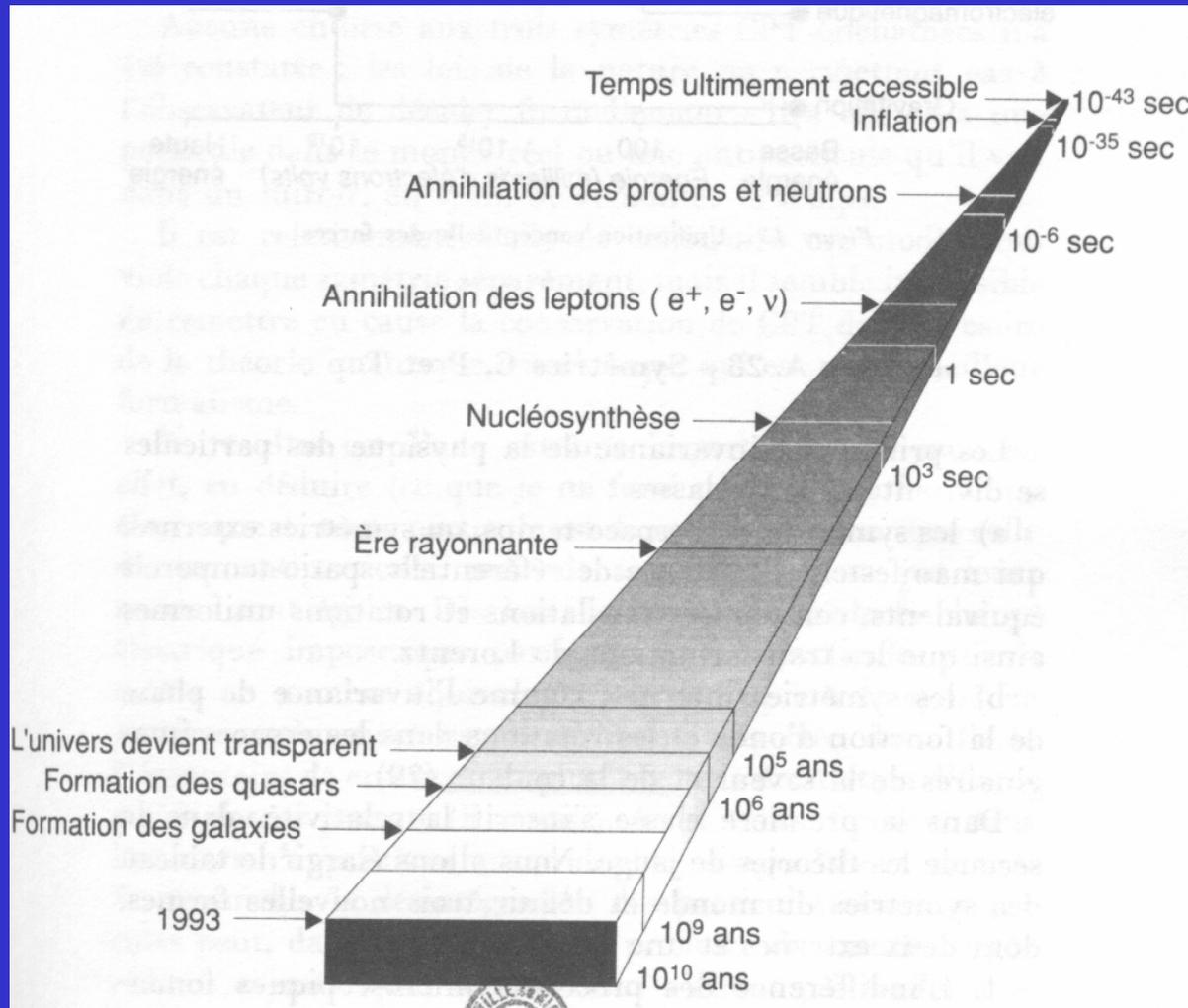
- Le Big-Bang
- La matière dans l'Univers
- Le Chaos Quantique

Le Big Bang

Pourquoi le Big-Bang?

- L'expansion de l'Univers (1929)
- Le Fond Cosmologique (1965)
- La répartition des éléments (1971)
- La distribution des galaxies (1990)

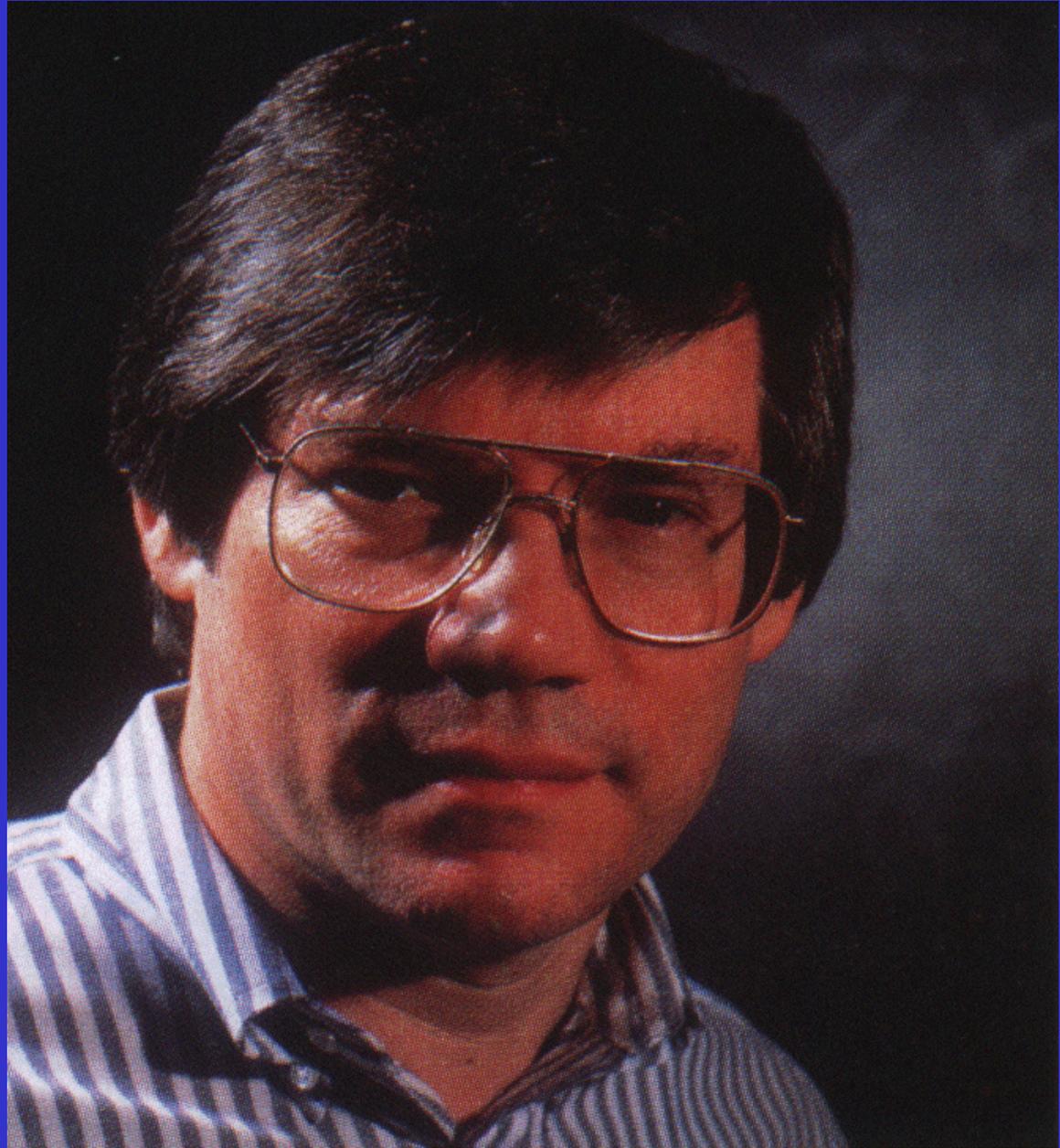
La Remontée dans le temps



En remontant dans le temps l'Univers est de plus en plus chaud et dense

L'inflation

Alan Guth
montre que
la brisure
des forces
conduit à
une
expansion
très rapide
de l'Univers



Le scénario du Big-Bang

- 10^{-43} s La gravité devient indépendante
- 10^{-32} s L'inflation cesse
- 10^{-11} s La force électrofaible se brise pour donner l'électromagnétisme et l'interaction faible
- 10^{-4} s Les quarks se recombinent pour donner les neutrons et protons
- 100 s les protons et neutrons commencent à former des atomes
- $3 \cdot 10^5$ ans l'Univers devient transparent et se remplit de lumière
- 10^9 ans Les galaxies se forment
- $15 \cdot 10^9$ ans Aujourd'hui

Comment la Matière se répartit dans l'Univers

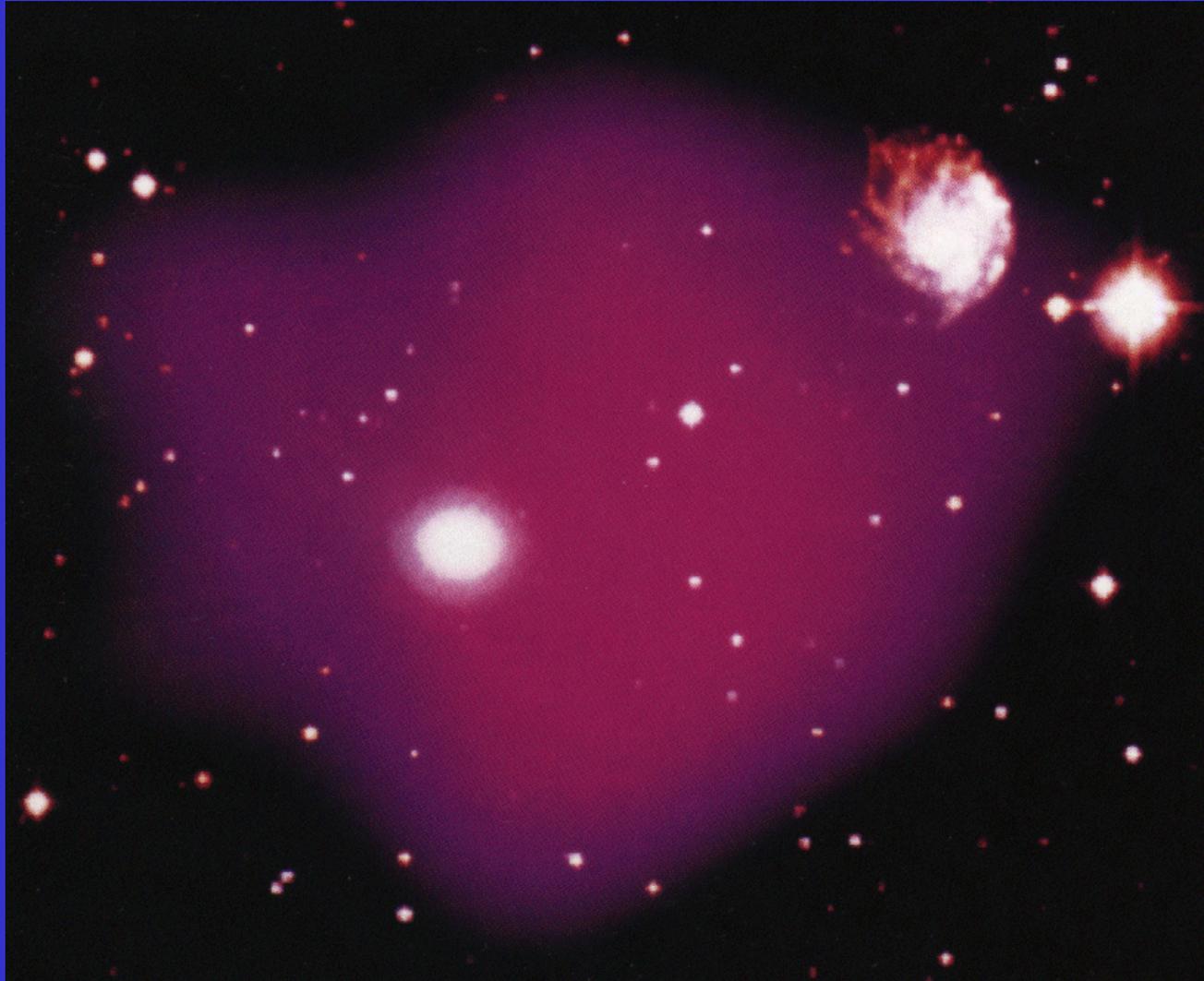
Les pourcentages en fonction de la densité critique

- **Matière Visible 1%**
- **Matière Baryonique 5-15%**
- **Matière Non Baryonique 15-25%**
 - Matière Chaude 5%
 - Matière Froide 5%
- **Densité du Vide 70-80%**

La Matière Baryonique

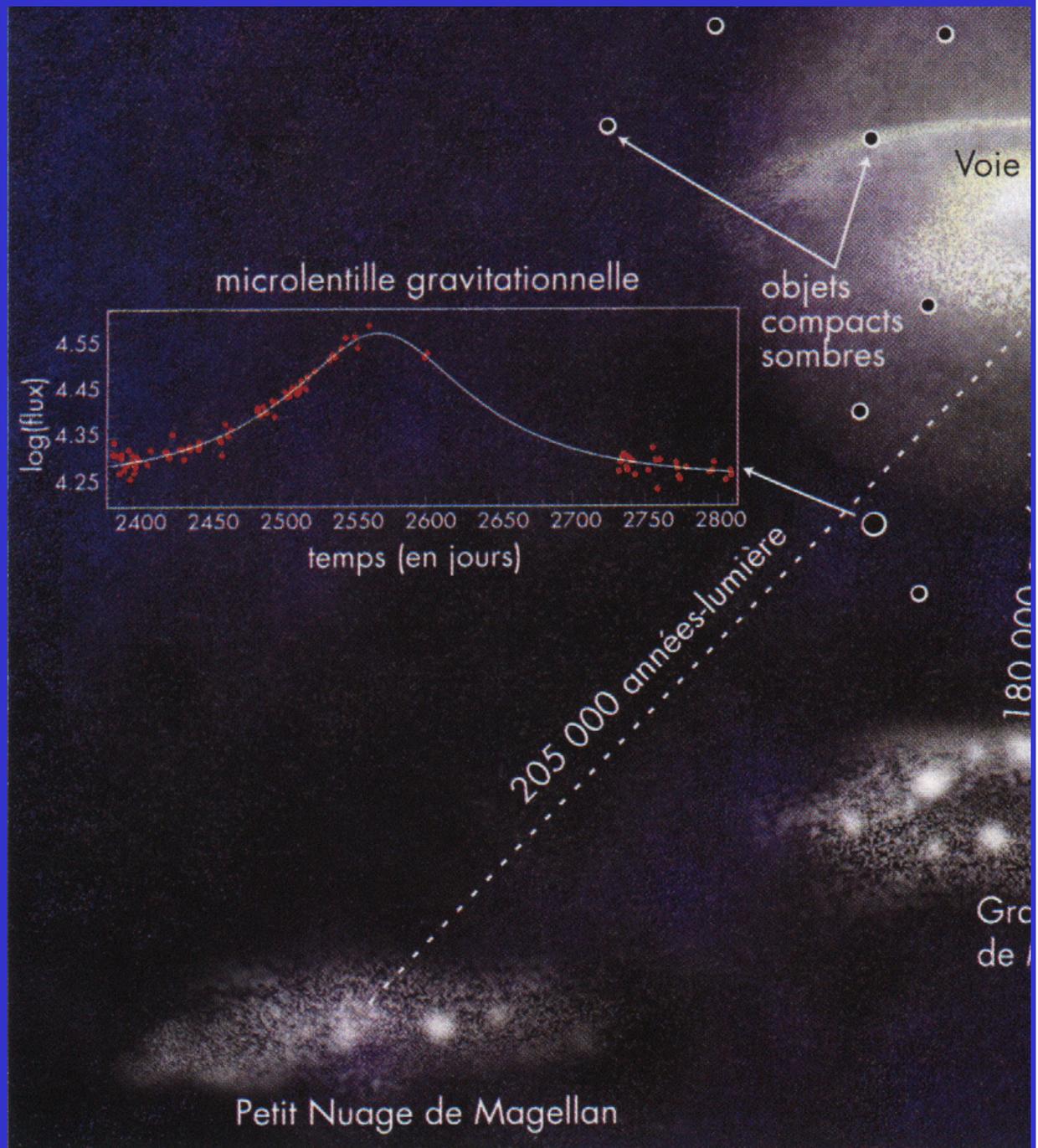
- Son taux est déterminé par la nucléosynthèse primordiale
- Il serait compris entre 5 et 15 %
- La matière visible est de 1%
- Le reste de la matière serait la forme
 - De gaz très froid (hydrogène)
 - D'objets massifs non lumineux

La matière baryonique cachée dans les amas X



La matière baryonique dans les naines brunes

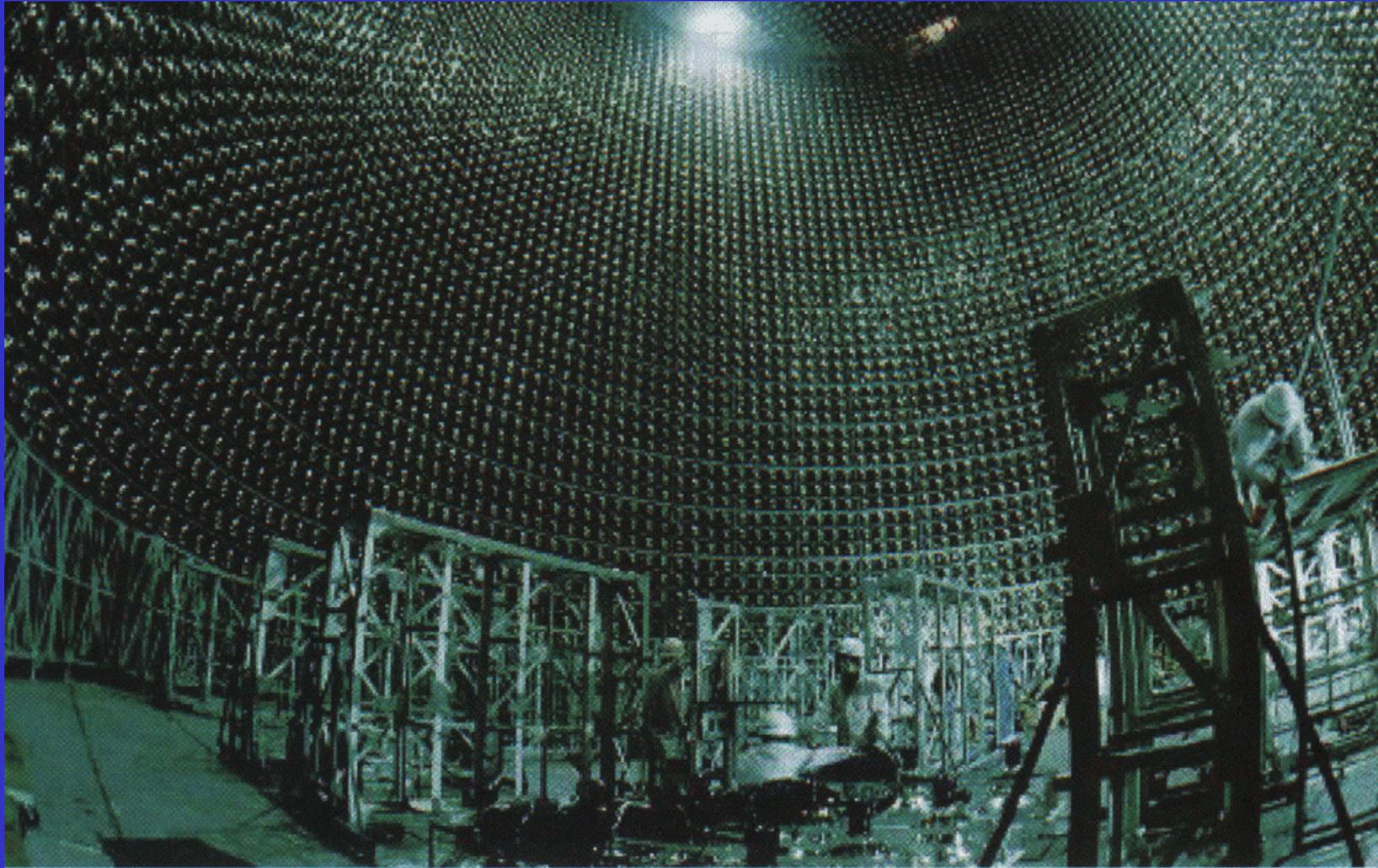
Des objets massifs sont détectés par mirage gravitationnel



La Matière Chaude

- C'est la matière composée de particules allant à une vitesse proche de la vitesse de la lumière
- Il pourrait s'agir de neutrinos massifs
- Elle est responsable des structures à grande échelle de l'Univers
- La densité est de l'ordre de 5%

La masse des neutrinos



C'est avec l'expérience Super Kamiokande que la masse du neutrino tau a été estimée

L'Oscillation des Neutrinos

- Avec Superkamiokande on aurait prouvé l'oscillation des neutrinos
- Un neutrino passerait successivement d'un état tau à un état mu et inversement
- Cela avait été proposé, puis abandonné, pour expliquer le déficit d'un facteur trois des neutrinos solaires

La Matière Froide

- La distribution actuelle des galaxies et la fluctuation du fond cosmologique conduit à une densité de l'ordre de 15% de matière dite froide
- Cette matière aurait très peu d'interaction avec la matière baryonique
- On se perd en conjectures sur la nature de cette matière

La constante cosmologique

- Pour éviter l'expansion de l'Univers Einstein introduit dans les équations une constante dite Cosmologique
- Cela conduit à un phénomène de répulsion proportionnelle à la distance
- Longtemps considérée comme nulle, les observations conduiraient plutôt à une valeur significative

$$\Omega + \Lambda = 1 ?$$

Ω ne peut être égal à 1

Λ peut correspondre au complément pour
obtenir la densité critique

L'Univers serait plat

Le chaos quantique

L'énergie du vide

- Les physiciens des particules ont interprété cette constante Λ comme l'énergie du vide
- Le vide quantique ne peut être un vide mathématique
- A une échelle extrêmement petite (10^{-35} cm) l'espace serait chaotique
- Le chaos du vide quantique serait lié à une structure basée sur les supercordes

La création de la matière par le vide

- Dans la théorie du chaos quantique la matière ne serait que la partie détectable d'une agitation permanente à des échelles extrêmement petites
- «*Avant le Big-Bang*» le vide quantique existe
- Une fluctuation plus importante que les autres a pu entraîner l'explosion et créer notre Univers

Les Univers parallèles

Pour le Russe

Andrei Linde notre
Univers résulte du
chaos quantique

D'autres Univers
parallèles au nôtre
peuvent ainsi
exister



Le Retour de l'Ether

Avec les dernières observations sur les Supernovae lointaines il semble que Λ ne soit pas nulle.

Plusieurs physiciens proposent aujourd'hui d'interpréter cette constante comme due à un milieu aux propriétés solides : la

QUINTESENCE