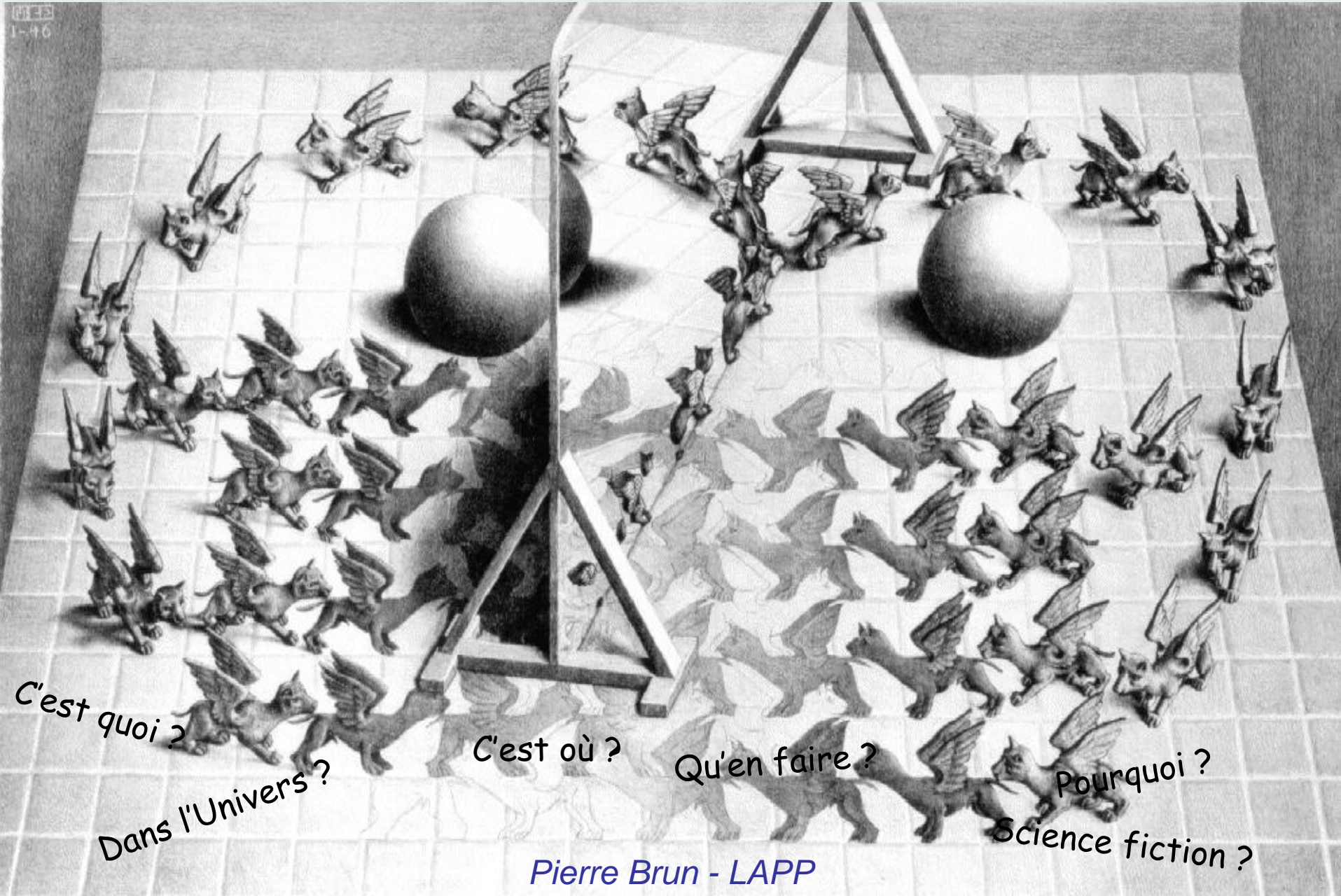


L'antimatière

113
1-46



C'est quoi ?

Dans l'Univers ?

C'est où ?

Qu'en faire ?

Pourquoi ?

Science fiction ?

Pierre Brun - LAPP

Plan de cet exposé

- Historique:
 - Deux grandes théories donnent naissance à un étrange monde parallèle
 - Découverte de l'anti-électron
- Un peu plus sur les propriétés de l'antimatière
 - Symétries en physique des particules
 - Rencontre du 3^{ème} type
 - Finalement, c'est pas bien différent de la matière
- Mais alors :
 - Pourquoi notre Univers semble-t-il asymétrique
 - L'est-il vraiment ?
- Des application ?
 - Pour la santé
 - Pour la recherche fondamentale

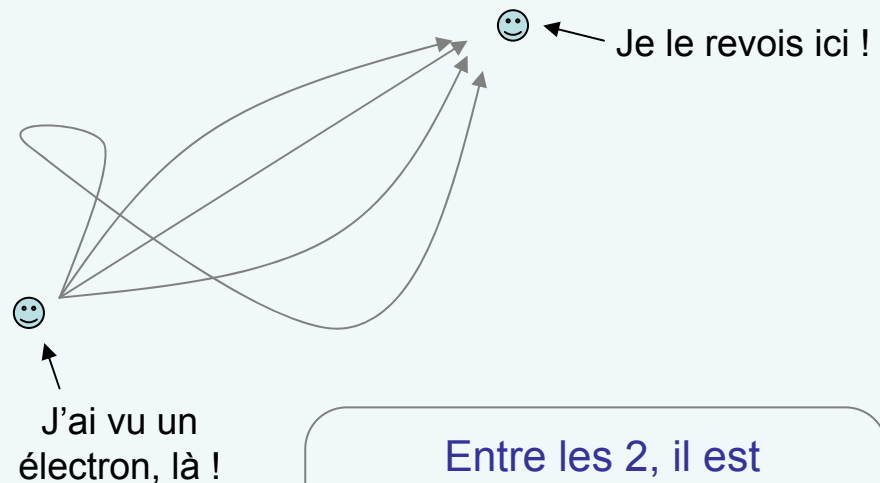
La mécanique quantique ...

Un électron, peut être vu comme une particule,
mais aussi comme une onde

Monde habituel !



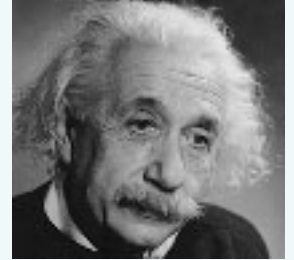
Monde quantique !



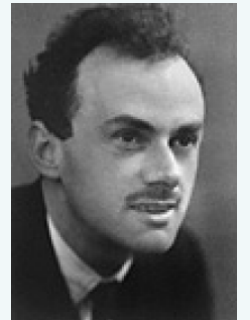
Entre les 2, il est
intrinsèquement impossible
de savoir exactement où
est la particule

... et la relativité restreinte

- 1905, principalement due à Einstein
Révolutionne les concepts de temps et d'espace
Leurs mesures sont relatives aux observateurs
 - C'est Dirac qui réussit en 1928 à unifier les deux
la mécanique quantique (Planck, Bohr, Eisenberg, Pauli, ...)
et la relativité restreinte (Einstein, Poincaré)
- Implication :
Il prédit l'existence d'une nouvelle particule :
 - identique à l'électron
 - mais de charge opposée



A. Einstein



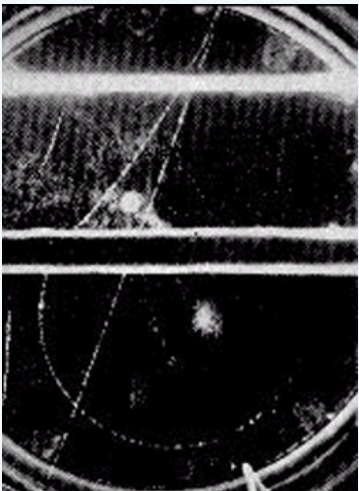
P.M. Dirac

La découverte du positon

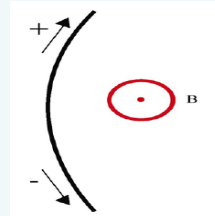
- Dans les années 30, les particules connues sont :
 - L'électron *négatif*
 - Le proton *positif*
 - Le neutron *neutre*

Tout ceci suffit à
construire toute la
matière ordinaire

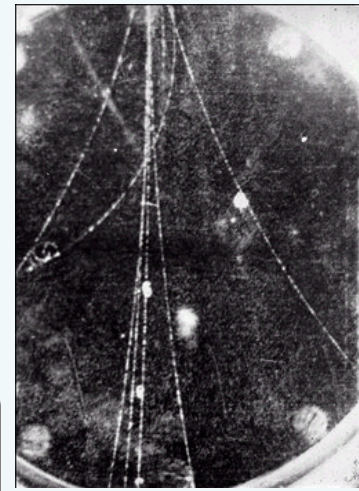
- Les physiciens étudient alors les rayons cosmiques,
des particules qui viennent de l'espace



Clichés obtenus par C. Anderson dans
un chambre à brouillard en 1933



On y voit une particule de même masse que
l'électron mais déviée dans le sens inverse !

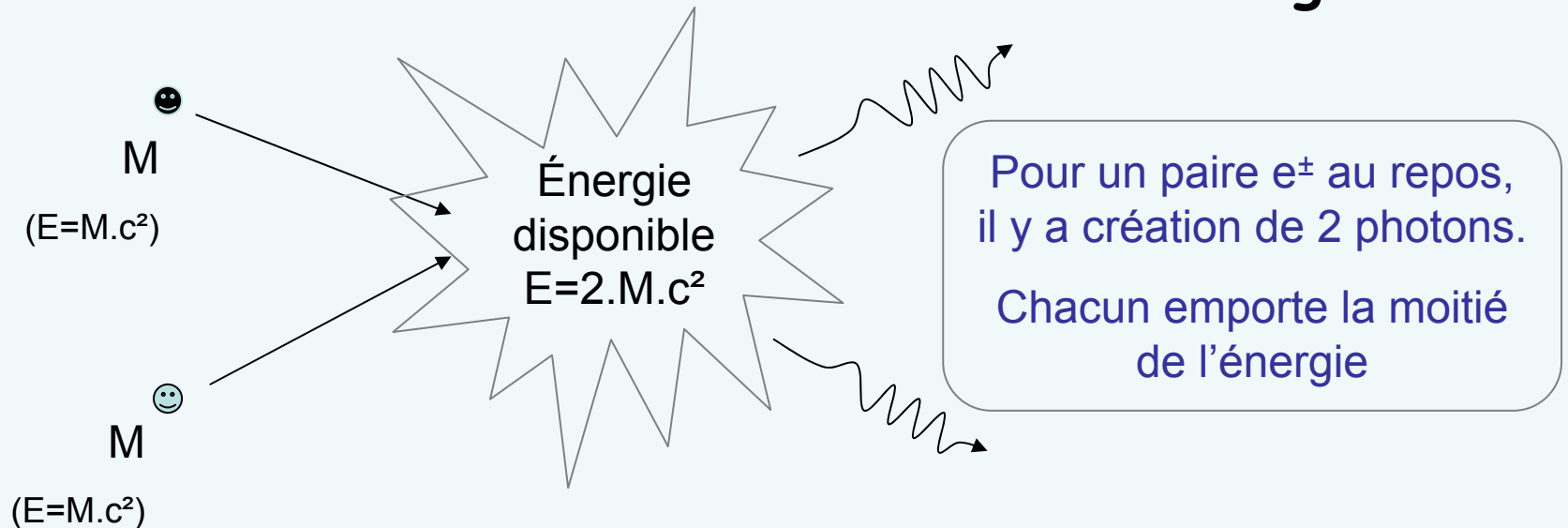


Tout un monde parallèle

Toutes les particules connues ont leur analogue en antimatière :

- Protons / antiprotons
- Neutrons / antineutrons
- Pions, kaons, neutrinos, quarks, ... / anti -tout ça !

La rencontre de la matière et de l'antimatière conduit à
la conversion totale de la masse en énergie



Petit résumé historique

- 1932 : positon
- 1956 : antiproton
- 1960 : antineutron
- 1965 : antideuton (D=pn)
- 1996 : Synthèse de l'atome d'anti-Hydrogène ($\bar{p}+e^+$)

Ce que l'on a appris :

- même masse
- même spin
- mêmes interactions
- charge opposée

- 3029 : Rencontre avec une intelligence extra-terrestre
 - Besoin de comprendre parfaitement les propriétés de l'AM
 - Nécessité d'être sûrs de savoir s'ils sont constitués de matière
 - 1 chance sur 2 qu'ils soient en antimatière (?)

Dialogues du 3^{ème} type : cf. cours de Feynman

Supposons que nous ayons en ligne un être d'ailleurs ...



S. Hawking

ALLO ?

GUFDIJMMH ?



M. Bubul et X. Zoefiaef

Afin d'être sûrs de ne pas s'annihiler avec nos nouveaux amis, un éminent physicien serait désigné pour échanger nos information

Nous communiquerons :

- notre taille
- notre masse
- une description de notre aspect
- ...

Aucune référence commune



Recherche d'étalons communs

Dialogues du 3^{ème} type

- Combien mesurez vous ?

- Environ 1m70

→ 17.000.000.000 (= $1,7 \cdot 10^{10}$) de fois la taille d'un atome d'Hydrogène

- Quelle est typiquement votre masse ?

- De l'ordre de la dizaine de kilogrammes

→ 10^{28} fois plus qu'un atome d'Hydrogène

- Votre aspect ?

- 2 sphères au milieu de la figure, des excroissances avec 5 renflements aux extrémités, ...

- Comment êtes-vous faits, à l'intérieur ?

- Le cœur a telle forme, il est sur la gauche

Problème :

La gauche ?



Dialogues du 3^{ème} type

- Combien mesurez vous ?

- Environ 1m70

→ 17.000.000.000 (= $1,7 \cdot 10^{10}$) de fois la taille d'un atome d'Hydrogène

- Quelle est typiquement votre masse ?

Cette question va nous permettre de savoir si nos nouveaux amis sont faits de matière ou d'antimatière

- Votre aspect

2 sphères au milieu de la figure, des excroissances avec 5 renflements aux extrémités, ...

- Comment êtes-vous faits, à l'intérieur ?

- Le cœur a telle forme, il est sur la gauche

Problème :

La gauche ?

Les particules ne sont pas ambidextres!

En fait le passage matière \rightarrow antimatière est indissociable d'une autre transformation :

Le passage de la gauche à la droite

==

Réflexion dans un miroir

Anti-Droite \Leftrightarrow Gauche

Anti-Gauche \Leftrightarrow Droite

Rencontre du 3^{ème} type



Nous aurions défini la droite et la gauche

à partir d'une expérience physique

Un lieu de rendez-vous serait convenu

quelque part dans le vide interstellaire

En signe d'amitié, nous nous serrons la « main »

la main droite !



**Alors attention : s'il
tend la main gauche,
prudence !!!**

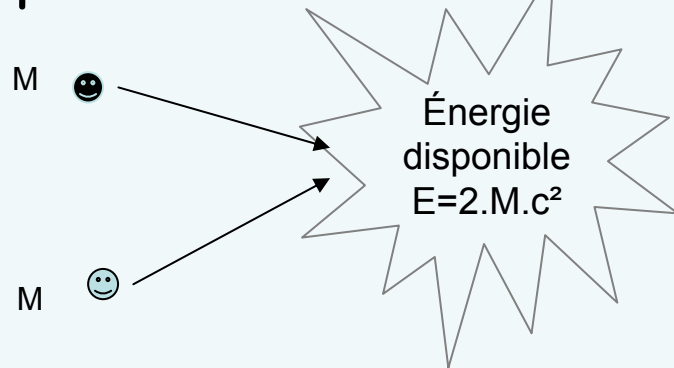


A présent nous savons distinguer le cas où nos amis sont faits de matière de celui où ils sont faits d'antimatière

Mais y a-t-il réellement 1 chance sur 2 pour qu'ils soient d'un type ou de l'autre ?

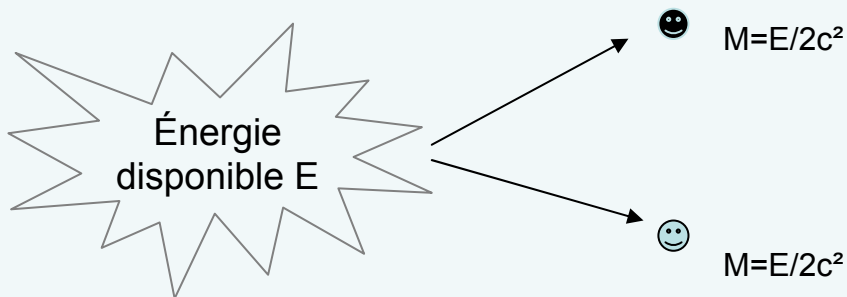
Production d'antimatière

- Rappel : l'annihilation matière - antimatière



Le processus inverse est aussi possible !

- Production d'antimatière au laboratoire :

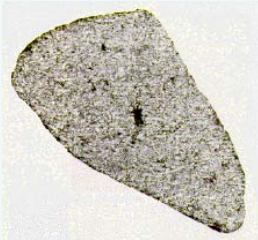


Chaque particule d'antimatière produite est toujours accompagnée d'une particule de matière

Cela pose un problème en cosmologie

Notre monde de matière

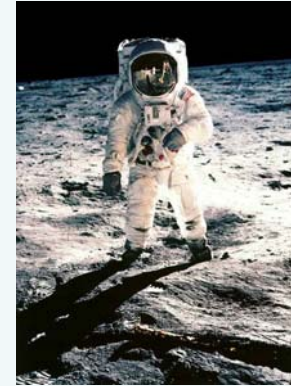
- **Tout ce qui constitue notre système solaire est fait de matière**



Les météorites sont faits de matière

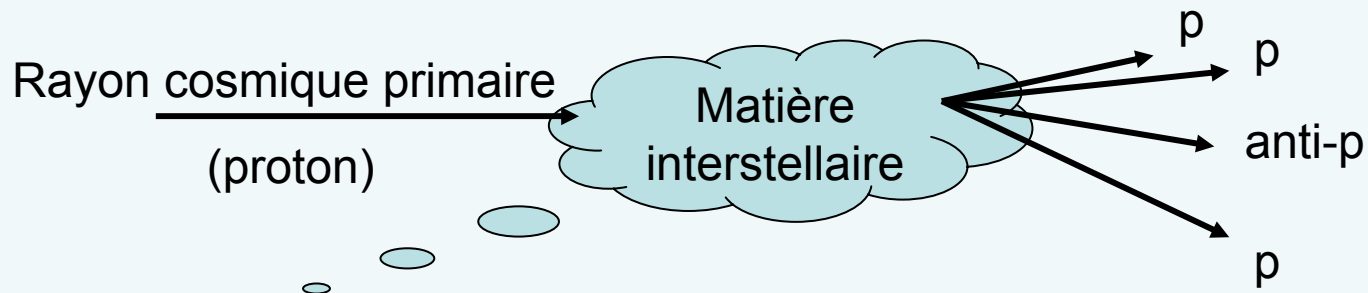


Les sondes martiennes sont restées intactes



Les américains ne se sont pas annihilés sur la lune

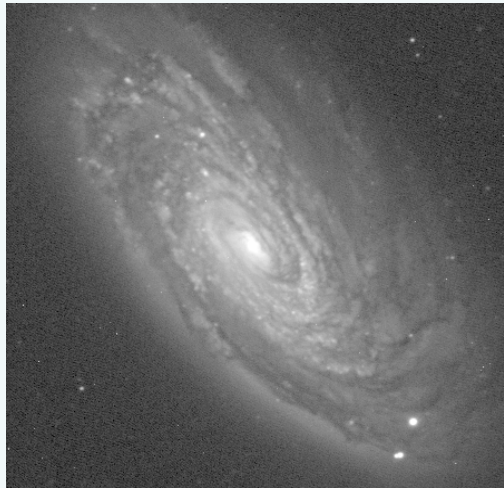
- **Les rayons cosmiques sont en majorité des particules de matière**
Les particules d'antimatière sont vraisemblablement secondaires



Lumière sur le Cosmos

- **Le photon est sa propre antiparticule**

→ en observant une galaxie lointaine, on ne sait pas si elle est constituée de matière ou d'antimatière



- **Mais alors :**

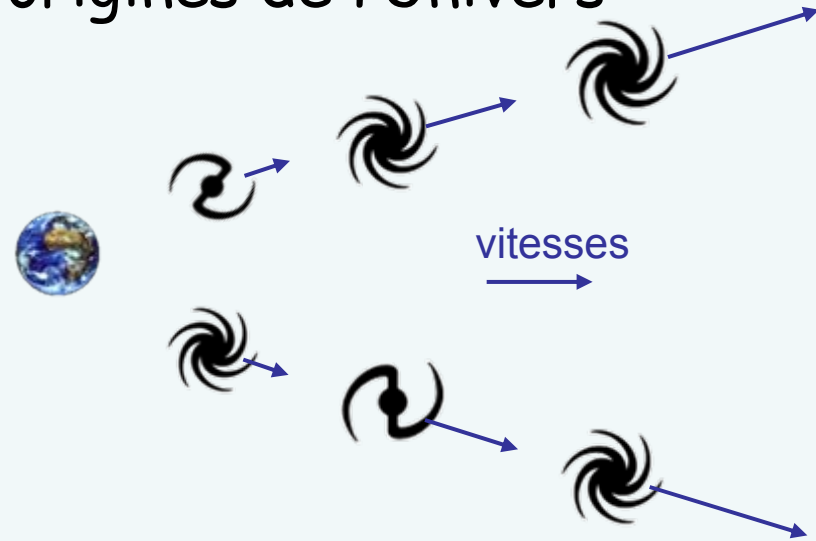
- Sont elles en antimatière ?
- Pourquoi dit-on que l'on sait qu'elles sont faites de matière ?
- Finalement, où est le problème du point de vue cosmologique ?

L'expansion de l'Univers

Le « problème » est lié aux origines de l'Univers

Loi de Hubble :

Tous les objets s'éloignent de nous
Dans toutes les directions

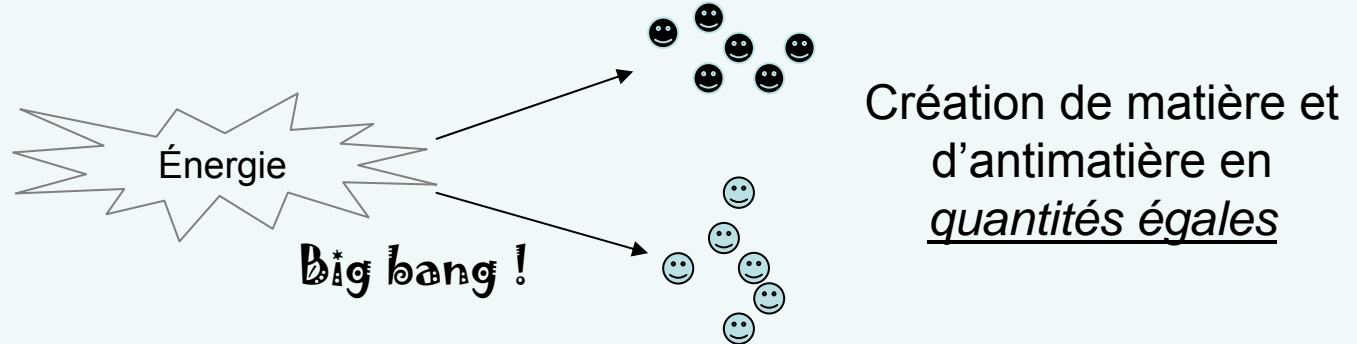


Il semble donc que tout l'Univers fut petit il y a longtemps
toute la matière (et l'antimatière?) était au même endroit

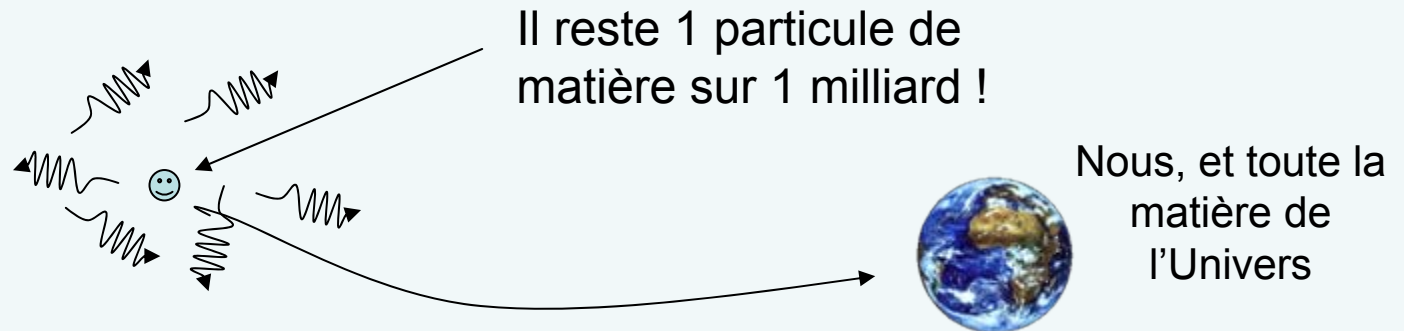
**Si aujourd'hui les galaxies sont éloignées les unes des autres,
cela n'a pas toujours été le cas**

Le Big Bang

- Au tout début de l'Univers :



- Un pouillème de seconde après :

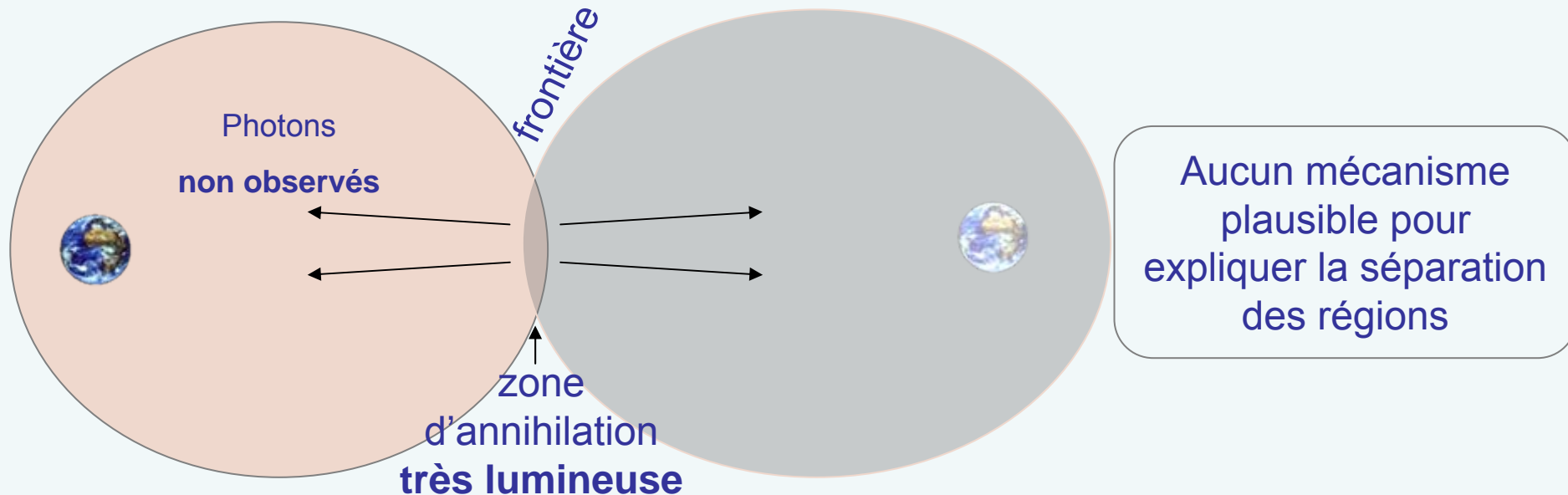


- Comment se fait-il que tout ne se soit pas annihilé ?

Le problème est encore irrésolu ! On a de nombreuses pistes ...

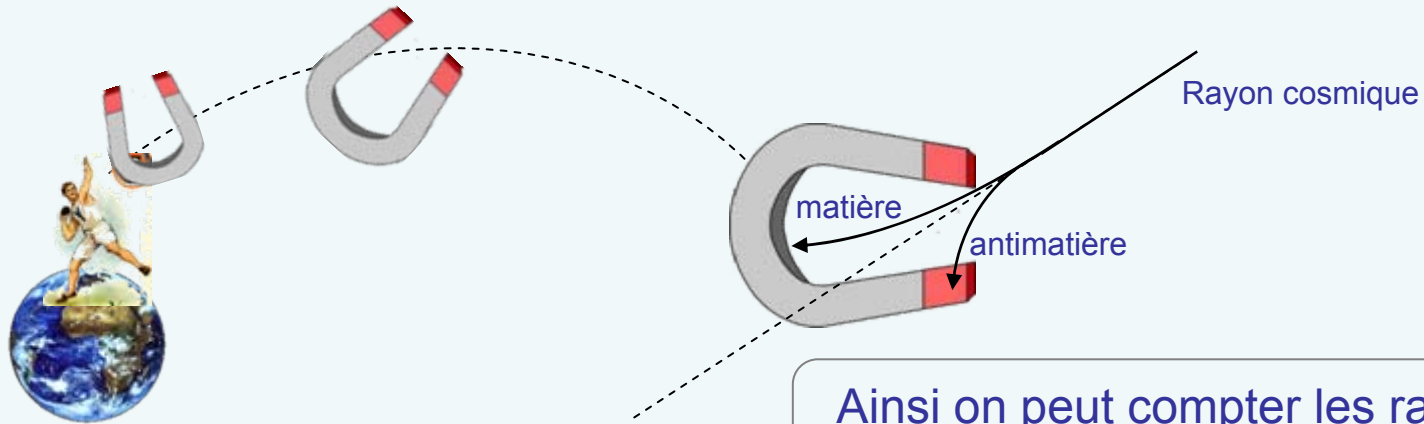
Alternatives

- L'asymétrie date de l'origine : le big bang n'a pas créé d'AM
Peu satisfaisant : contradiction avec toutes les expériences
- L'antimatière existe toujours dans des régions séparées
 - Mais : on observe pas les résidus d'annihilations



La recherche d'antimatière cosmique

- Les particules venant de l'espace interagissent avec l'atmosphère
- Pour observer de l'AM dans l'espace, il « suffit » d'y envoyer un aimant



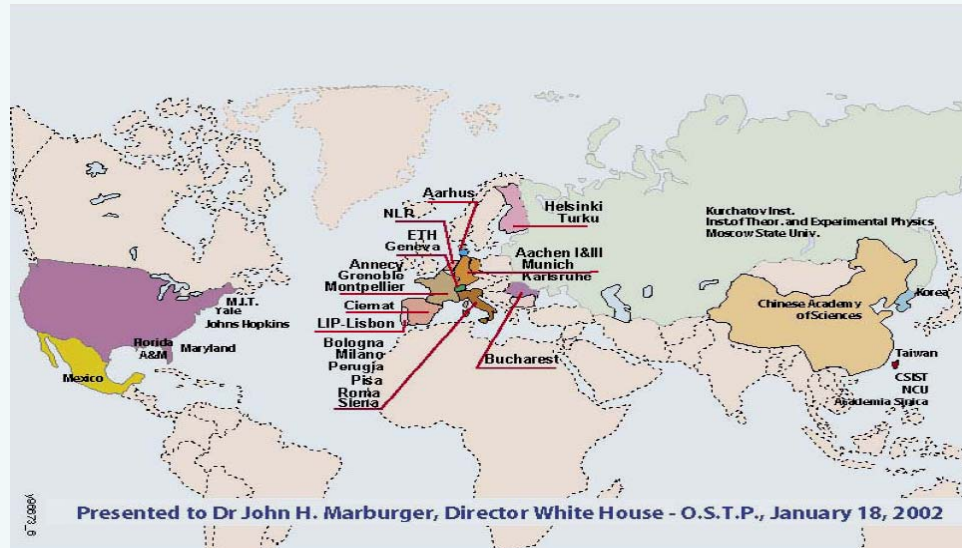
Ainsi on peut compter les rayons cosmiques et les trier par types

- C'est ce que l'on fait !

L'expérience **AMS** (**A**lpha **M**agnetic **S**pectrometer) à laquelle participe le LAPP est conçue pour l'observation de l'antimatière cosmique

La collaboration AMS

- Collaboration internationale d'une vingtaine de pays

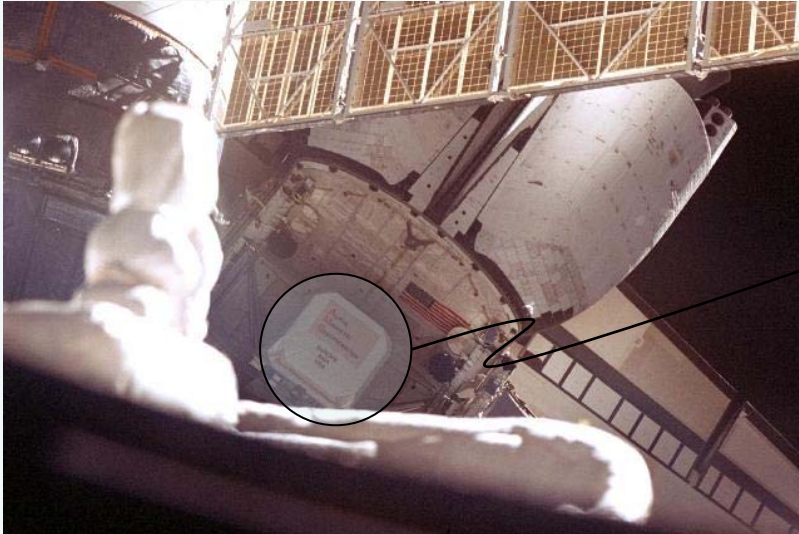


En France : Anney, Grenoble, Montpellier
Implication importante des industries

- Lancement et orbite assurés par la NASA
 - AMS01 : 10 jours en 1998
 - AMS02 : 3 ans sur la Station Spatiale Internationale en 2008

AMS-01 : vol prototype

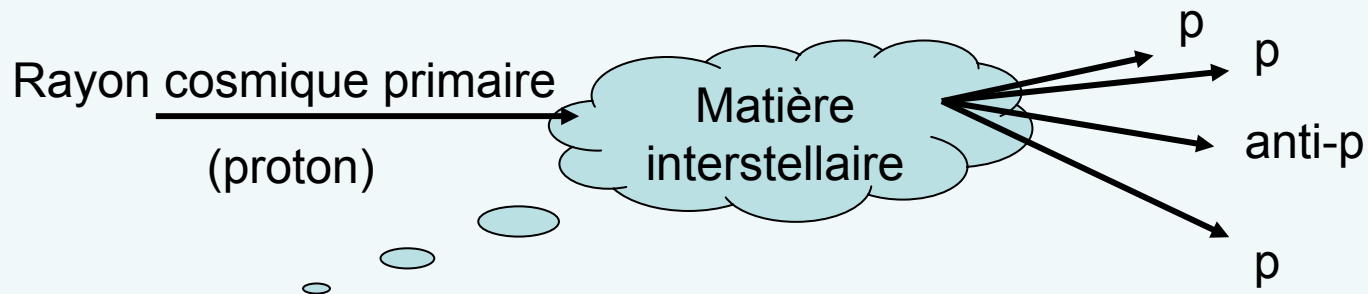
- Juin 1998 : vol de 10 jours à bord de Discovery



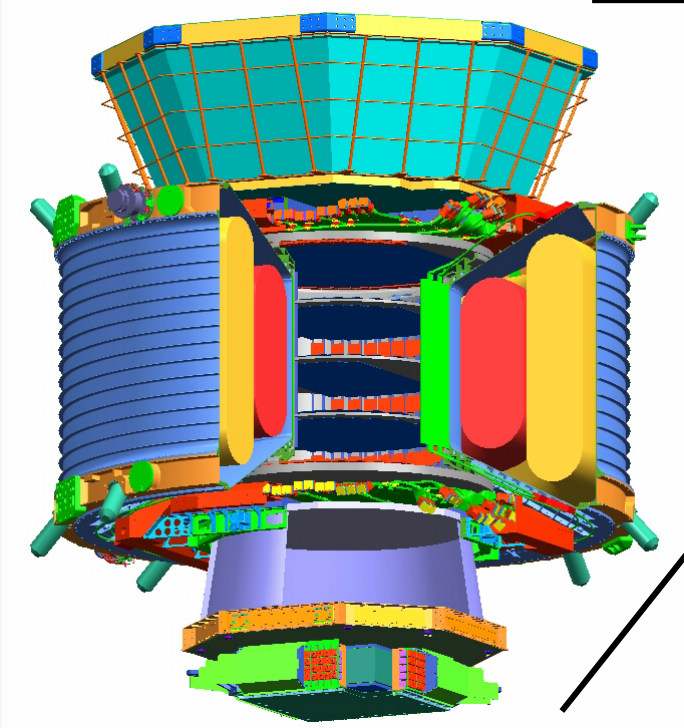
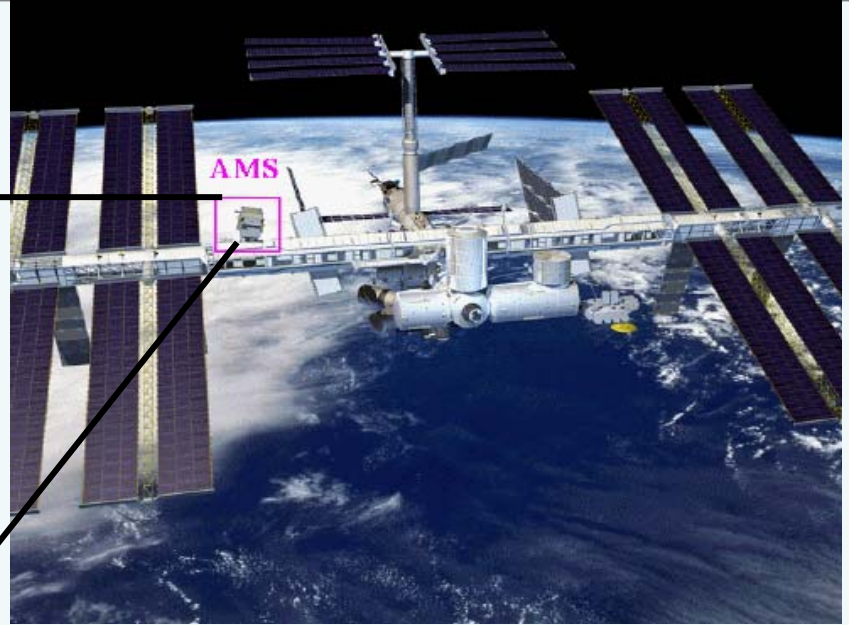
AMS01



Présence d'antimatière en quantité compatible avec ce scénario:



AMS-02

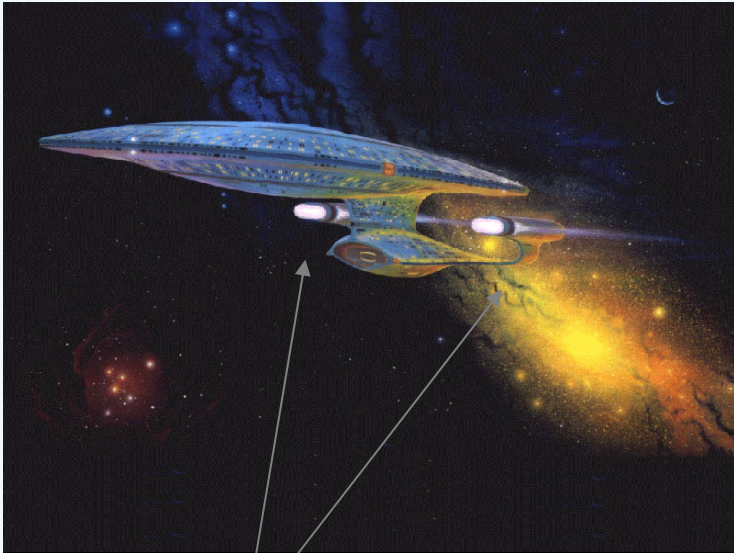


Beaucoup plus performant et précis !

Lancement en 2008 !!!

Applications ?

Le moteur à antimatière ?

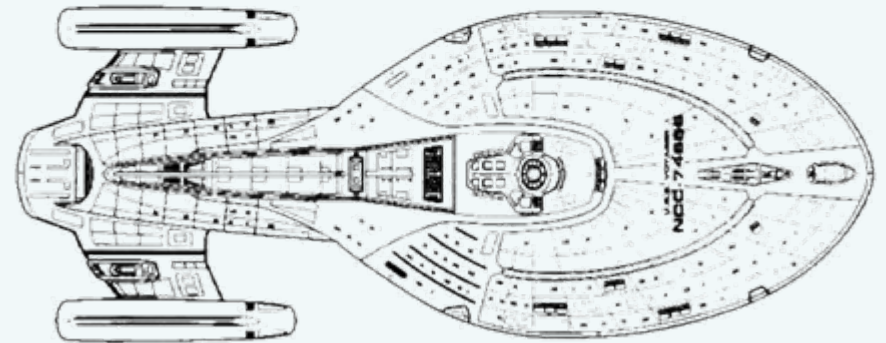


Moteurs à antimatière

USS VOYAGER
NCC-74656



Designed by Rick Sternbach
Orthographic Views by Doug Cramer
© 1994 Paramount Pictures Corp.



Avec la technologie actuelle :

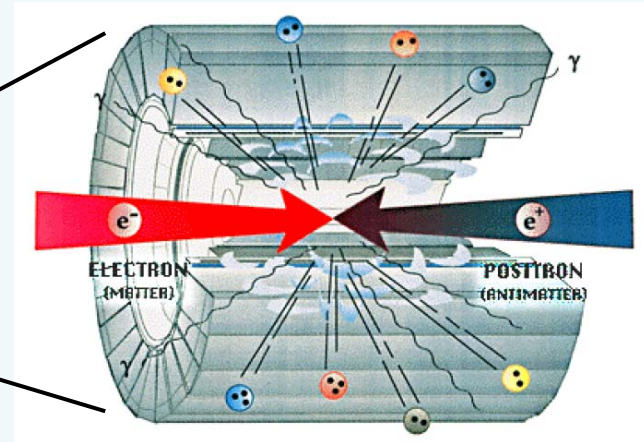
- Efficacité :
- production : 0.00000001 %
 - stockage : 1 %

Encore du travail :

Tous les antiprotons
produits au CERN
permettraient d'allumer
une ampoule de 100 W
pendant 3 s

Pour la recherche de nouvelles particules

- De 1989 à 2000, le LEP produit des particules instables



→ de nombreux résultats d'une précision inégalée

- Au TeVatron (Chicago)



→ Découverte du dernier quark en 1996 : le top dans des collisions protons-antiprotons

Bientôt le LHC au CERN !

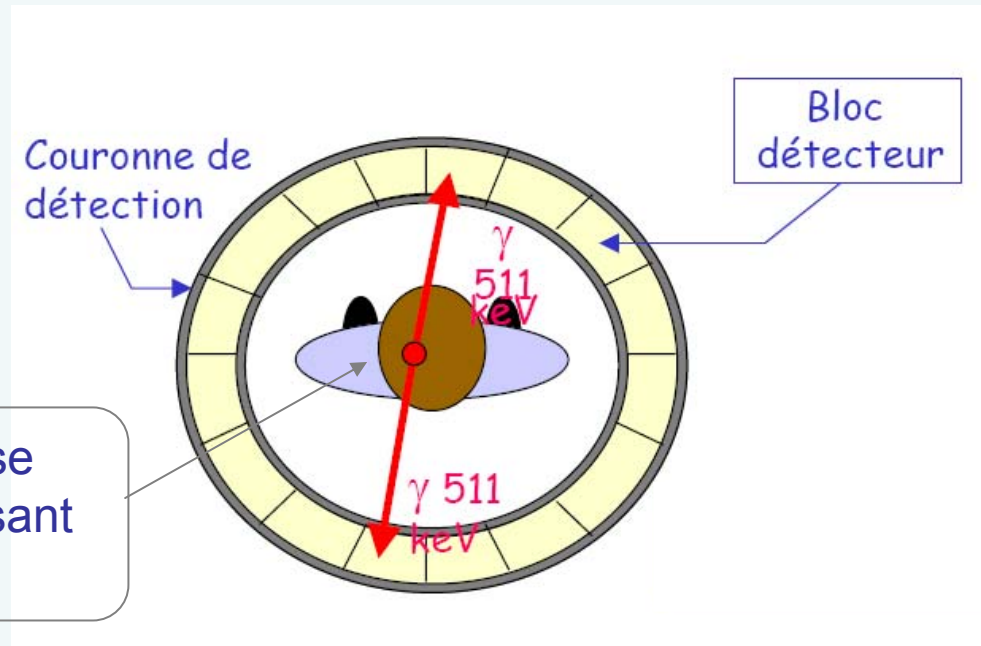
Collisions proton-proton

41°50' N

88°15' O

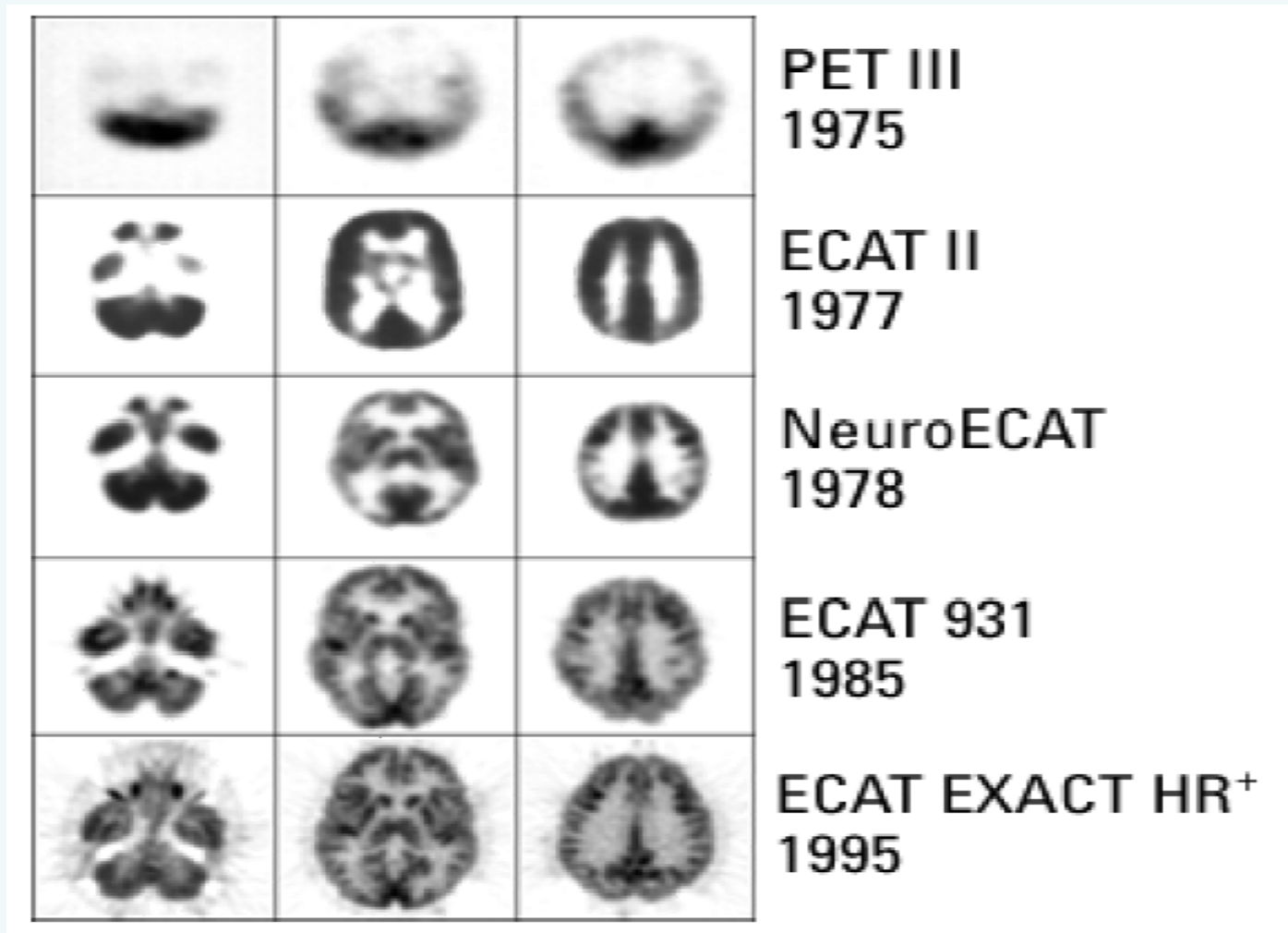
Applications médicales

La Tomographie à Émission de Positons



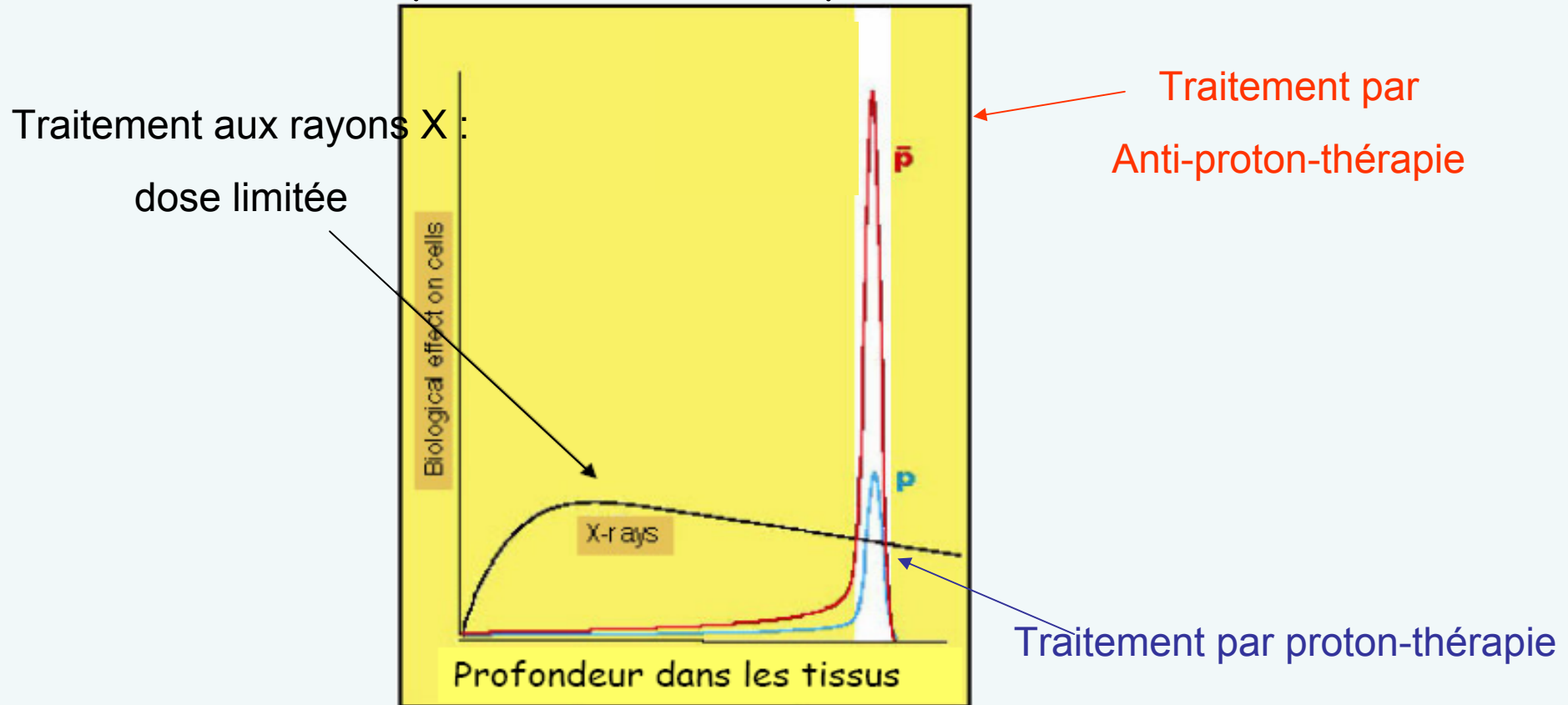
Applications médicales

On cartographie ainsi l'activité du produit introduit



Applications médicales

- Hadronthérapie avec des antiprotons



Comme les protons, on cible mieux

Annihilation \rightarrow plus de cellules malades détruites

Conclusions

L'antimatière n'est pas de la science fiction

Elle n'en est pas moins fascinante

- découverte théoriquement puis observée
- utilisée pour
 - l'imagerie médicale
 - le traitement des tumeurs
 - la recherche de nouvelles particules
- elle pourrait apporter des réponses aux grandes questions de la physique moderne