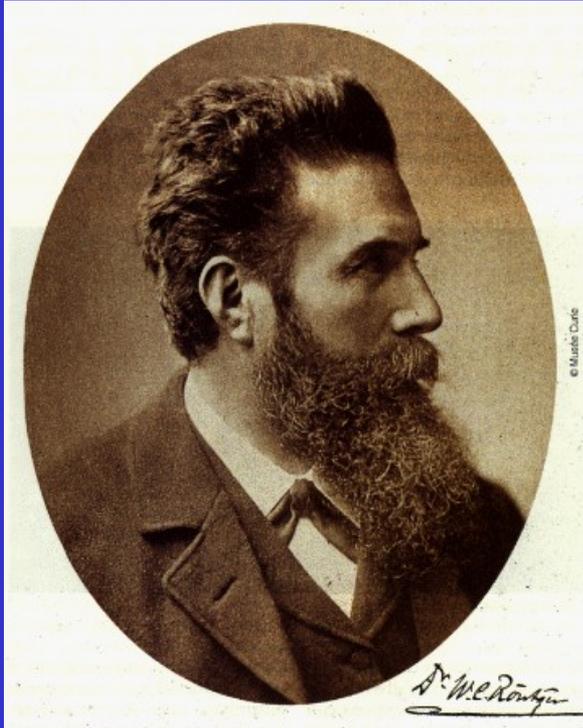


De la Physique du neutrino



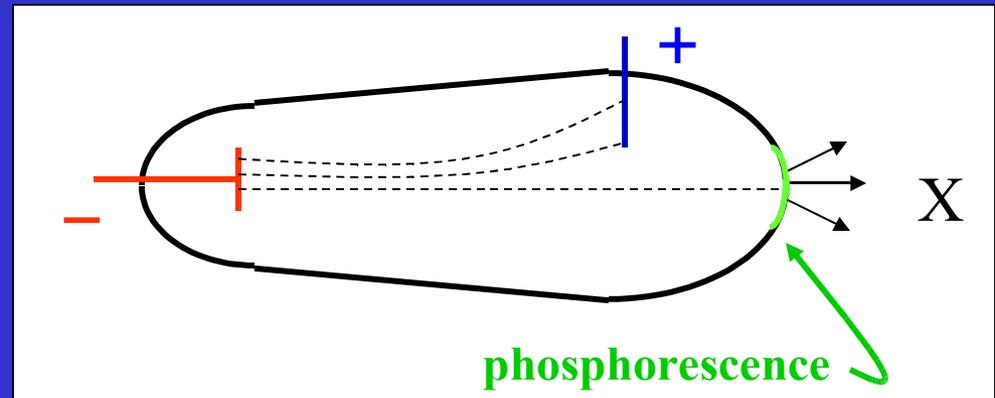
... à la datation du vin

Prehistoire du neutrino



1895 W. C. Roentgen

Découverte des rayons X



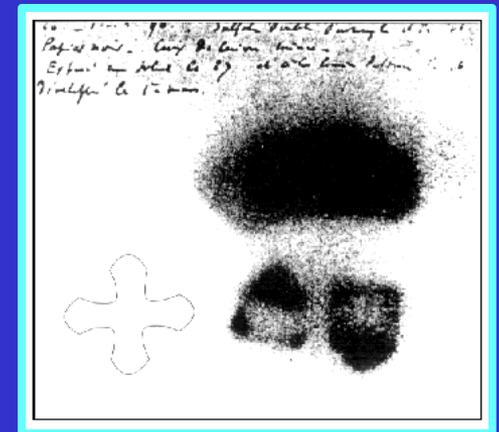
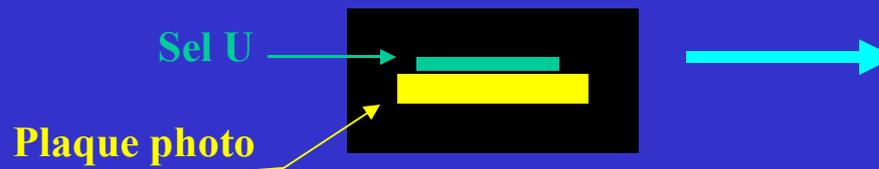
Une histoire de famille



1896 Henri Becquerel

- Antoine Cesar Becquerel
Pr. Museum Sciences, Paris
- Edmond Becquerel
Pr. Museum Sciences, Paris
- Henri Becquerel
Pr. Museum Sciences, Paris
- Jean Becquerel
Pr. Museum Sciences, Paris

Sel d'Uranium phosphorescence



Un bon sujet de thèse



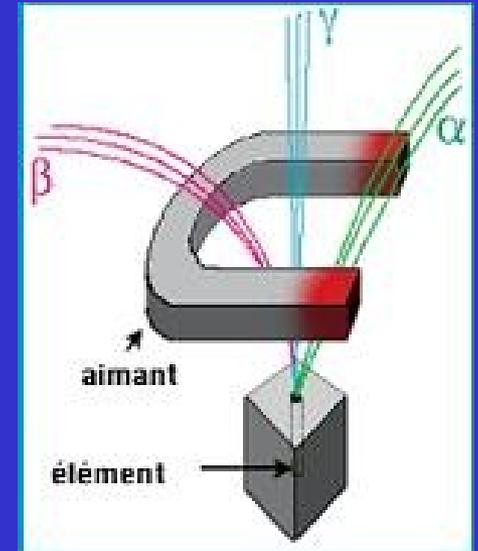
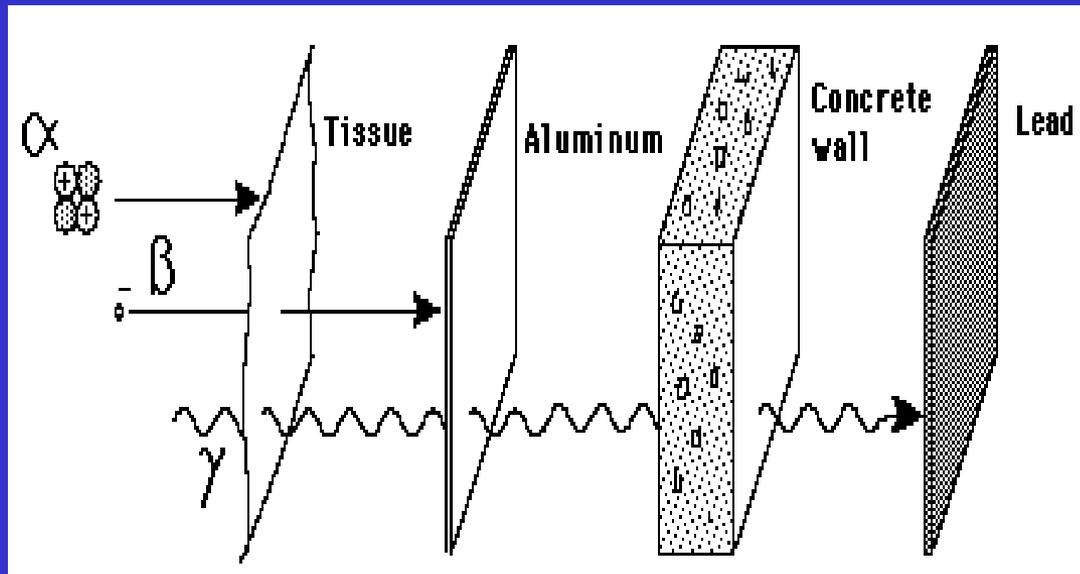
1898 Pierre et Marie Curie

Radiochimie

{ Polonium
Radium

Qu'est ce que la radioactivité ?

1914 Trois type de radiations :



α noyau d'He
 β : electron
 γ : photon

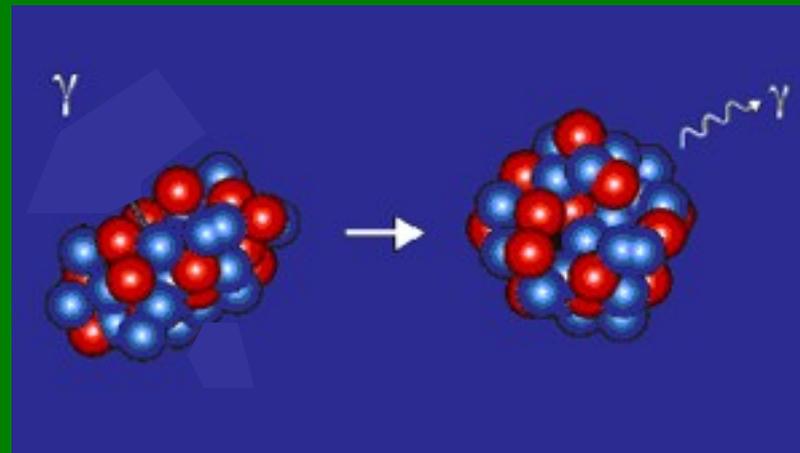
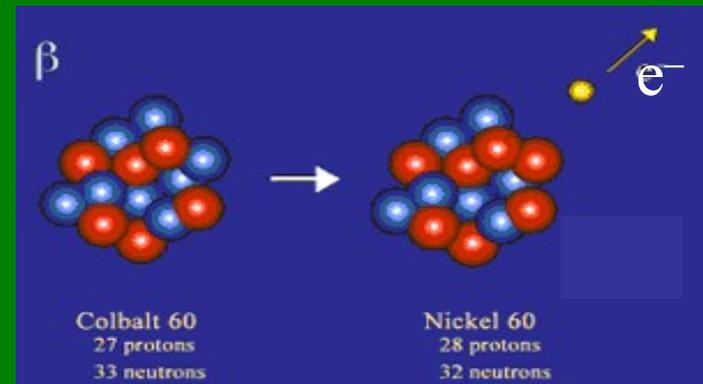
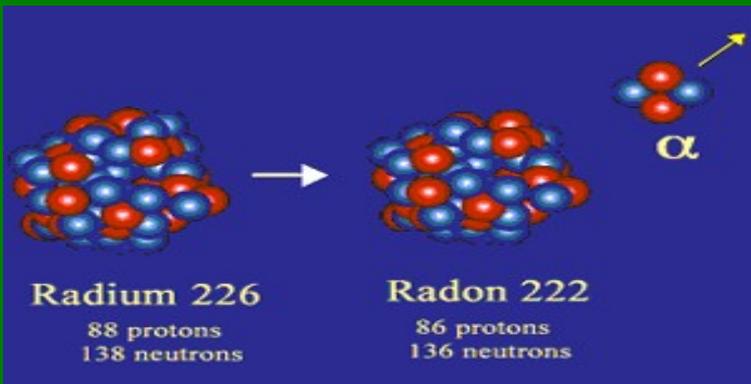
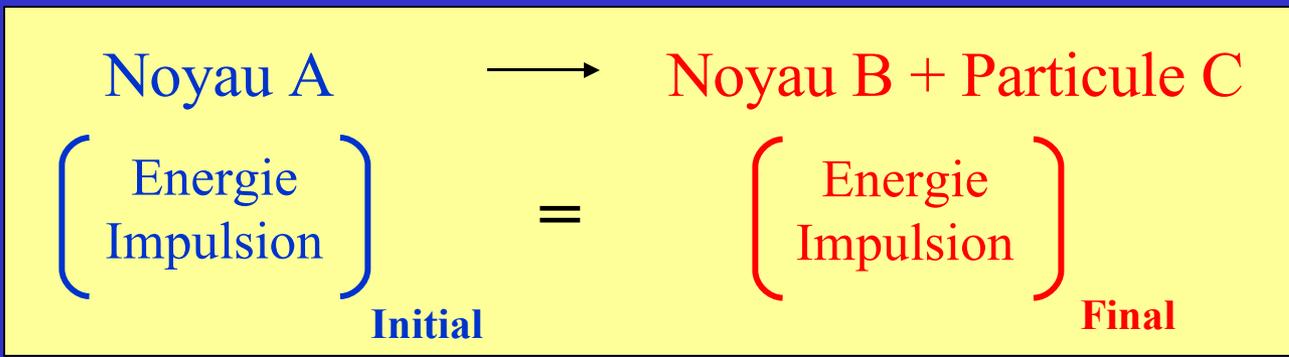


Schéma général

Noyau A \Rightarrow Noyau B + Particule C

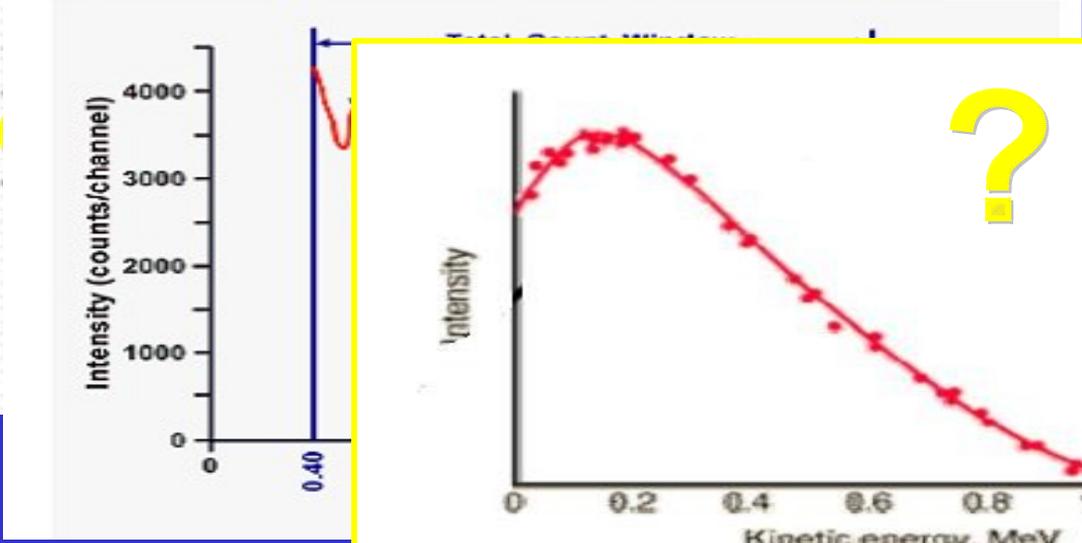
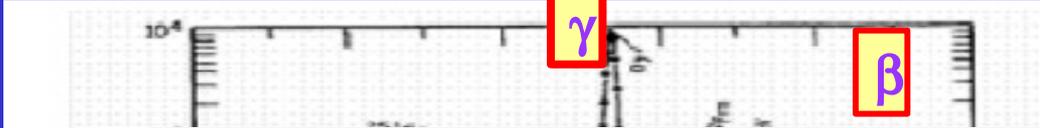


Energie discrete pour C

α

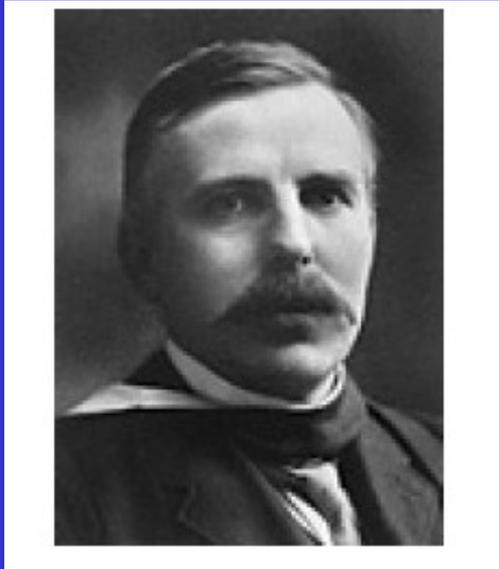
γ

β



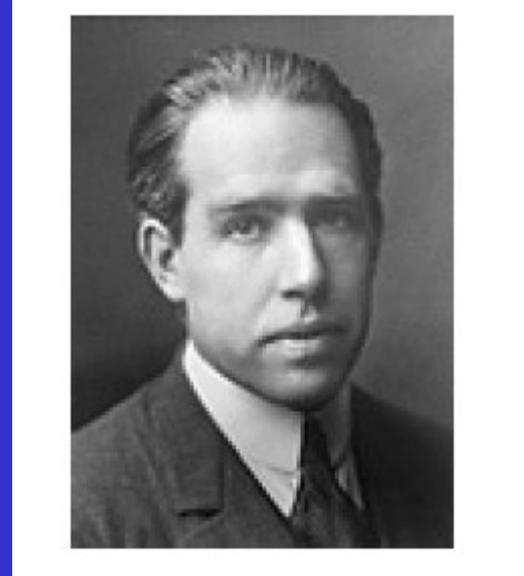
ENERGIE

Les mauvaises idées des grands génies



Rutherford :

“Les électrons perdent de l'énergie dans l'échantillon”



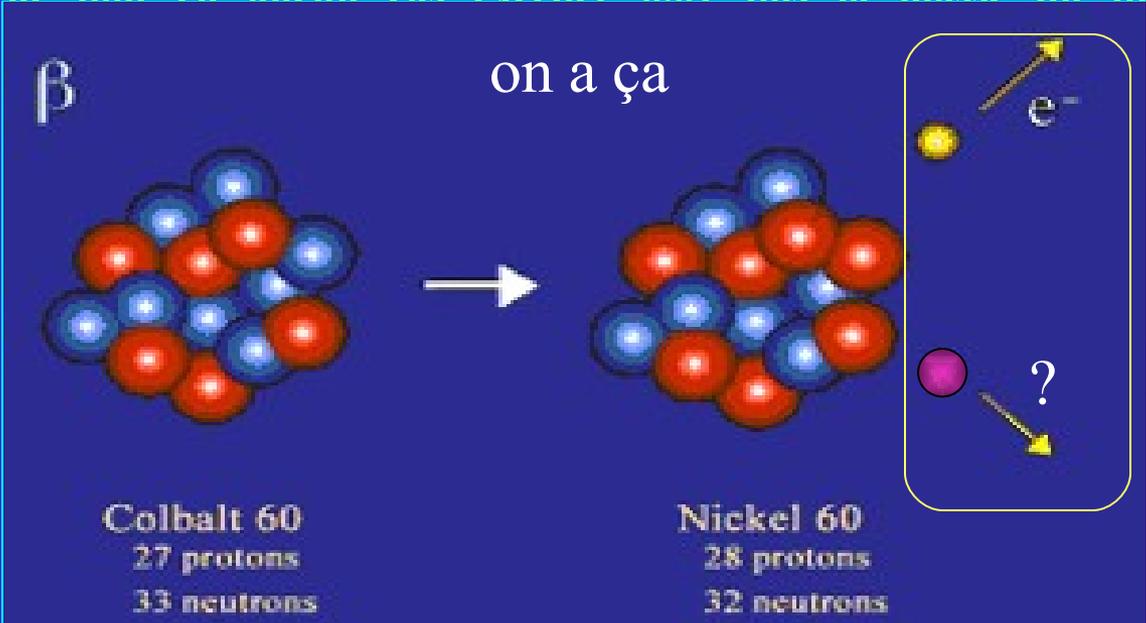
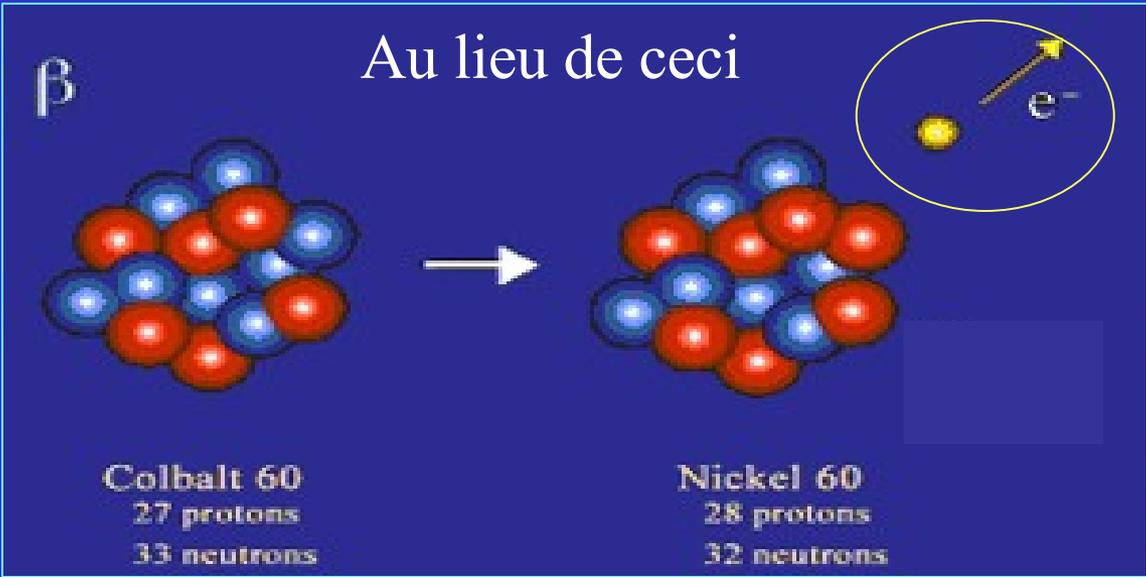
Bohr

“L'énergie n'est pas conservée dans la décroissance β ”

Chronique d'une idée désespérée



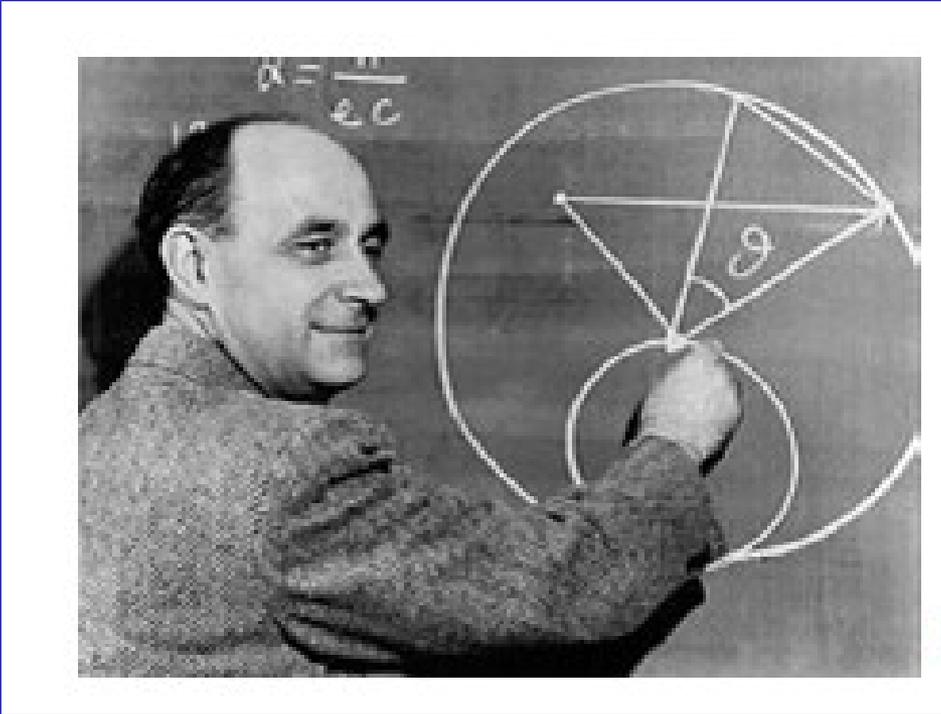
W. Pauli



de cette
es noyaux
espéré
Il s'agit
res de spin
tons parce
appelle

de grandeur que celle des électrons et
ne doit en aucun cas excéder 0.01 fois la masse du proton. Le spectre bêta serait alors
n bêta, avec chaque électron est émis
et de électron soit constante...
aurait du voir ces neutrons bien plus
la gravite de la situation, due a la nature
honoré prédécesseur, monsieur
ix ne pas y penser du tout, comme
usement toute voie d'issue. Ainsi, cher
pourrai pas être moi-même a
aura lieu pendant la nuit du 6 au 7

Une théorie de la désintégration β



1934 Fermi

Neutron \Rightarrow **Proton** + **electron** + **neutrino**

La longue quête du neutrino

1930 Hypothèse de Pauli

-
- Le neutrino est totalement admis
- mais jamais détecté
-
-

1952 – 1956 découverte du neutrino (électronique)



Fred Reines

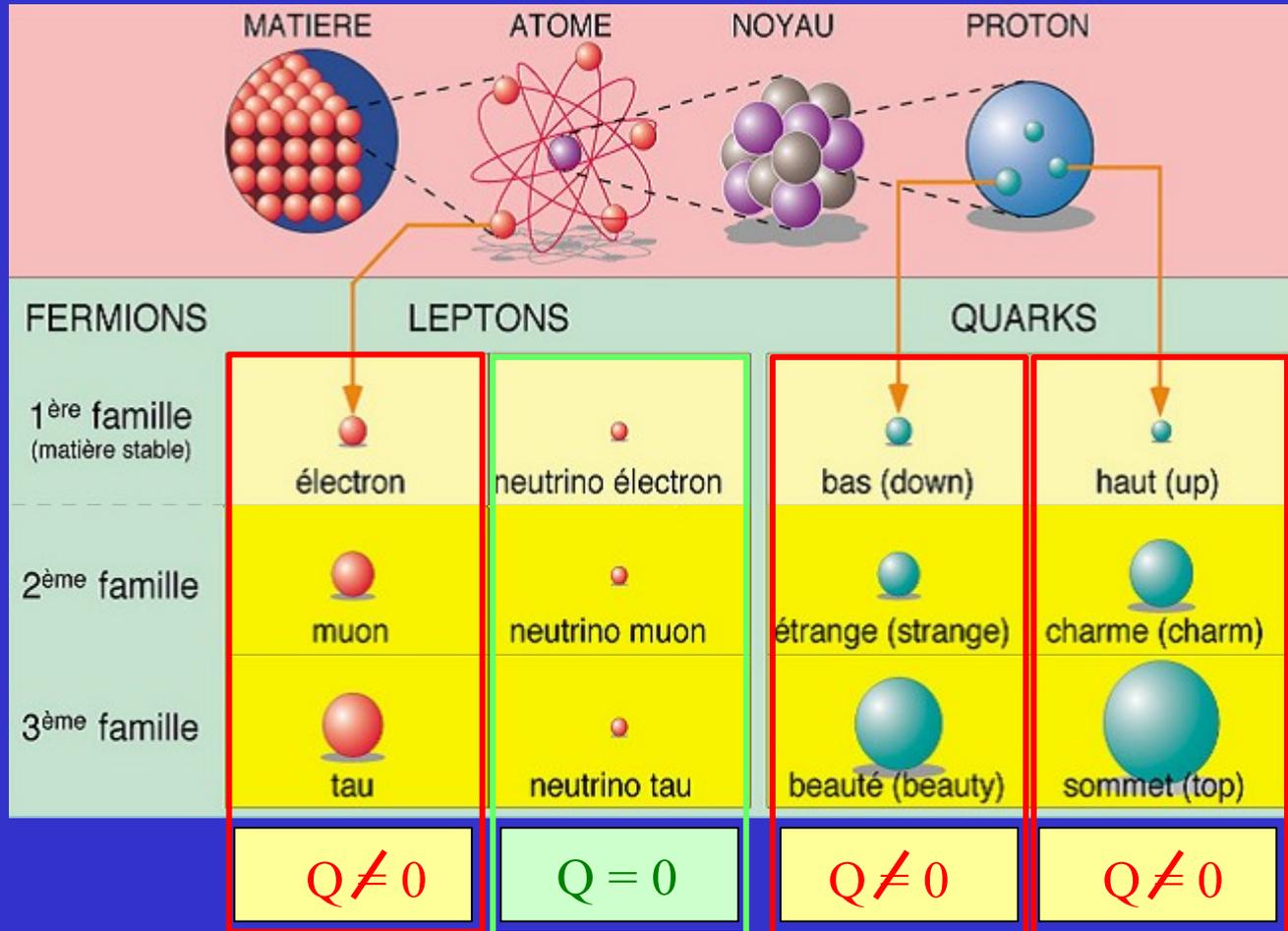
Handford
Savannah River

Projet Poltergeist

Clyde Cowan



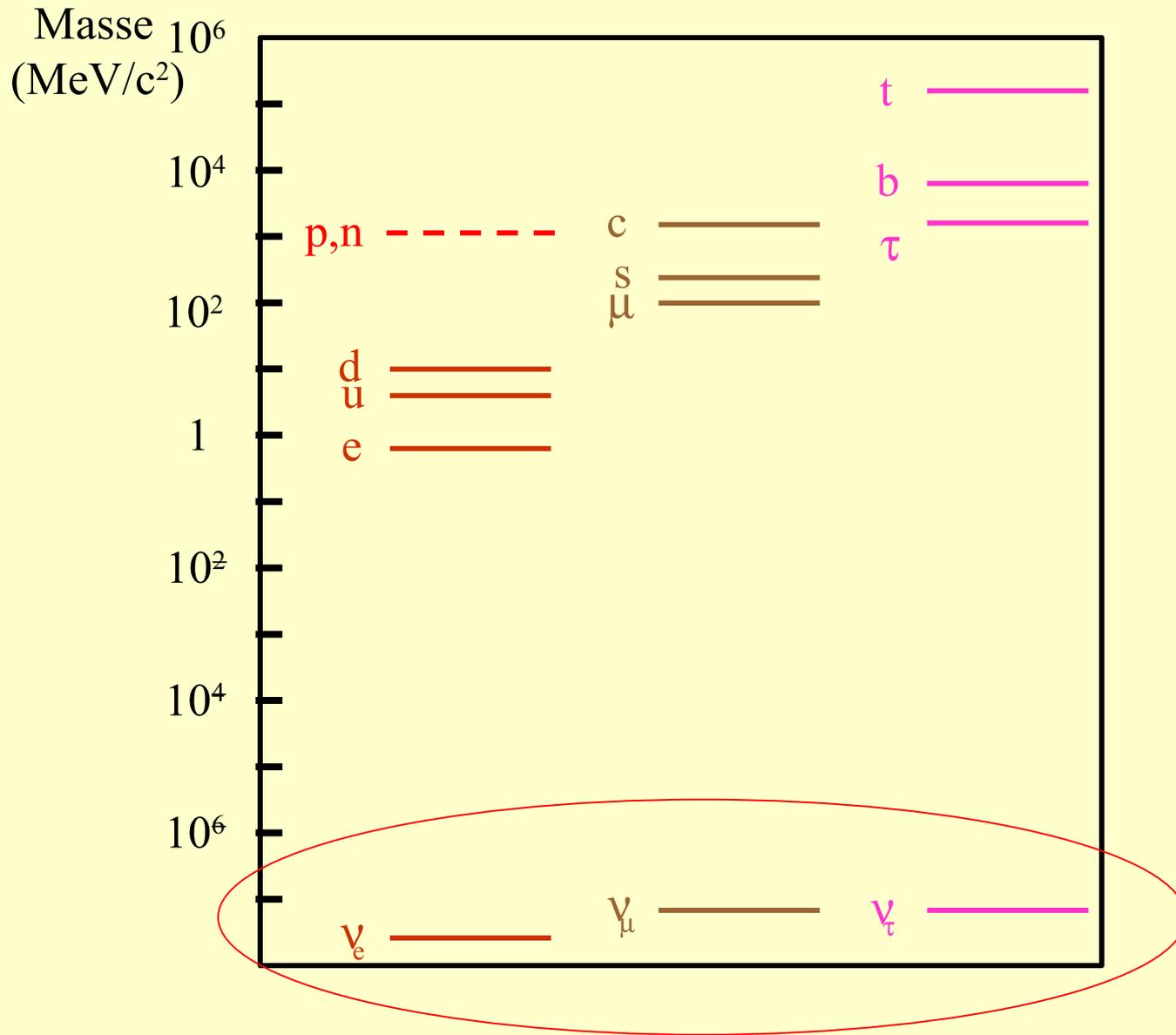
Les constituants élémentaires de la matière



12 particules de matière dont

3 neutrinos ν_e, ν_μ, ν_τ

Les masses des particules de matière



Le Modèle Standard

M
A
T
I
E
R
E

QUARKS

u	d
s	c
b	t

LEPTONS

e	ν_e
μ	ν_μ
τ	ν_τ

F
O
R
C
E
S

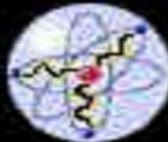
Gravité



Portée : infinie

Intensité : 10^{38}

Electro- magnétisme



Portée : infinie

Intensité : 10^2

Force Faible



Portée : 10^{-18} cm

Intensité : 10^7

Force Forte



Portée : 10^{13} cm

Intensité : 1

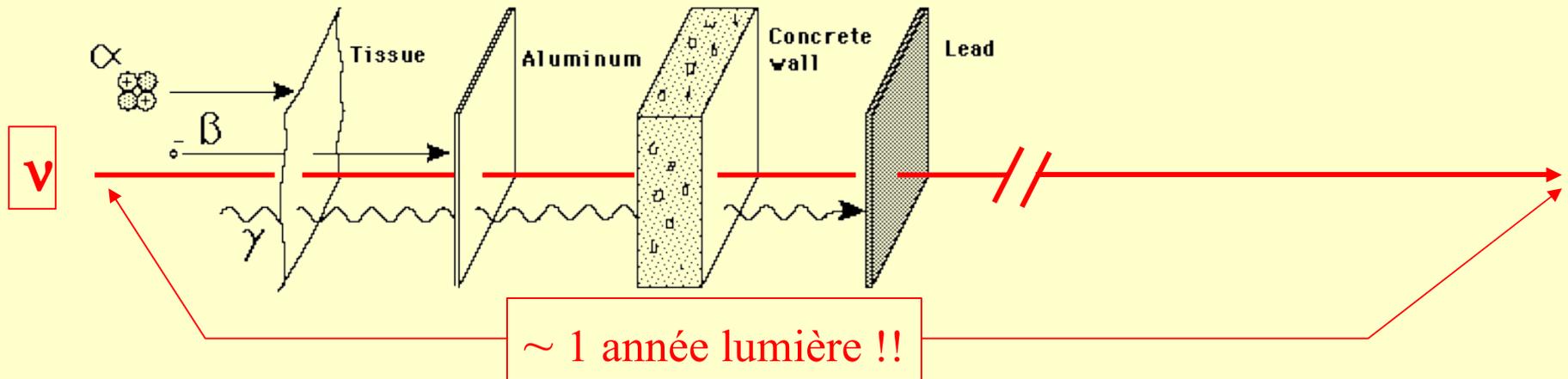
Le neutrino ne "sent" que l'interaction faible !

$$m_\nu \sim 0$$

$$Q_\nu = 0$$

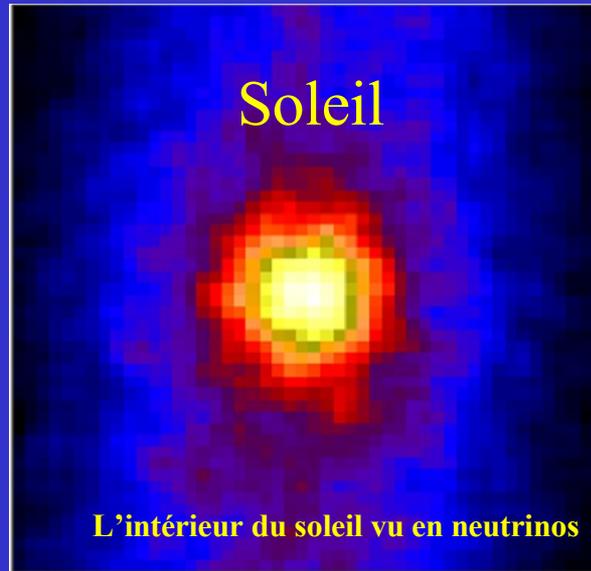
Interaction faible

Le neutrino, particule passe-muraille

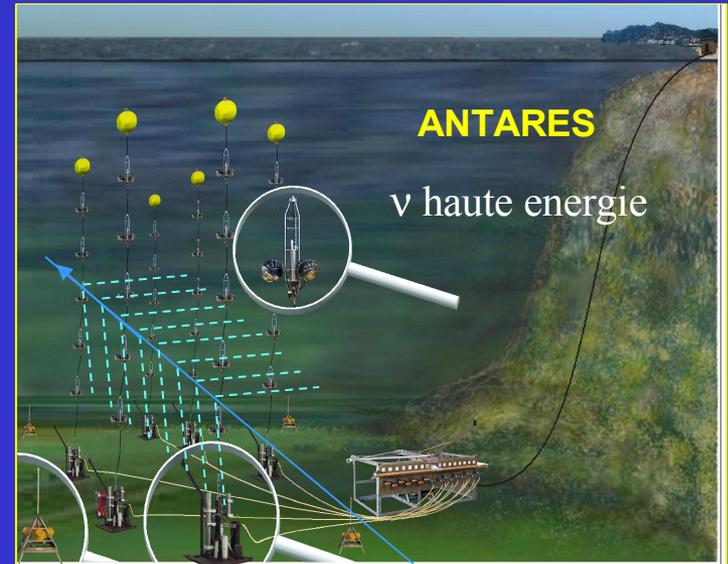


- Le neutrino peut sonder les régions les plus reculées de l'Univers
- Le neutrino peut sonder les régions le plus intimes des objets cosmiques

Les neutrinos et l'Univers



Tarantula Nebula in LMC (constellation Dorado, southern hemisphere)
size: ~2000ly (1ly ~ 6 million miles), distance: ~180000 ly



Les constituants élémentaires de la matière

Matiere

Anti Matiere

FERMIONS	LEPTONS		QUARKS	
1 ^{ère} famille (matière stable)	 électron	 neutrino électron	 bas (down)	 haut (up)
2 ^{ème} famille	 muon	 neutrino muon	 étrange (strange)	 charme (charm)
3 ^{ème} famille	 tau	 neutrino tau	 beauté (beauty)	 sommets (top)

FERMIONS	LEPTONS		QUARKS	
1 ^{ère} famille (matière stable)	Anti  électron	Anti  neutrino électron	Anti  bas (down)	Anti  haut (up)
2 ^{ème} famille	 muon	 neutrino muon	 étrange (strange)	 charme (charm)
3 ^{ème} famille	 tau	 neutrino tau	 beauté (beauty)	 sommets (top)

Particule

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Masse} = m \\ \text{Charge} = q \end{array} \right.$



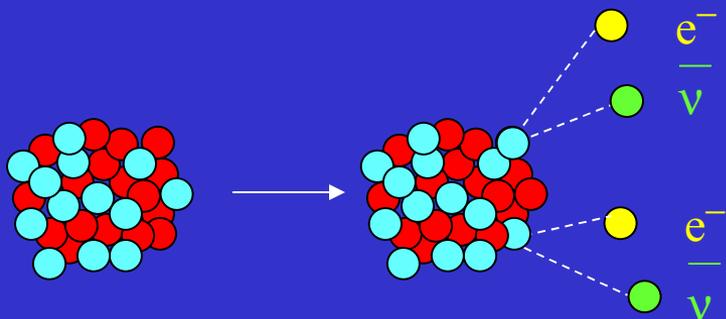
Anti-Particule

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Masse} = m \\ \text{Charge} = -q \end{array} \right.$

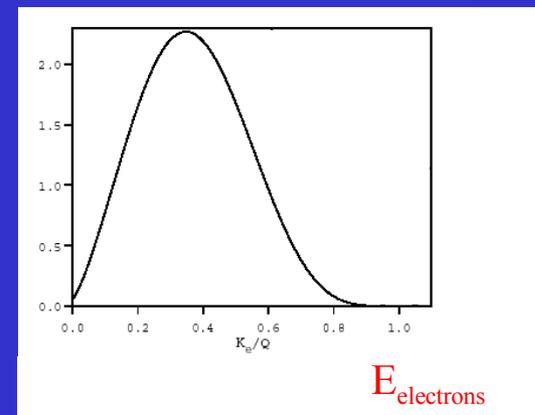
Et pour le neutrino ?

Neutrino seule particule pouvant être égal a son anti-particule

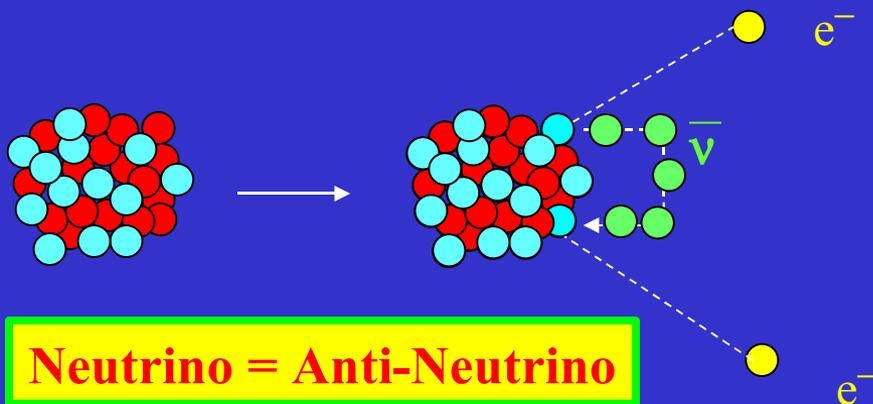
La double désintégration bêta



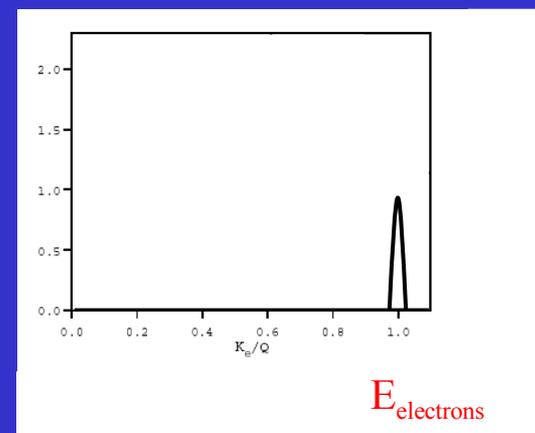
Décroissance β^- avec neutrino



Observée avec $T_{1/2} \sim 10^{20}$ a.



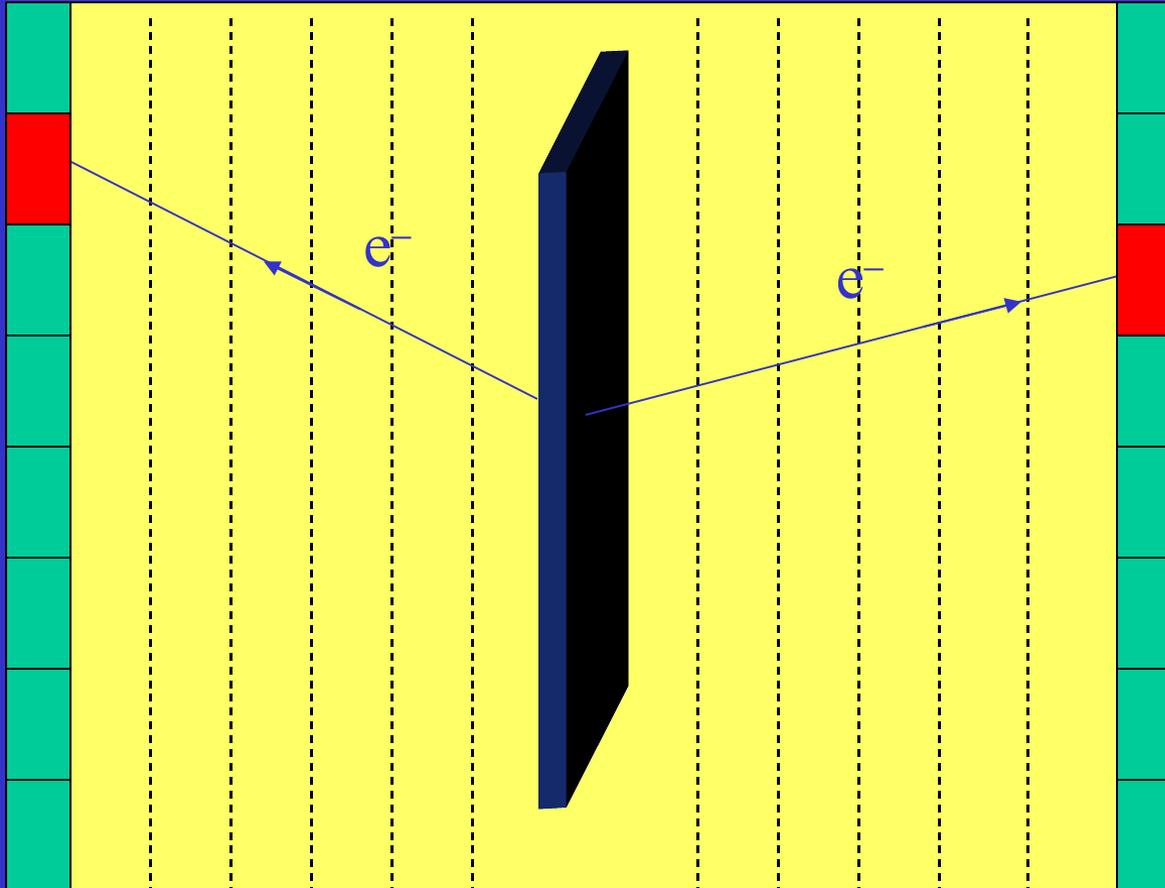
Décroissance β^- sans neutrino



Jamais observée
 $T_{1/2} > 10^{24}$ a.

Comment faire une expérience β

Source β

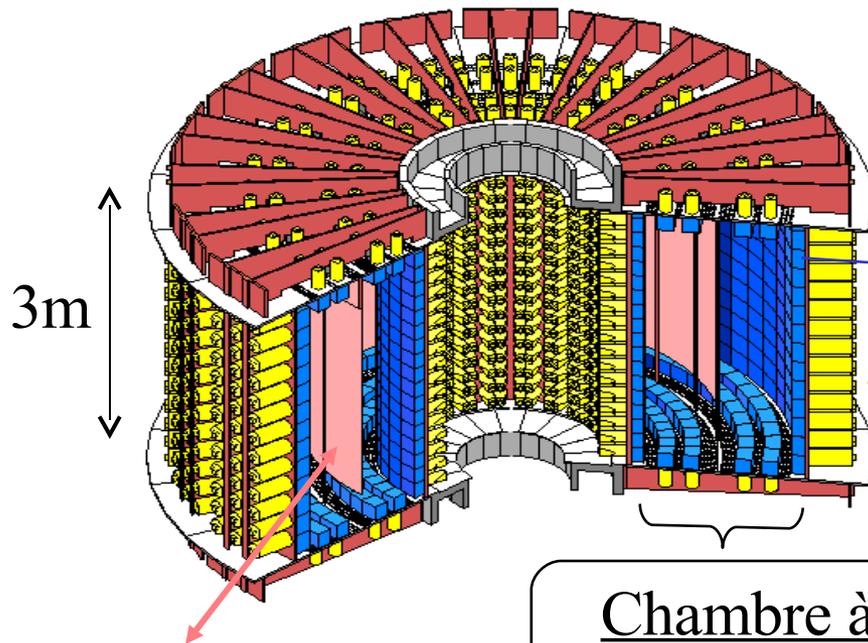


Détecteur de traces

Détection énergie

Le détecteur NEMO-3

Installé au Laboratoire Souterrain de Modane



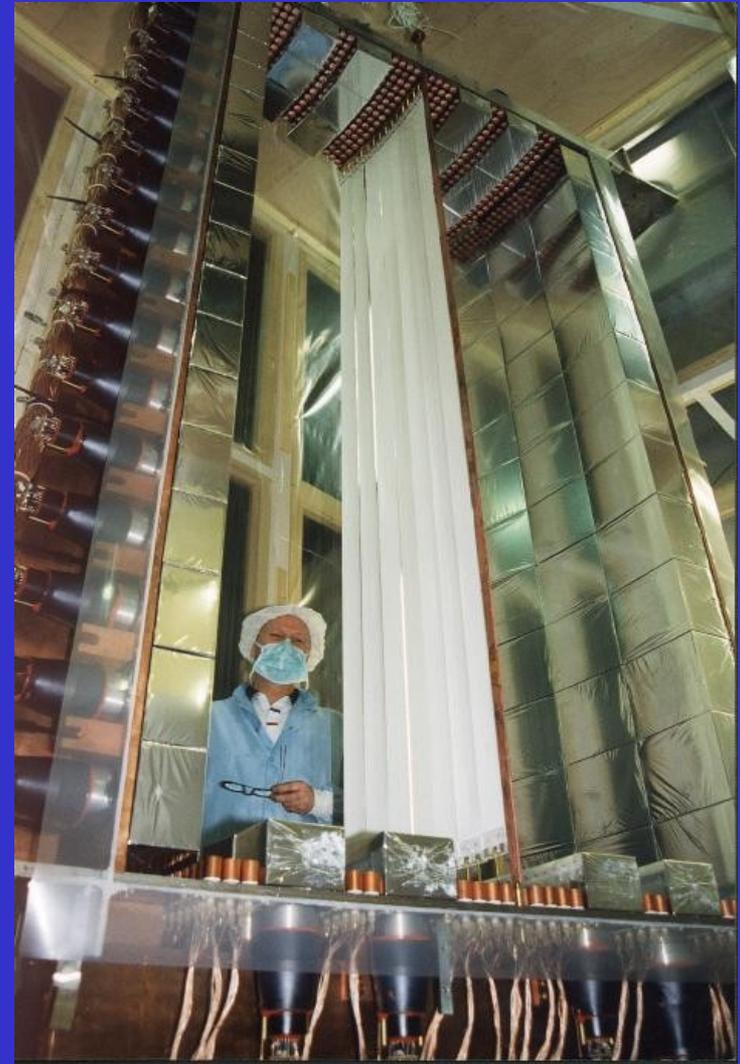
Sources :
10 kg, 20 m²

Chambre à fils
(régime Geiger)

Scintillateurs plastiques
+
photomultiplicateurs

mesure de l'énergie
mesure du temps de vol

Traces des 2 électrons



Le bruit de fond radioactif

Décroissance $\beta\beta$

Période : $\sim 10^{24}$ années

Energie du signal : $\sim 2 - 3$ MeV

Radioactivité :

Période : $\sim 4.5 \times 10^9$ années (^{238}U)

Energie : $\sim 0 - 3$ MeV

*



1 désintégration $\beta\beta$



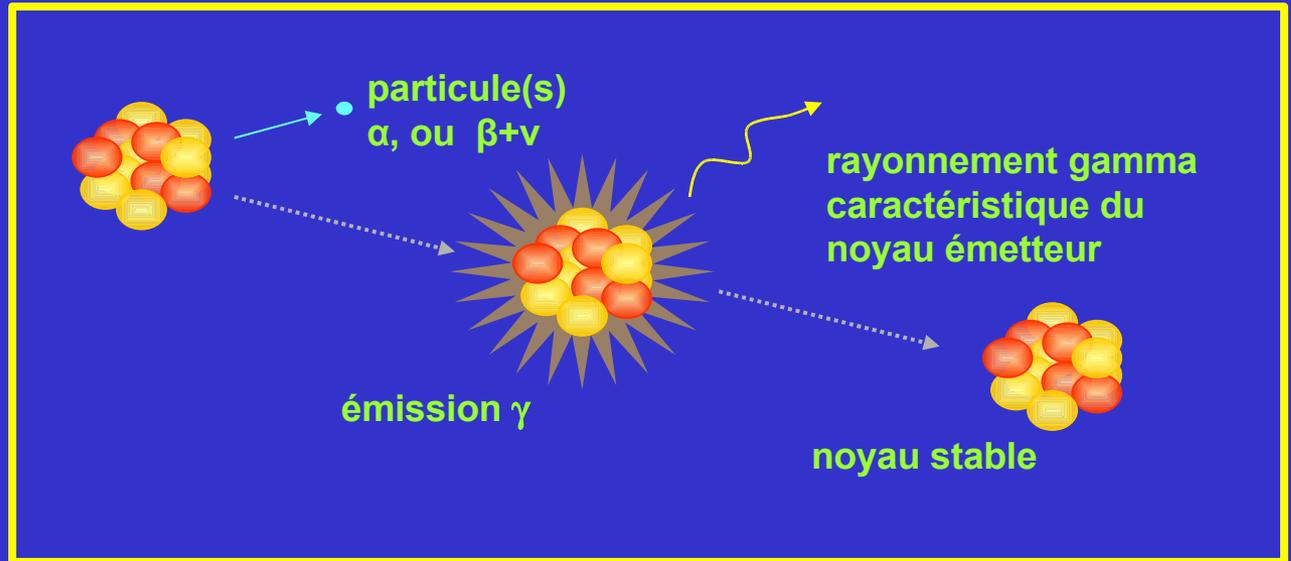
~ 10000 milliard de désintégration ^{238}U

Pour voir un signal dans 10 kg de source il faut

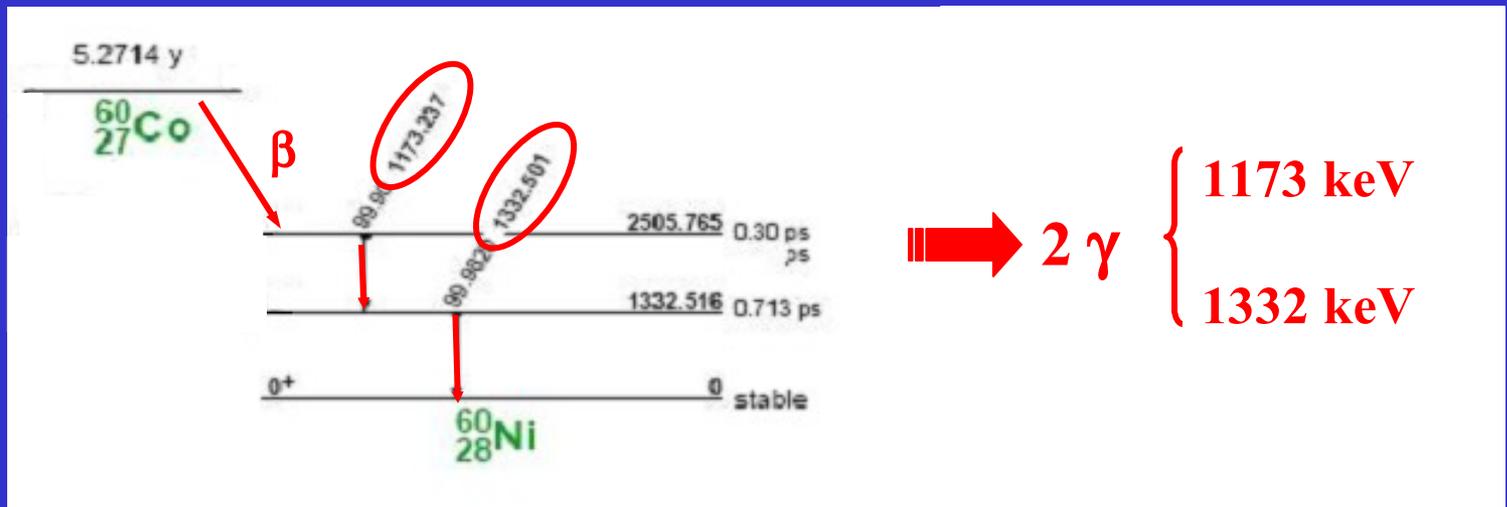
$\sim 10^{21}$ g /g d'U !

Vers les très basses activités

Spectroscopie γ

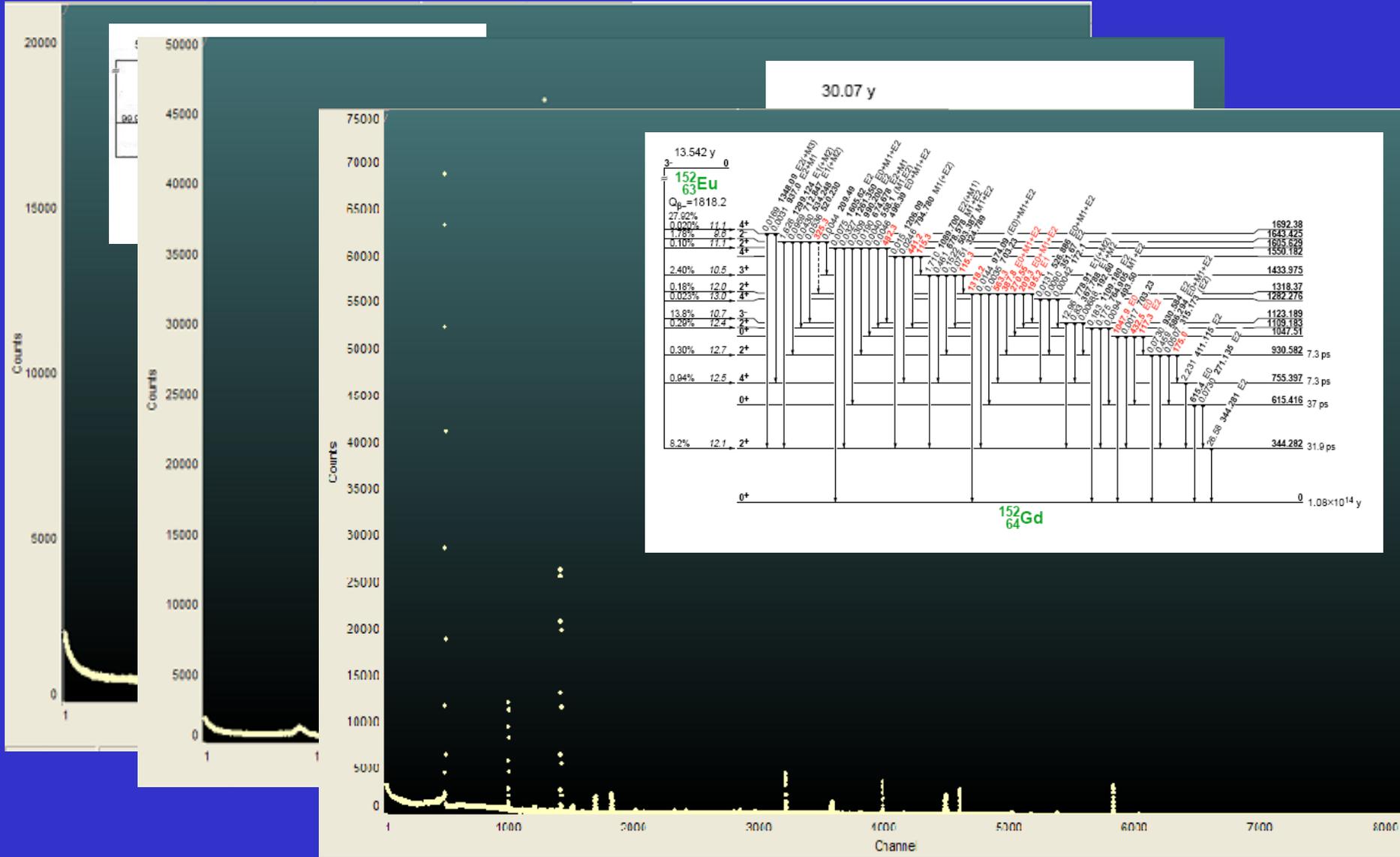


Ex : ^{60}Co



Spectroscopie γ à très haute résolution en énergie

Détecteurs Germanium



Spectroscopie γ à très haute résolution en énergie

- **Technique simple et rapide**
- **Technique non destructive**
- **Pouvoir mesurer de grandes masses (~ 1 kg)**
- **Mesurer le maximum de noyaux radioactifs avec une très bonne identification**

Spectroscopie γ "très bas bruit de fond"

Sensibilité pour 100 g échantillon et 5 jours de mesure

^{238}U : $\sim 10^{-11}$ g/g (~ 1 mBq/kg)

^{137}Cs : $\sim 10^{-18}$ g/g (~ 10 mBq/kg)

Applications Recherche

- β
- neutrino solaire
- moment magnétique ν
- Matière noire
- etc



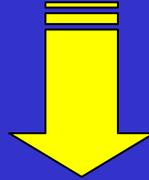
Datation des vins

Escroquerie

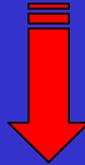
Faux Margaux et Lafite 1900 : un négociant renvoyé en correctionnelle

[11/04/2003 10:52] **Le juge d'instruction Renaud van Ruymbeke a ordonné début avril le renvoi devant le tribunal correctionnel de Paris du négociant belge Khaled Rouabah pour "escroquerie" dans une affaire de vente de faux Margaux et Lafite 1900, . . .**

**Direction Générale de la Concurrence de la
Consommation et de la Répression des Fraudes
de Bordeaux**



Comment valider l'authenticité d'un millésime ?

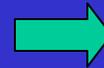


**Les meilleurs spécialistes en spectroscopie γ ultra base
activité sont à Bordeaux**

Quelle radioactivité gamma dans le vin ?

Pour avoir la meilleure précision : • Evaporation de la bouteille

• Calcination à 400 – 500 °C



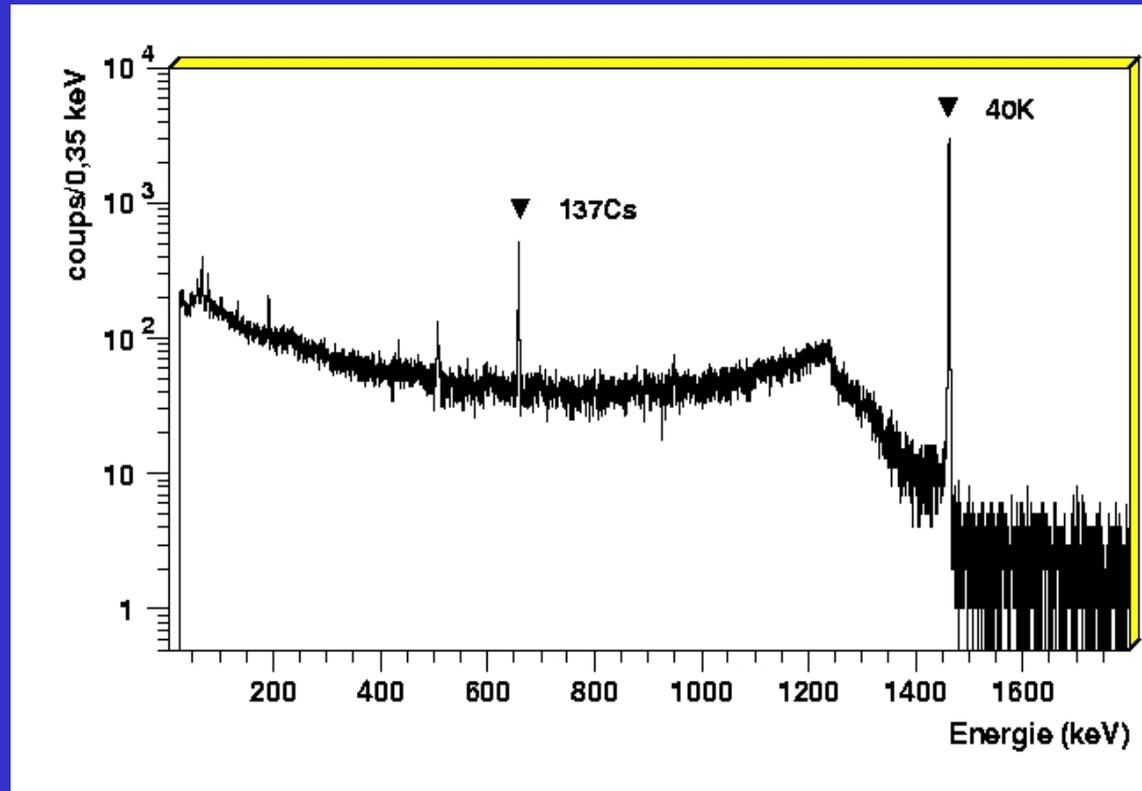
1 – 2 g de cendres

^{40}K Il y en a partout !

^{137}Cs Surprise, pas dans la nature, variable en fonction du millésime



Etude sur 29 vins
de 1950 à 2000



Millésimes « surs » : fournis par Mr Berrouet, maître de chais, Château Pétrus

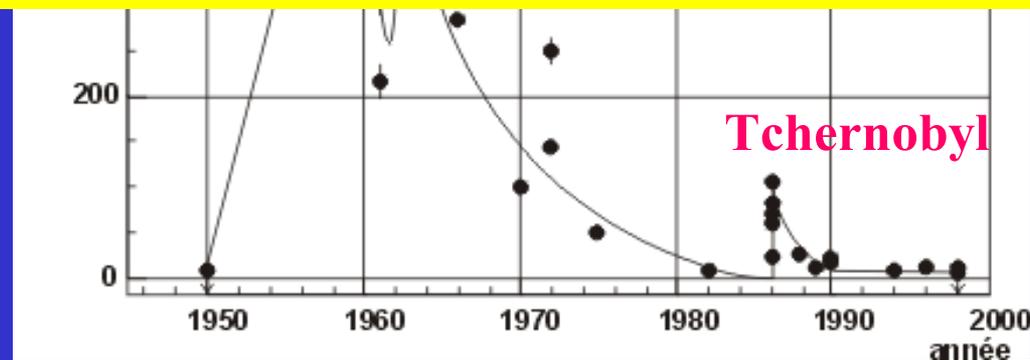
Activité ^{137}Cs (mBq/l)

(Valeurs normalisées au 1/1/2000)

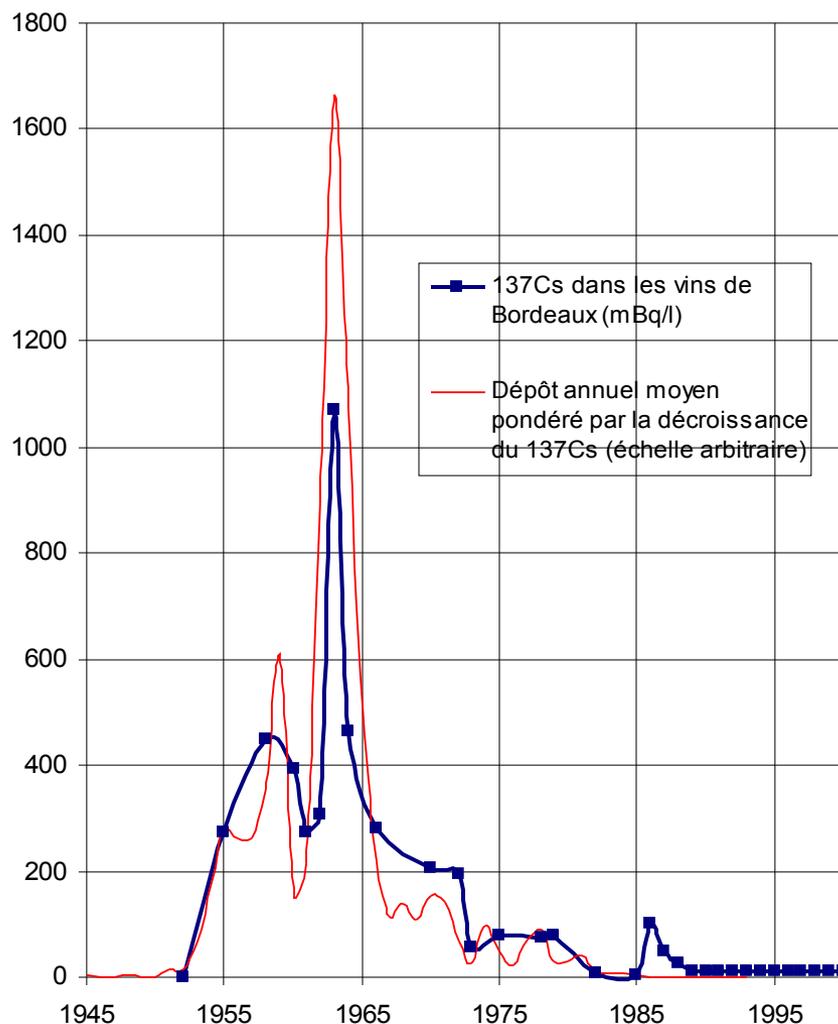


Attention le vin n'est pas "radioactif"

- corps humain : ~ 100 Bq/kg
- Dose annuelle ~ 1 mSv
 $\Rightarrow 74\ 000$ bouteilles de 1963 par an

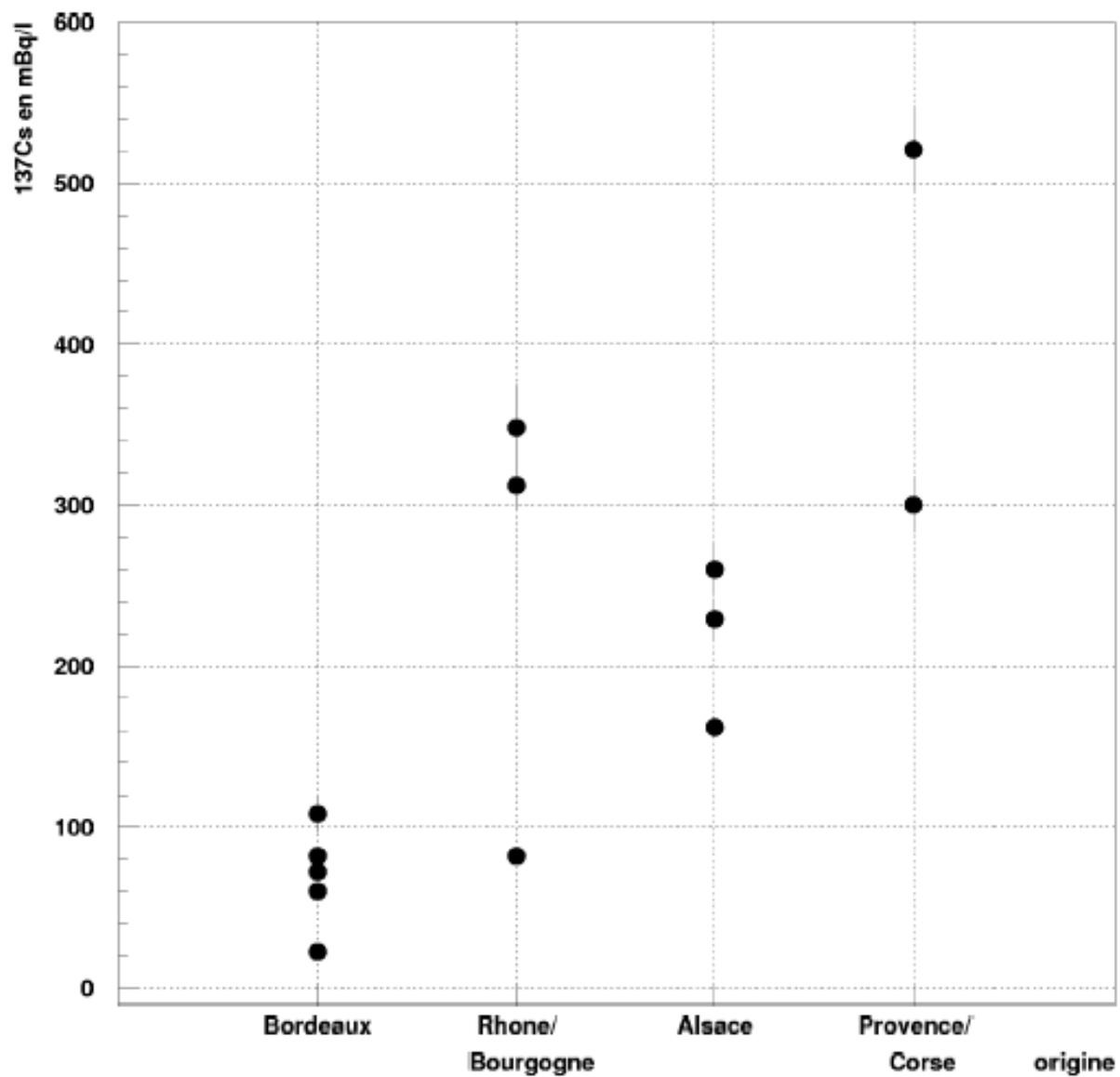


^{137}Cs dans le vin et dépôt annuel sur le sol



Relation entre le dépôt annuel de ^{137}Cs (hémisphère Nord, 40-50°) lié aux essais atmosphériques pondéré par la période de décroissance du ^{137}Cs et l'activité moyenne en ^{137}Cs des vins de Bordeaux

1986 : Tchernobyl

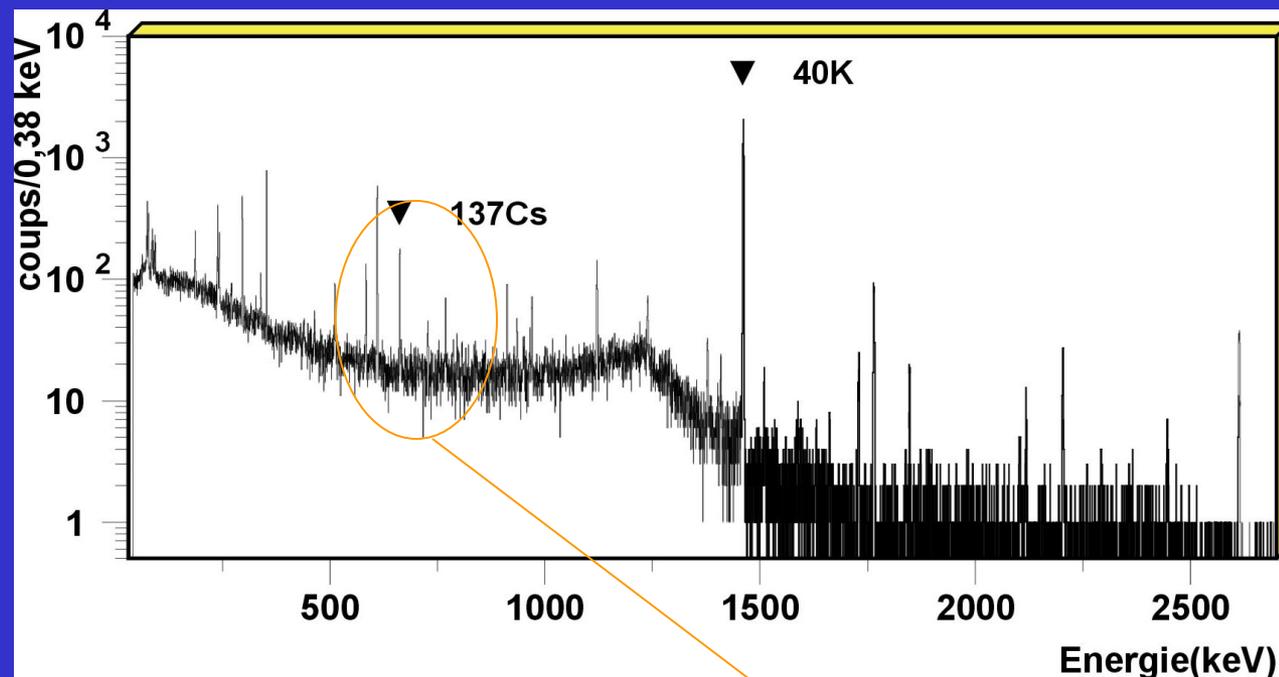


Mesures non destructives

^{137}Cs photon de 661 keV

peut facilement s'échapper du vin

peut facilement traverser le verre de la bouteille



Pas de ^{137}Cs dans le verre

Infimes traces de ^{137}Cs dans les bouchons

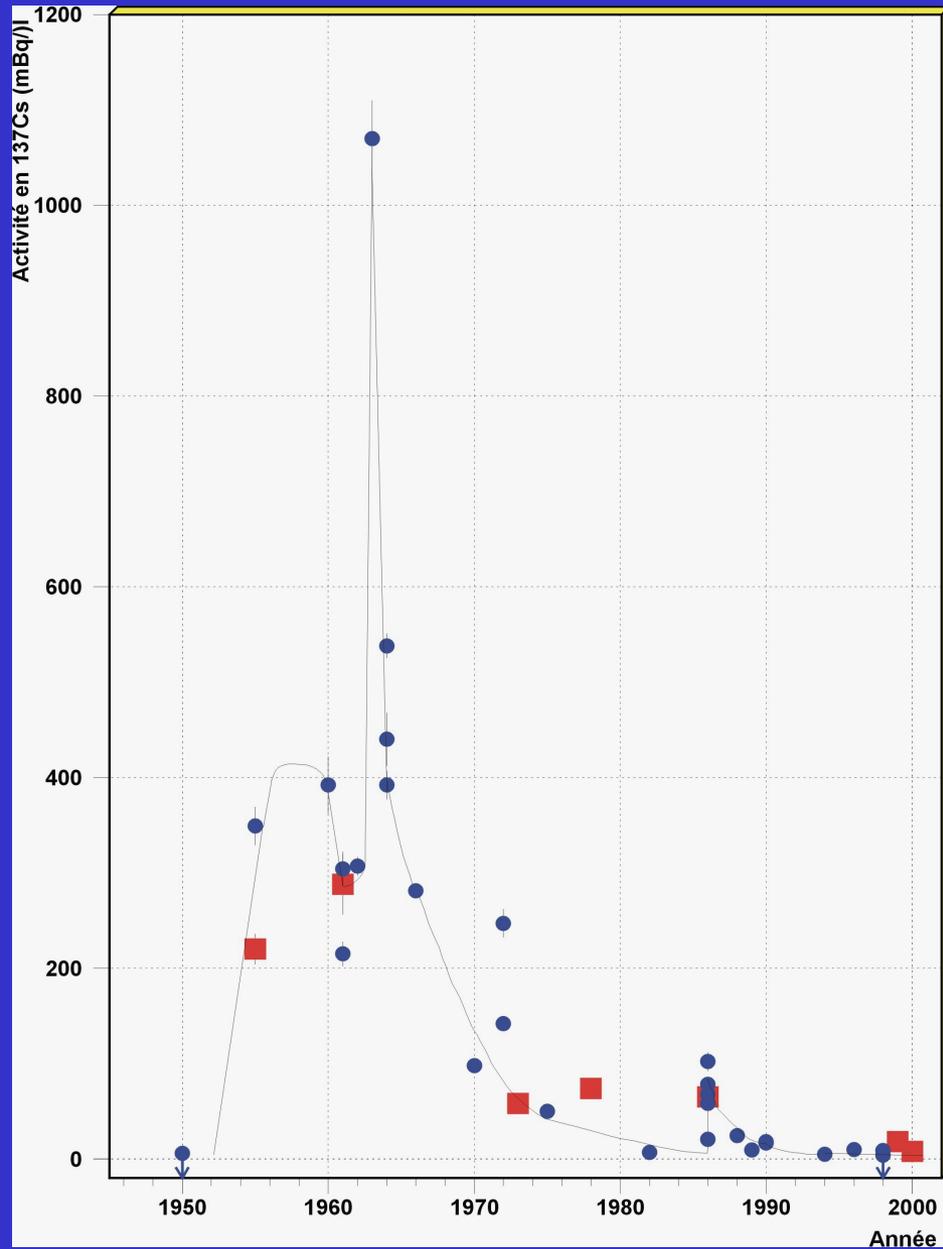
ouf !

Très bonne résolution



Activité ^{137}Cs (total des mesures)

(Valeurs normalisées
au 1/1/2000)



Chateau Margaux 1900

CENBG expert judiciaire



Vin des années 60



PARIS, 25 mars 2004 - Le marchand de vins belge Khaled Rouabah, 45 ans, poursuivi pour la vente de 360 bouteilles de faux Château Margaux 1900 et Château Lafite 1900, a été condamné jeudi à **un an d'emprisonnement avec sursis et 300.000 euros** d'amende par le tribunal correctionnel de Paris.

L'affaire americaine



**6 bouteilles : Château Lafite, Mouton , Château Latour
150 000 euros pièce !**

Soupçons vin de 1970 OK pour ^{137}Cs

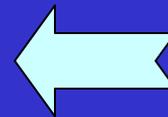
Test négatif : vin antérieur à 1950 (pas de ^{137}Cs)

Radioactivité des verres

Pas de ^{137}Cs , mais contient beaucoup de ^{40}K et U/Th/Ra

Verre	^{40}K (cph)	^{226}Ra (cph)	^{228}Ra (cph)
1784 ?	1500	1820	913
1929	1179	480	507
> 1950	~ 300	60 – 150	30 – 300

=> **Vieille bouteille mais**



Antérieur à 1950

Verre ancien

**Dernières nouvelles : gravure électrique !!!
=> arnaque au milliardaire ?**

Le vin de japonais

1500 bouteilles de Bordeaux exportées au Japon

Vendues année 1990

Surprise à l'ouverture



Bouchon 1998 !!!!

Mesures ^{137}Cs en cours

Conclusion sur la datation au ^{137}Cs

• Utilisée par la DGCCRF

• Mesures non destructives

• Campagne de mesures non destructives en cours pour les vins des années 1970-1986

Approvisionnement de « vins vieux » (1950 à 1963)

• Ambiguïté ou réponse non suffisante si :

vin très vieux (< 1950)

vin très jeune (> 1990)



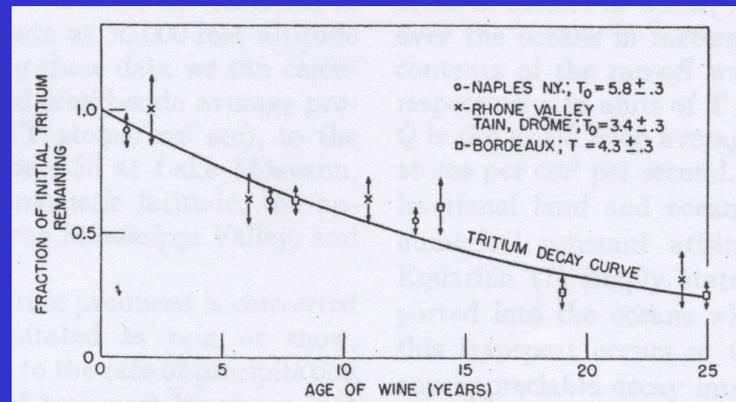
Tritium, ^{14}C , ^{210}Pb , $^{226, 228}\text{Ra}$

Mesures destructives

Tritium - ^3H (12 ans)

Produit par les rayons cosmiques : $^{14}_7\text{N} + n \rightarrow ^{12}_6\text{C} + ^3_1\text{H}$

- Utilisé dès 1954 par Kaufman et Libby



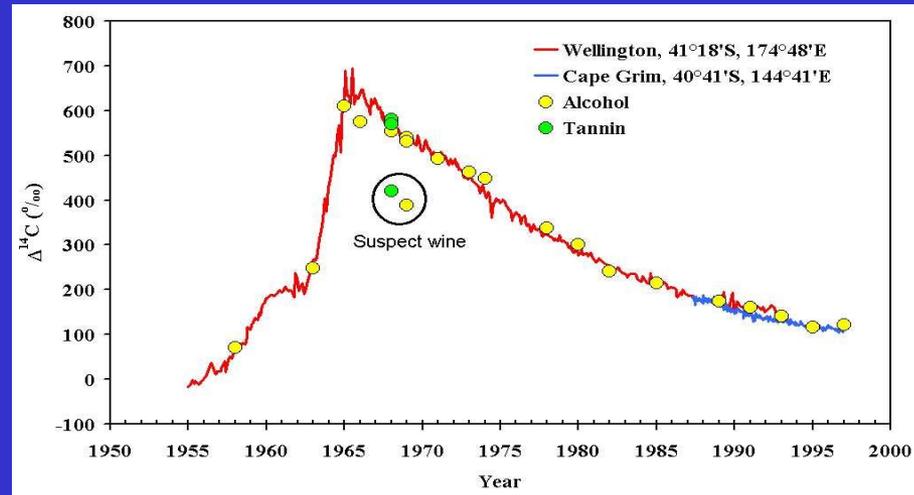
- Devenu très compliqué après les essais atmosphériques et l'avènement des centrales nucléaires.
- Peut être utilisé pour les alcools (Armagnac, Cognac, Calvados,...)

Attention avec les “petites eaux”

^{14}C (5730 ans)

Produit par les rayons cosmiques : $^{14}_7\text{N} + n \rightarrow ^{14}_6\text{C} + p$
et dans les essais nucléaires

- Utilisé dès les années 1970 par Martinière et al. sur vins et alcools
(Laboratoire d'œnologie Bordeaux)
- Actuellement : Groupe d'Adélaïde (Australie) par AMS



- Technique marche bien, un peu lourde
- Problème si ajout de sucre, acide tartrique, ...

^{210}Pb (22 ans)

Protons

se dépose sur le sol, le raisin, ...,
avec les précipitations

à Bordeaux $\sim 80 \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{an}$

^{234}U

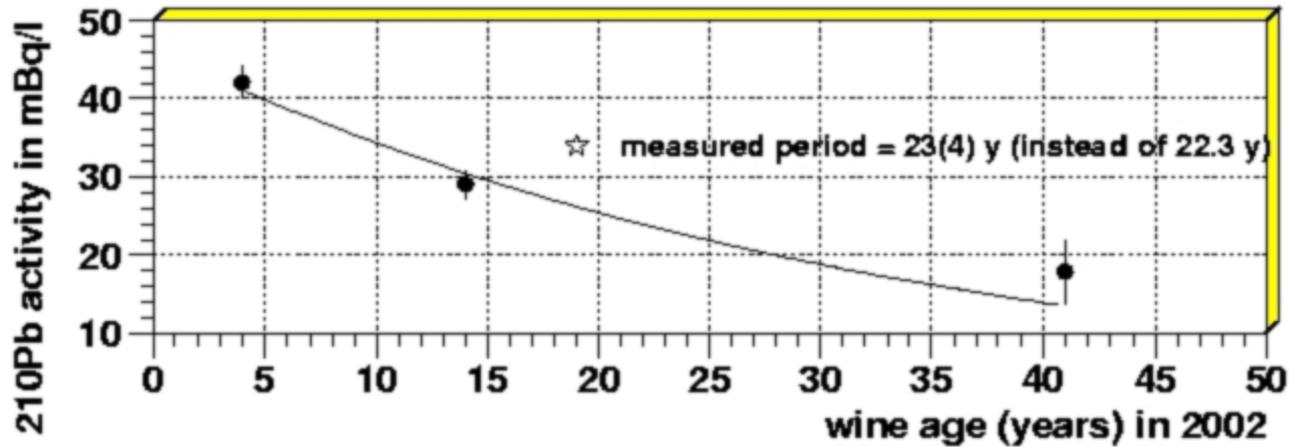
^{238}U

^{234}Pa

^{234}Th

^{210}Pb

^{226}Ra



121

146

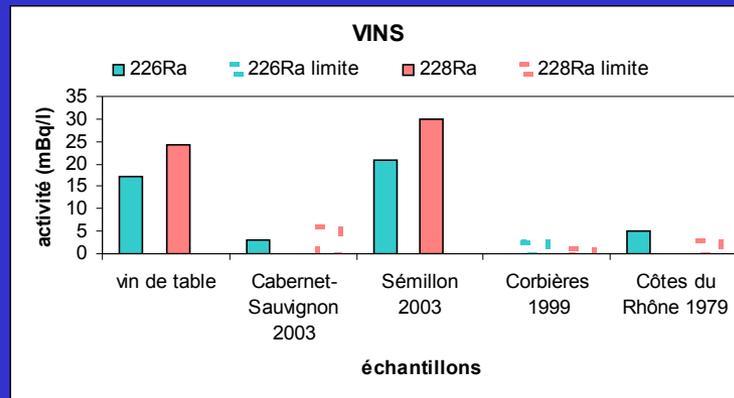
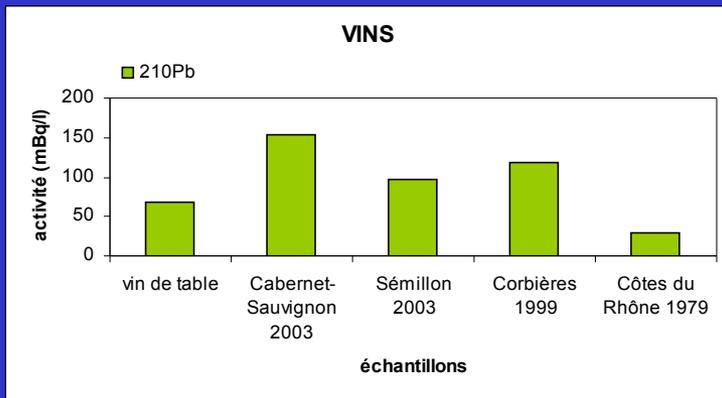
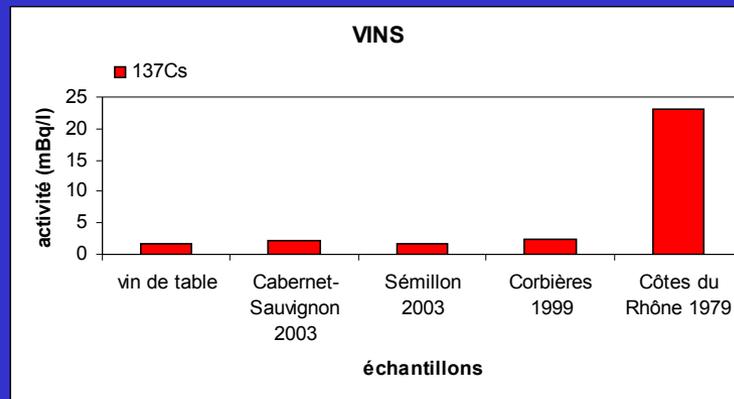
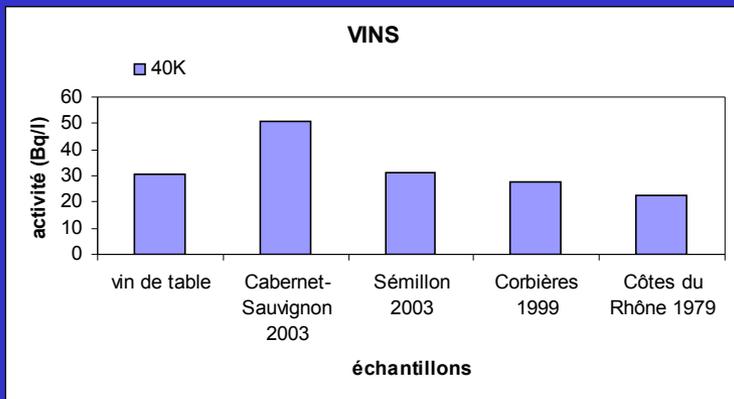
Neutrons

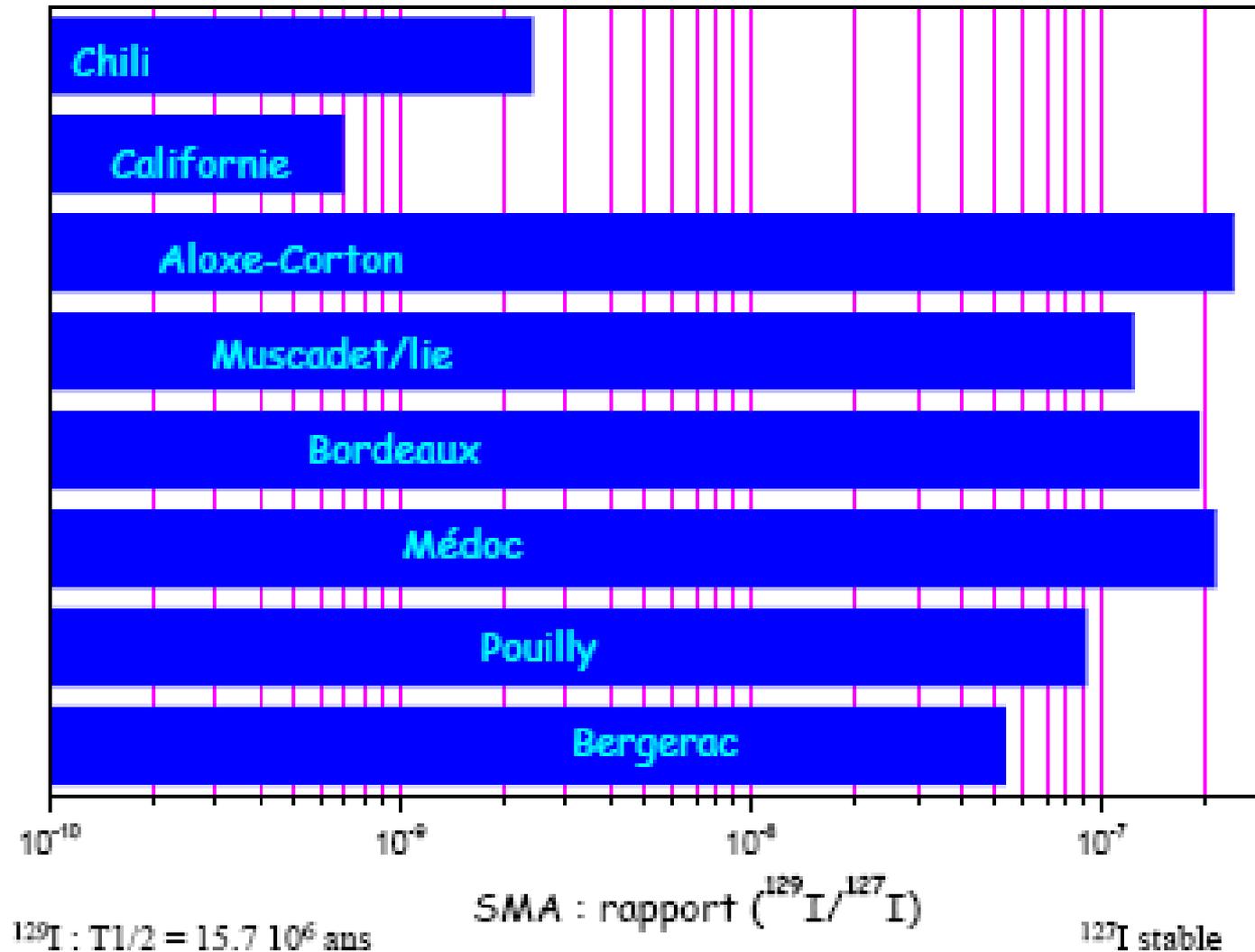
Origine du ^{210}Pb : décroissance du Rn de l'air

Vers une carte d'identité radiologique du vin

Vieux rêve des oenologues

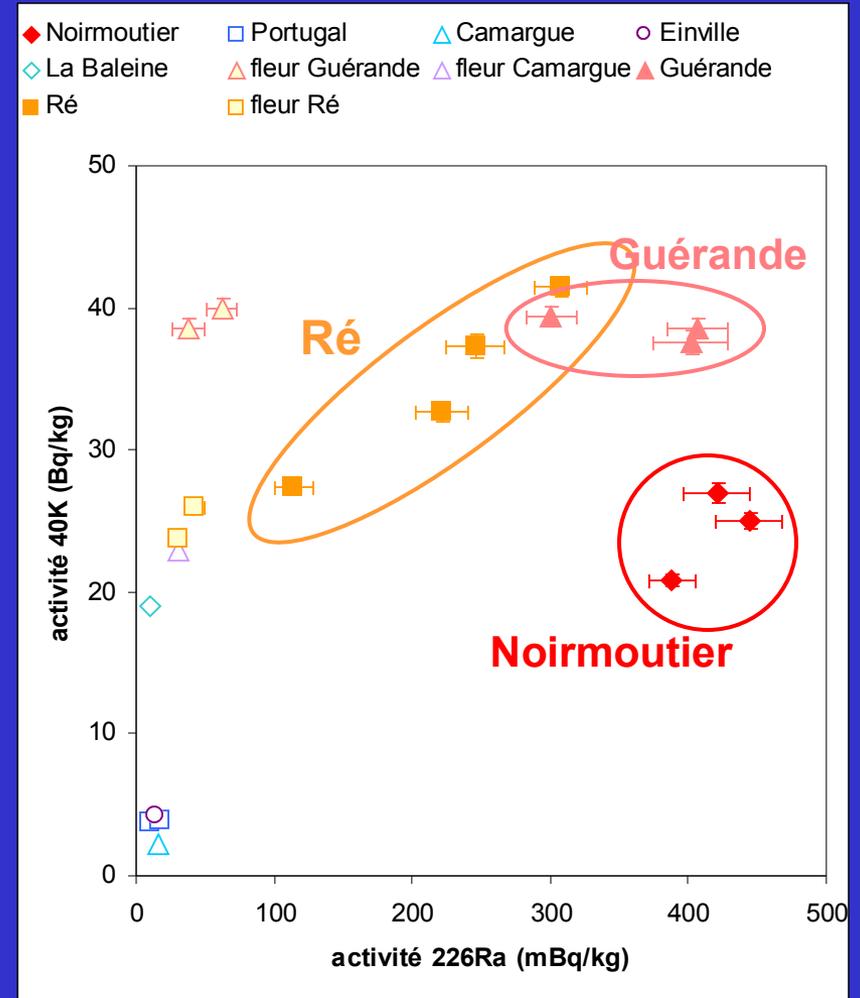
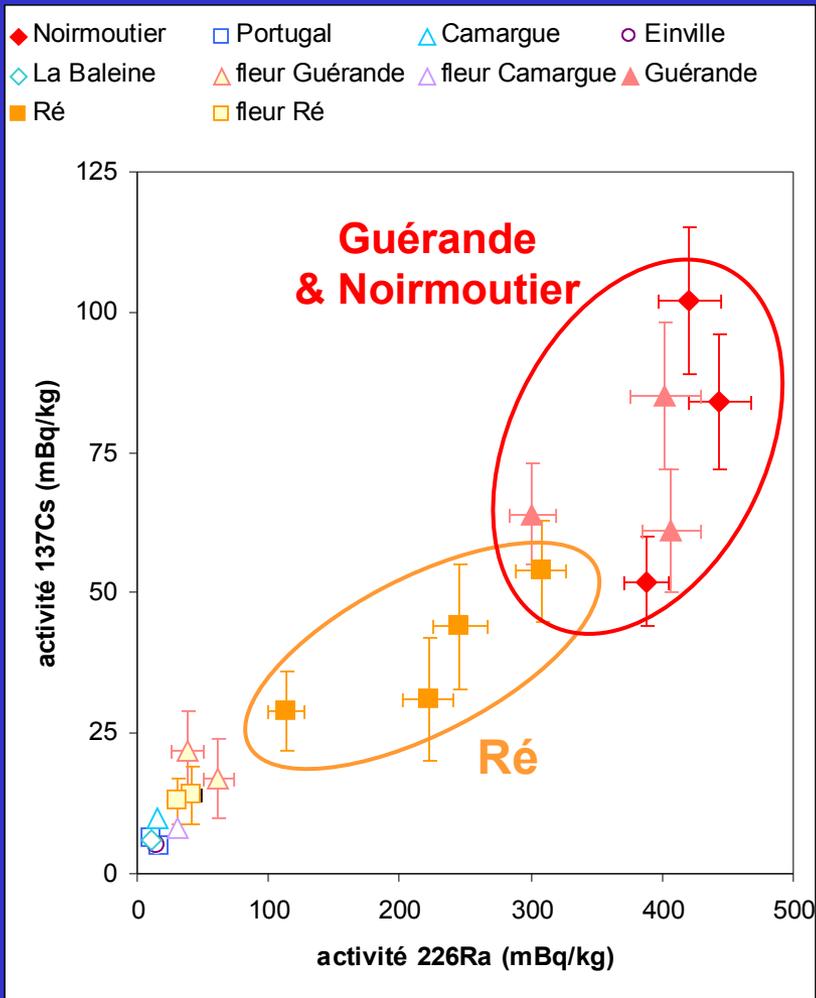
Sensibilité ~ mBq/l => plusieurs isotopes identifiables



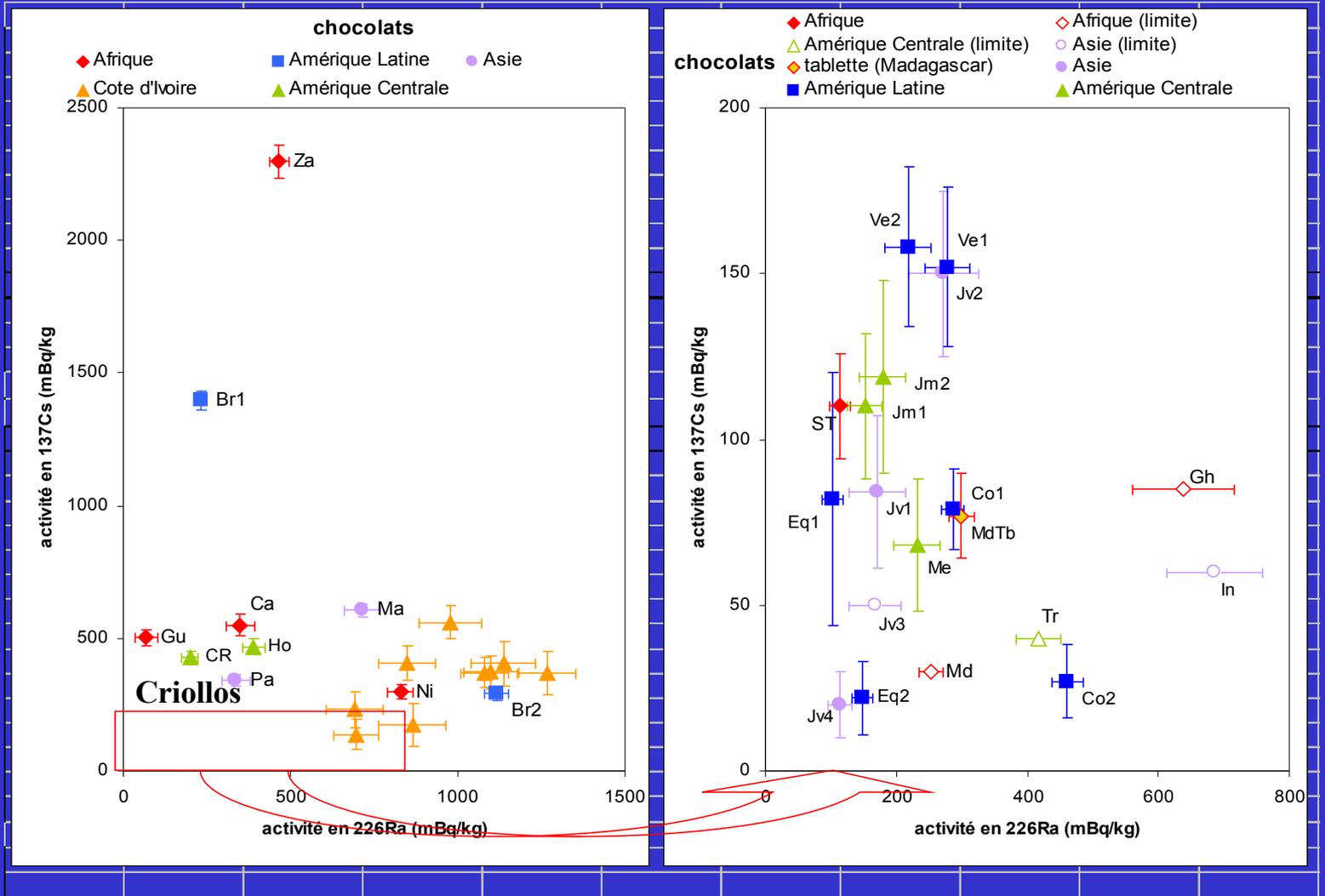


Identification du terroir ... peut être à l'avenir avec plusieurs isotopes

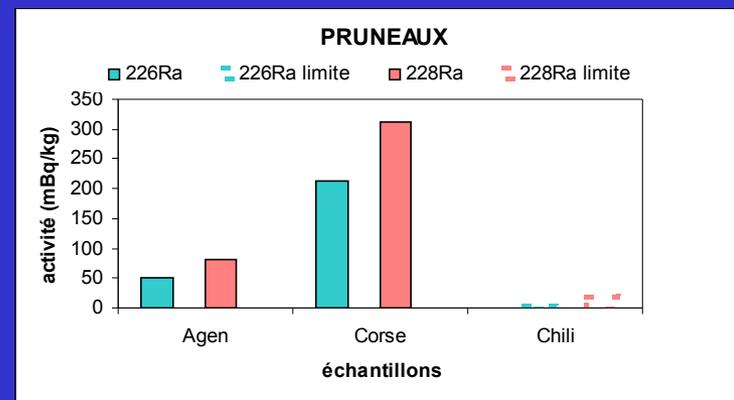
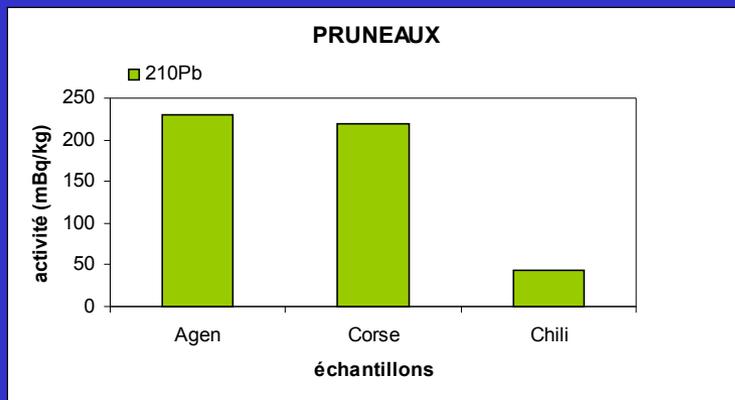
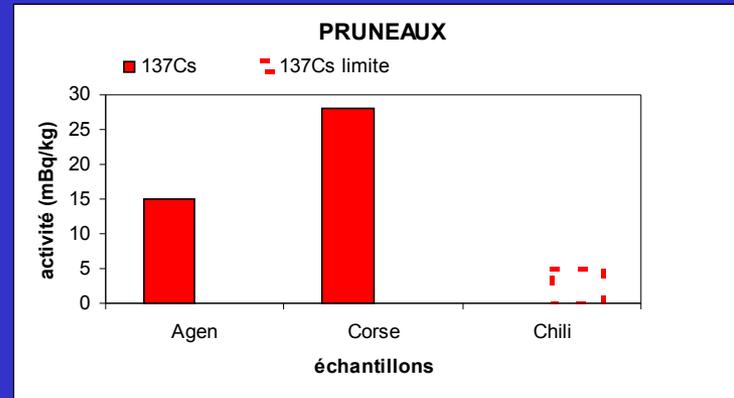
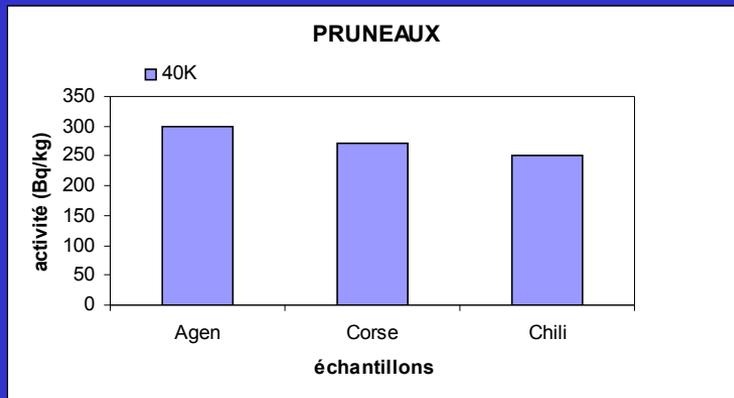
Sels de l'Atlantique



Fèves de cacao



Les pruneaux



Conclusion

La recherche de la nature et propriétés du neutrino ont imposé, entre autres, le développement de techniques de sélection de matériaux à très faible activité propre

Les techniques ainsi développées permettent de détecter des traces de radio-éléments dans des produits de consommation (plus ou moins courants) et assurer le suivi de ces produits.



"La physique mène à tout"

Lettre de Pauli du 4 Décembre 1930

Chers dames et messieurs radioactifs,

Je vous prie écouter avec beaucoup de bienveillance le message de cette lettre. Il vous dira que pour pallier la "mauvaise" statistique des noyaux N et Li6 et le spectre bêta continu, j'ai découvert un remède désespéré pour sauver les lois de conservation de énergie et les statistiques. Il s'agit de la possibilité d'existence dans les noyaux de particules neutres de spin 1/2, obéissant au principe d'exclusion, mais différentes des photons parce qu'elles ne se meuvent pas a la vitesse de la lumiere, et que j'appelle neutrons. La masse des neutrons devrait être du même ordre de grandeur que celle des électrons et ne doit en aucun cas excéder 0.01 fois la masse du proton. Le spectre bêta serait alors compréhensible si l'on suppose que, pendant la désintégration bêta, avec chaque électron est émis un neutron, de manière que la somme des énergies du neutron et de électron soit constante...

J'admet que mon remède puisse paraître invraisemblable car on aurait du voir ces neutrons bien plus tôt si réellement ils existaient. Mais seul celui qui ose gagne, et la gravite de la situation, due a la nature continue du spectre bêta, est éclairée par une remarque de mon honoré prédécesseur, monsieur Debye, qui me disait récemment a Bruxelles: "Oh! Il vaut mieux ne pas y penser du tout, comme pour les nouveaux impôts." Dorénavant, on doit discuter sérieusement toute voie d'issue. Ainsi, cher peuple radioactif, examinez et jugez. Malheureusement, je ne pourrai pas être moi-même a Tübingen, ma présence étant indispensable ici pour un bal qui aura lieu pendant la nuit du 6 au 7 décembre.

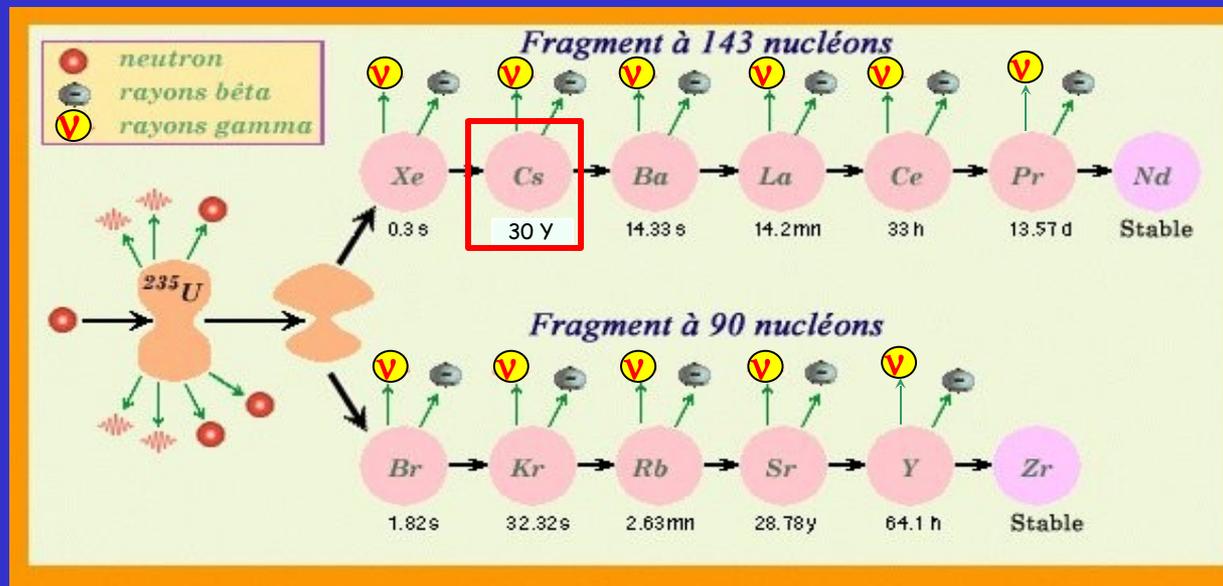
Votre serviteur le plus dévoué,

W. Pauli



W. Pauli

D'où vient le ^{137}Cs ?



Quelques sources de radioactivité

Naturelle :

$$^{238}\text{U} \geq 4.5 \times 10^9 \text{ a}$$

$$^{232}\text{Th} \geq 1.4 \times 10^{10} \text{ a}$$

$$^{40}\text{K} \geq 1.3 \times 10^9 \text{ a}$$

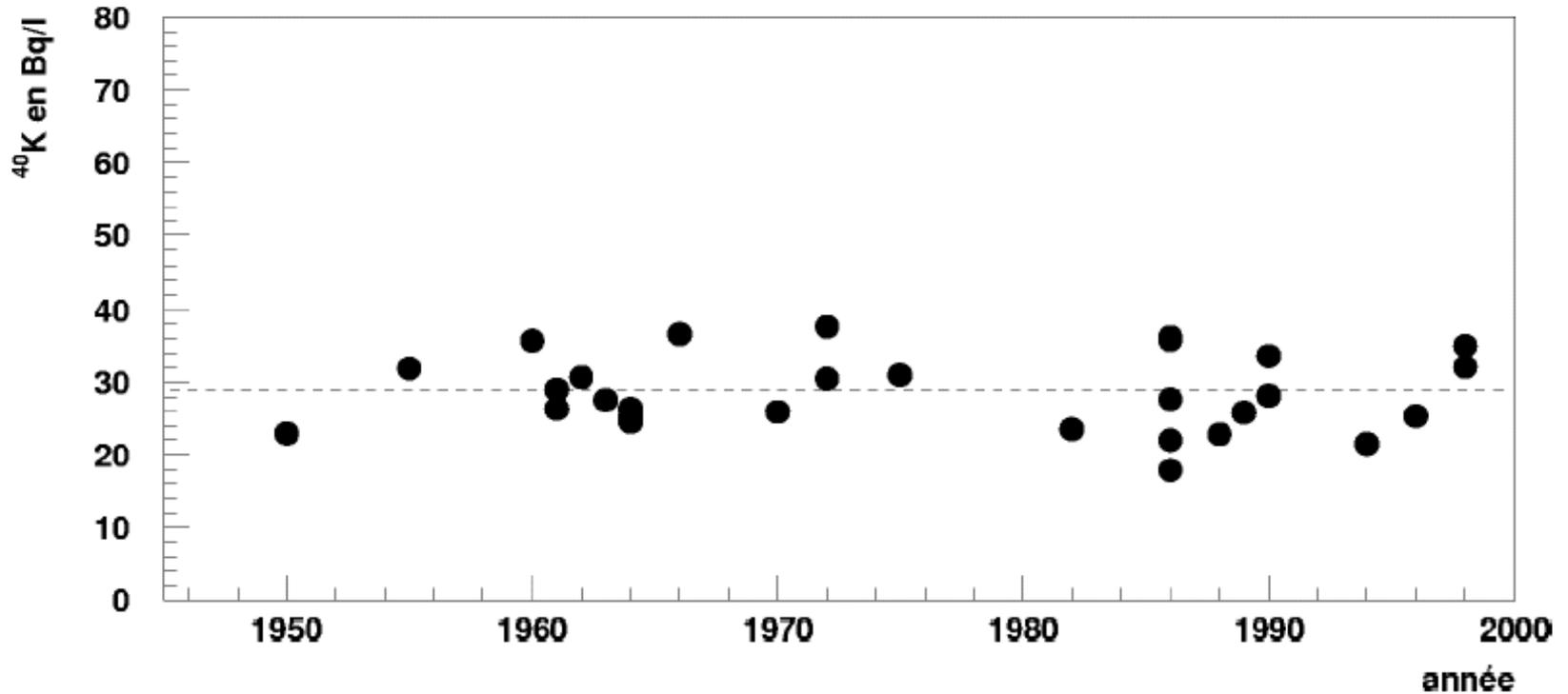
Artificielle :

$$^{60}\text{Co} \geq 5 \text{ a}$$

$$^{137}\text{Cs} \geq 30 \text{ a}$$



Activité en ^{40}K (Bq/l)



Environ 30 Bq/l 0,9 g/l de $^{\text{nat}}\text{K}$

Normal, un vin est saturé en acide tartrique



L'univers est vieux de

14 Milliard d'années

10 Milliards de fois moins que la $(\beta)_2$



