

Neutrino, Radioactivité et ...

Datation des Vins

Ph. Hubert, CEN Bordeaux-Gradignan

- Double décroissance bêta
⇒ masse et nature du neutrino (Expérience au LSM)
- Mesures d'ultra faibles taux de radioactivité
⇒ spectrométrie gamma bas bruit de fond
- Transfert de technologie
⇒ œnologie et datation des vins
⇒ contrefaçons (sels, chocolats, pruneaux, etc...)

Radioactivités et Double Décroissance Bêta

Dans la nature :
radioactivité α
radioactivité β
radioactivité γ

Radioactivités plus « exotiques » :
Fission spontanée
Emission ions lourds (^{12}C , ^{14}N ,...)
Emission double gamma
Radioactivité double bêta : $\beta\beta(2\nu)$

Exemple : $^{100}\text{Mo} \rightarrow ^{100}\text{Ru} + \beta^- + \beta^- + \bar{\nu} + \bar{\nu}$

- Processus du second ordre de l'interaction faible
- $T_{1/2} \cong 10^{19-20}$ ans
- Observée pour quelques noyaux :

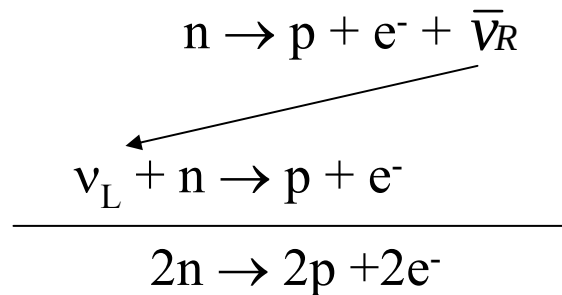
^{100}Mo , ^{76}Ge , ^{82}Se , ^{116}Cd , ^{130}Te , ^{96}Zr , ^{48}Ca , etc...

Processus similaire, mais encore plus « exotique »

Désintégration double bêta sans émission de neutrino, $\beta\beta(0\nu)$



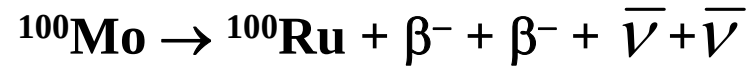
- Encore jamais observée, $T_{1/2} > 10^{24}$ ans
- Pour 10 kg de ^{100}Mo enrichi $\Rightarrow$ quelques evts/an
- Paradoxalement, le neutrino joue un rôle fondamental :



Possible si : $\nu = \bar{\nu}$, neutrino de Majorana
 $m_\nu \neq 0$

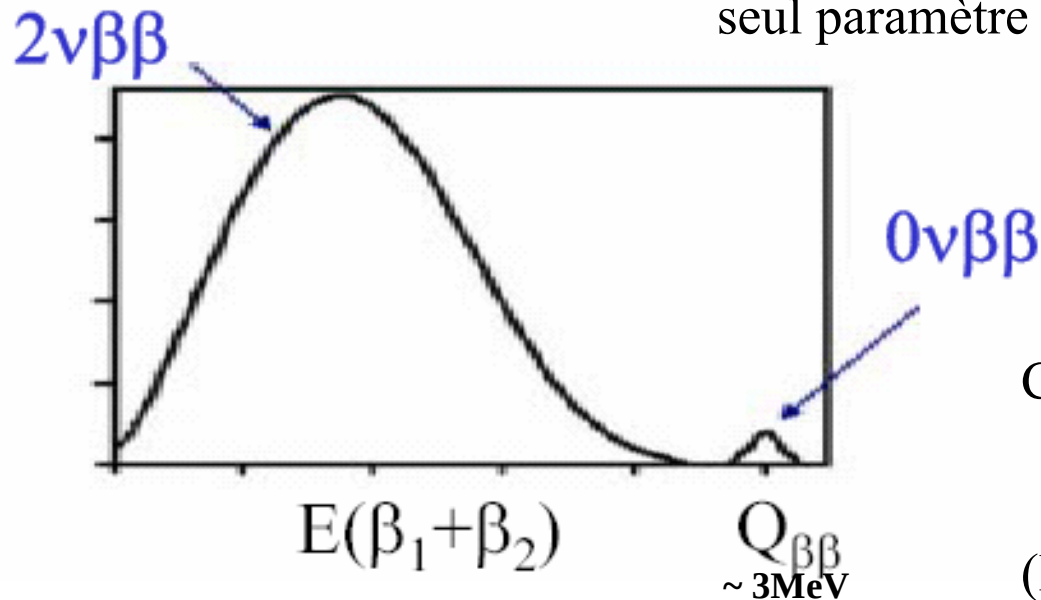
Processus activement recherché depuis plus de 30 ans !

Comment mettre en évidence une telle radioactivité ?



Σ énergies cinétiques des β^-

seul paramètre accessible à l'expérience

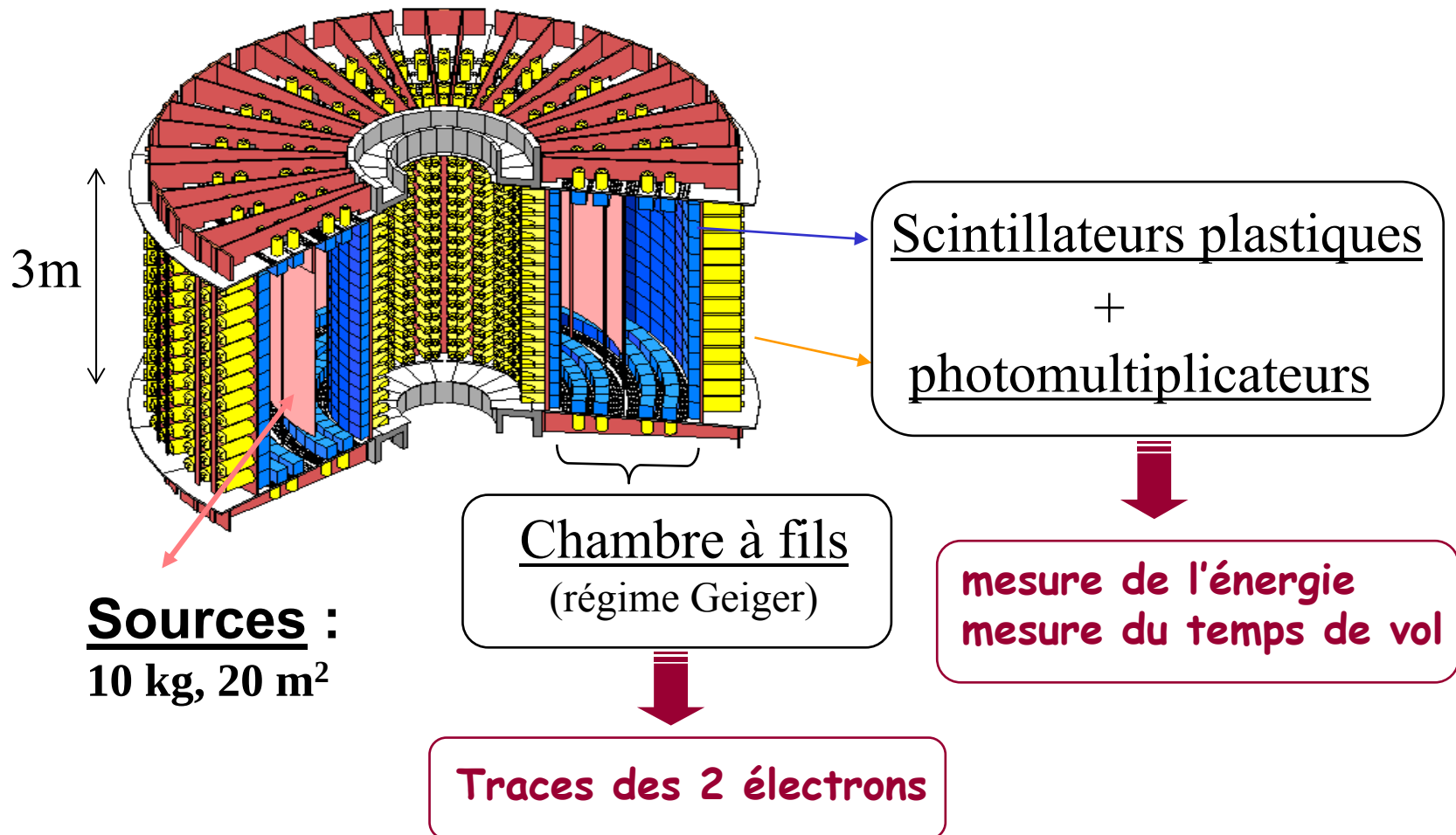


Collaboration NEMO
constituée dès 1987 !

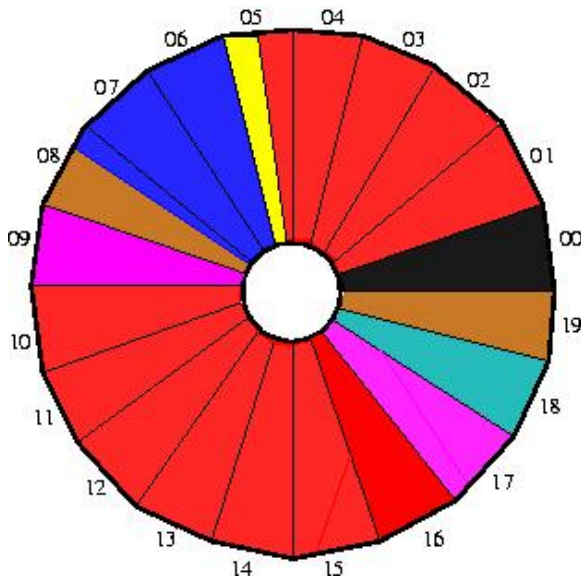
(France, Russie, USA, Tchéquie,
Finlande, Angleterre, Japon)

Le détecteur NEMO-3

Détecteur de type « physique des particules »



Enrichissement des sources



7 kg Mo¹⁰⁰

1 kg Se⁸²

0.4 kg Cd¹¹⁶

1 kg Te¹³⁰

50 g Nd¹⁵⁰

20 g Zr⁹⁶

7 g Ca⁴⁸

1 kg Te^{nat}

0.6 kg Cu



USA : 3000\$ le gramme...

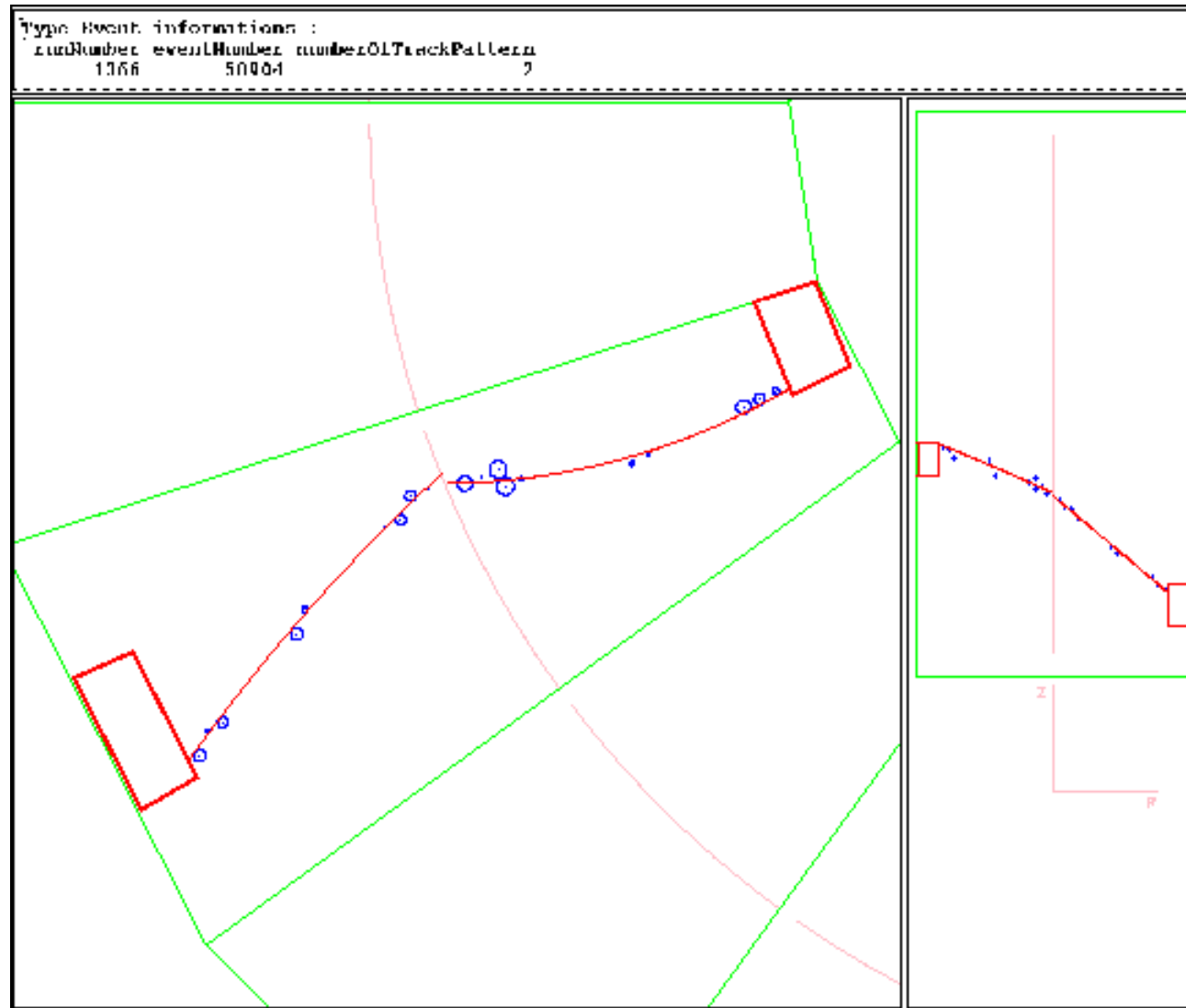
NEMO-3/Russie : 2MF les 10 kg !!!
(IN2P3 locataire)

Un très long cheminement...

- Enrichissement en Russie
- Mesure radiopureté à Modane
- Purification aux USA
- Mesure radiopureté à Modane
- Fabrication des bandes en Russie
- Mesure radiopureté et installation à Modane

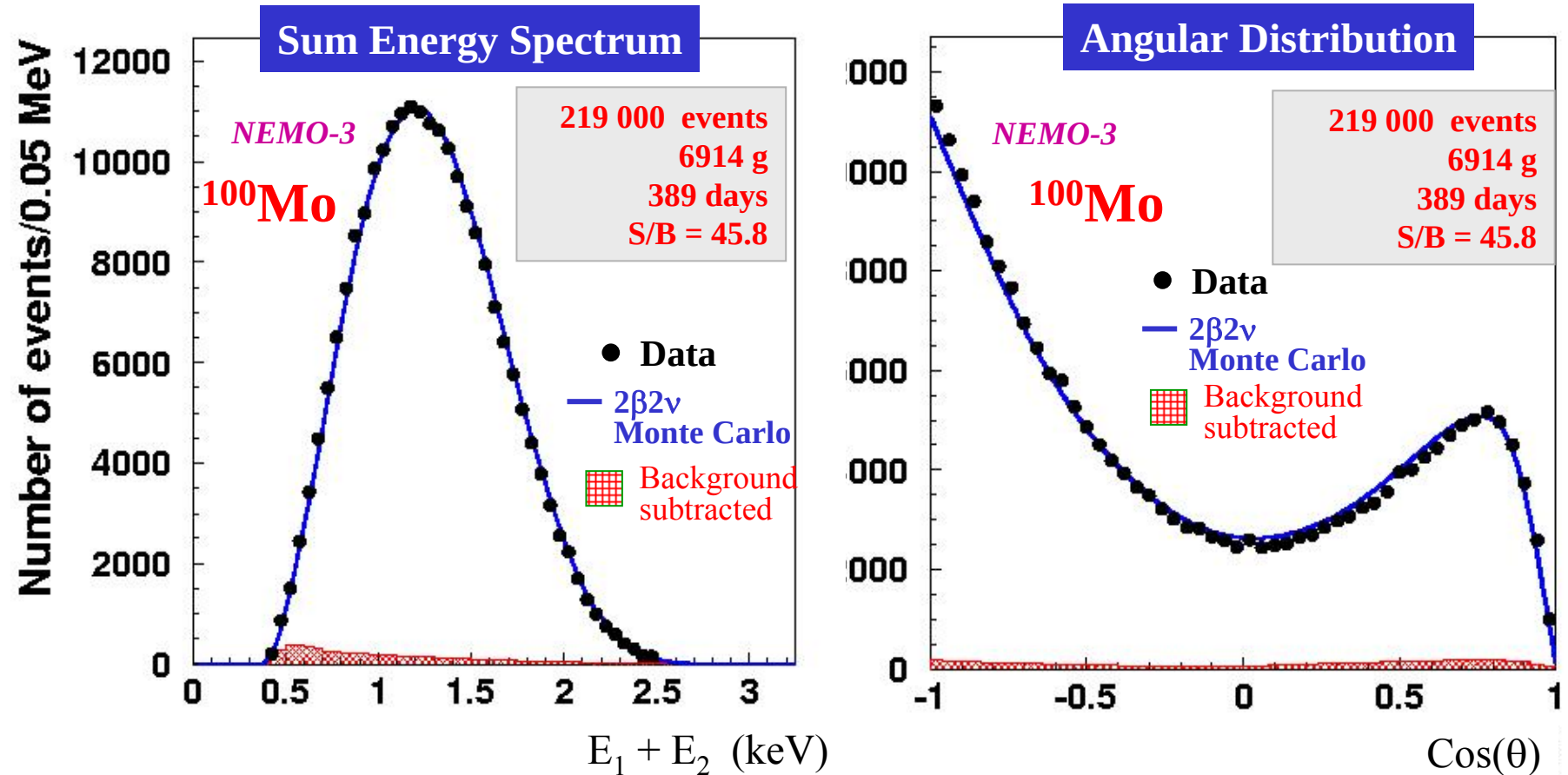
Désintégration $\beta\beta 2\nu$

$$E1+E2=1560 \text{ keV}$$



^{100}Mo $2\beta 2\nu$ preliminary results

(Data Feb. 2003 – Dec. 2004)

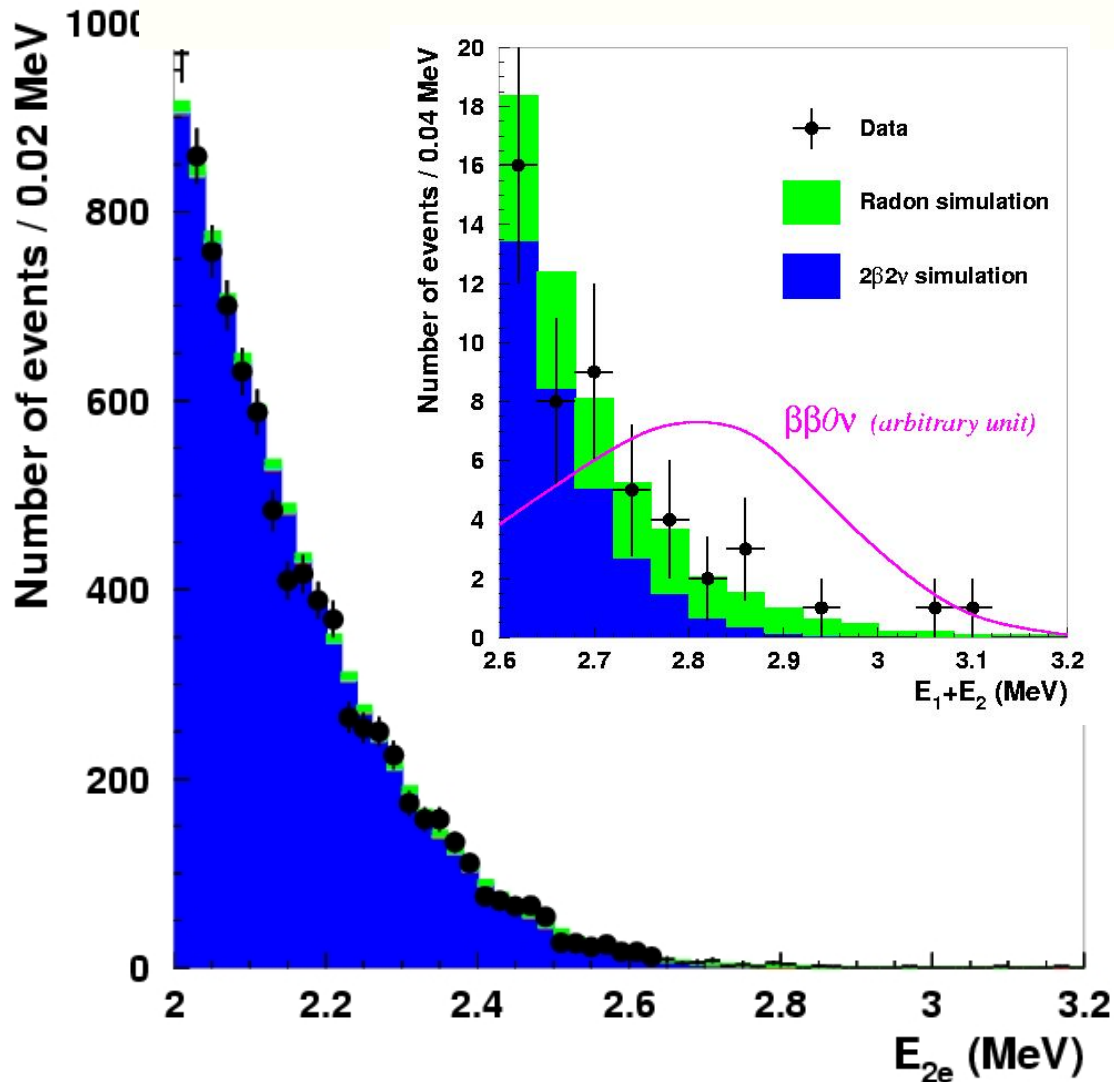


7.37 kg.y

$T_{1/2} = 7.14 \pm 0.02 \text{ (stat)} \pm 0.54 \text{ (syst)} \times 10^{18} \text{ y}$

^{100}Mo $2\beta 0\nu$ limits at 90% C.L.

$E_{2e} > 2.8 \text{ MeV}$: 8 events observed, 7 ± 1.7 events expected



V-A process

$$T_{1/2} > 4.6 \cdot 10^{23} \text{ y}$$

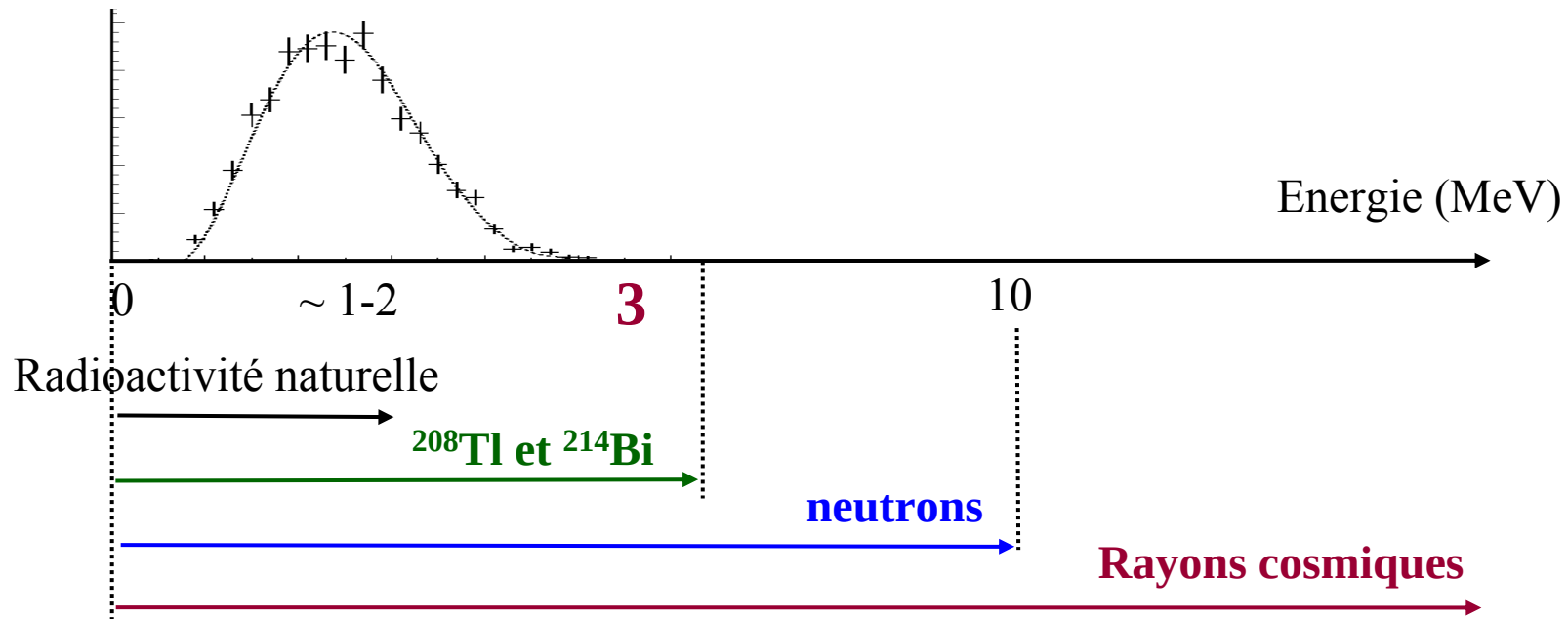
V+A process

$$T_{1/2} > 2.3 \cdot 10^{23} \text{ y}$$

Majoron

$$T_{1/2} > 1.5 \cdot 10^{22} \text{ y}$$

Origine des bruits de fond



Rayons cosmiques

10.000.000 muons/m²/jour (>200 MeV)
LSM : 4 muons/m²/jour !!

Radioactivité naturelle ^{208}Tl et ^{214}Bi

Activité du corps humain $\approx$ 5000 Bq (^{40}K)
DéTECTEUR NEMO-3 $\approx$ 300 Bq (200 tonnes) !!

Neutrons :

blindage eau, bois, paraffine ...

Sélection et contrôle de la radioactivité des matériaux

- Technique simple et rapide (>1000 échantillons)
- Technique non destructive (matériaux enrichis !)
- Pouvoir mesurer de grandes masses (~ 1 kg)
et différentes géométries (poudres, feuilles,...)
- Facilité de préparation des échantillons
- Mesurer le maximum de noyaux radioactifs
- Mesurer le déséquilibre des chaînes U/Th/Ra
- Bonne résolution en énergie (identification)
- Efficacités de détection les plus grandes possibles



Spectrométrie gamma avec détecteur Ge



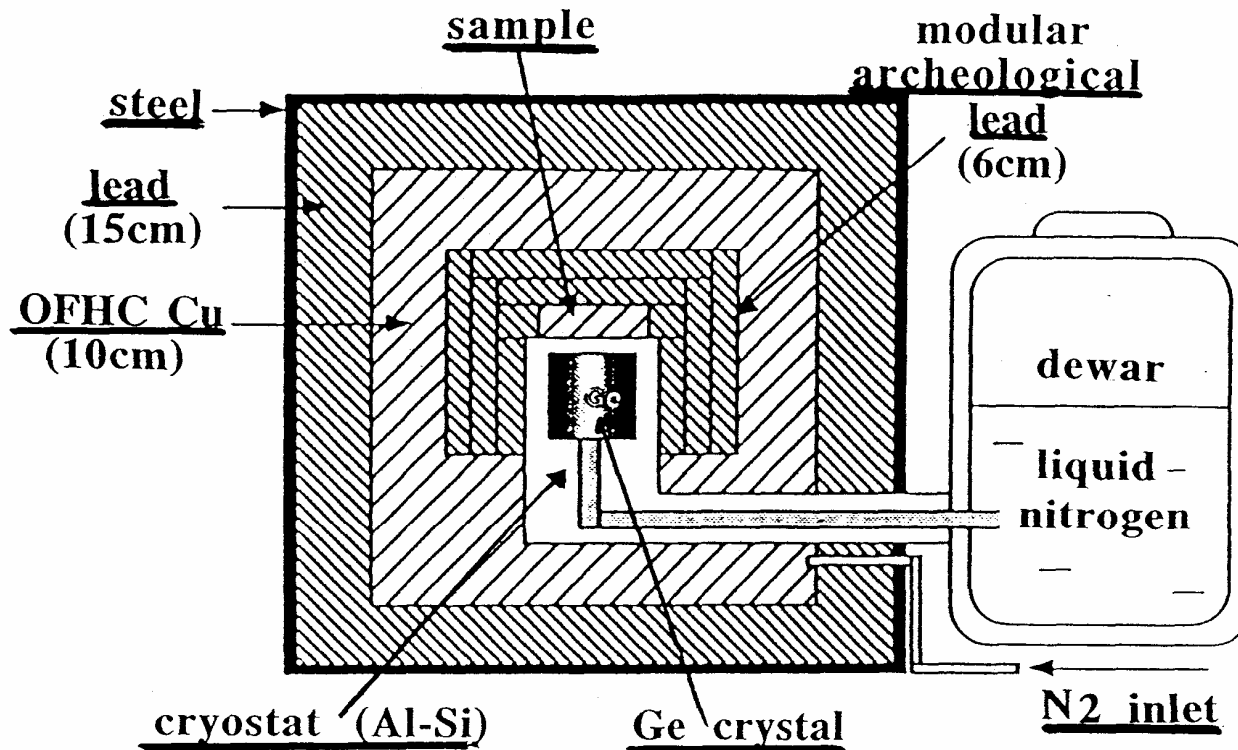
Nécessité de développer des spectromètres ultra bas bruit de fond

(En collaboration avec JL Reyss (LSCE) et Eurisys-Mesures)

Spectromètre Ge bas bruit de fond

Site souterrain (LSM)

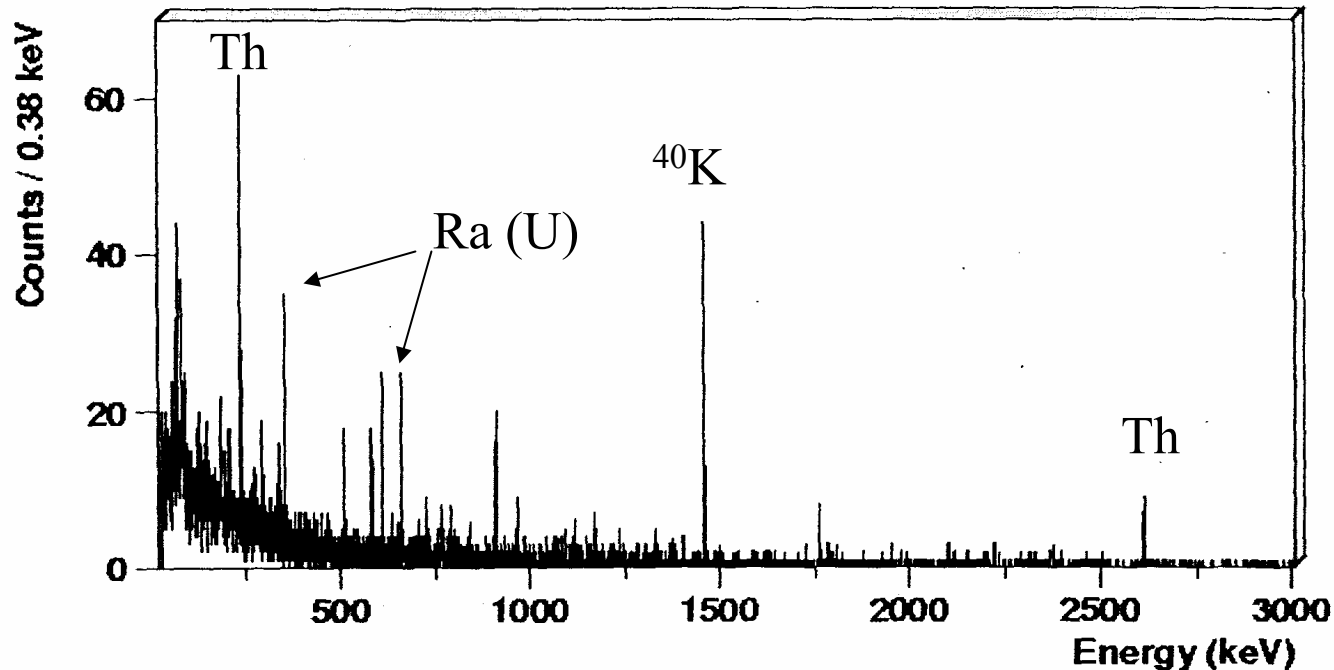
Pas de cosmiques, flux de neutrons très faible



- Sélection des matériaux du cryostat (travail itératif)
- Dispositif antiradon :
 - Pas d'espace libre
 - Suppression d'azote gaz
 - Etanchéité par feuilles d'Al ou acier

Spectre de bruit de fond

Ge 400 cm³, LSM, 42 jours



Sensibilité: 1 mois de mesure
1 kg de poudre de ¹⁰⁰Mo

²¹⁴Bi < 0,2 mBq/kg

²⁰⁸Tl < 0,06 mBq/kg

→ ~ 10⁻¹¹ g/g U

si équilibre

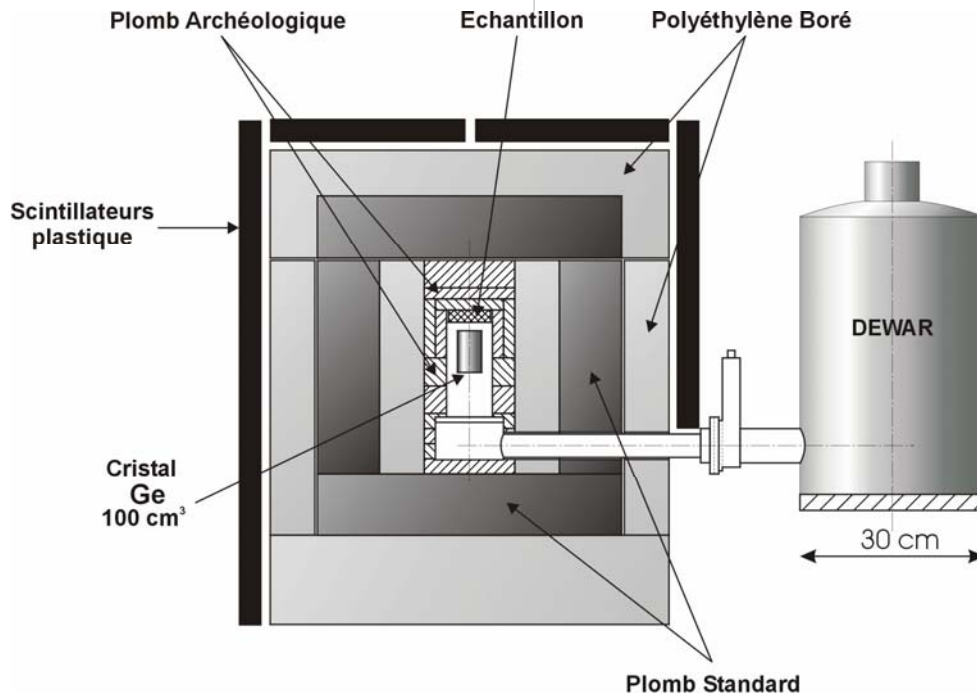
→ ~ 10⁻¹¹ g/g Th

Amélioration possible du BdF si nouveaux développements

Spectromètre Ge bas bruit de fond

Au niveau de la mer

Rayons cosmiques ~ 200 particules/m².s $\rightarrow \mu, e, \gamma, p, n$
p et n $\rightarrow$ neutrons par spallation (1 GeV p $\rightarrow$ 25 n sur du Pb)



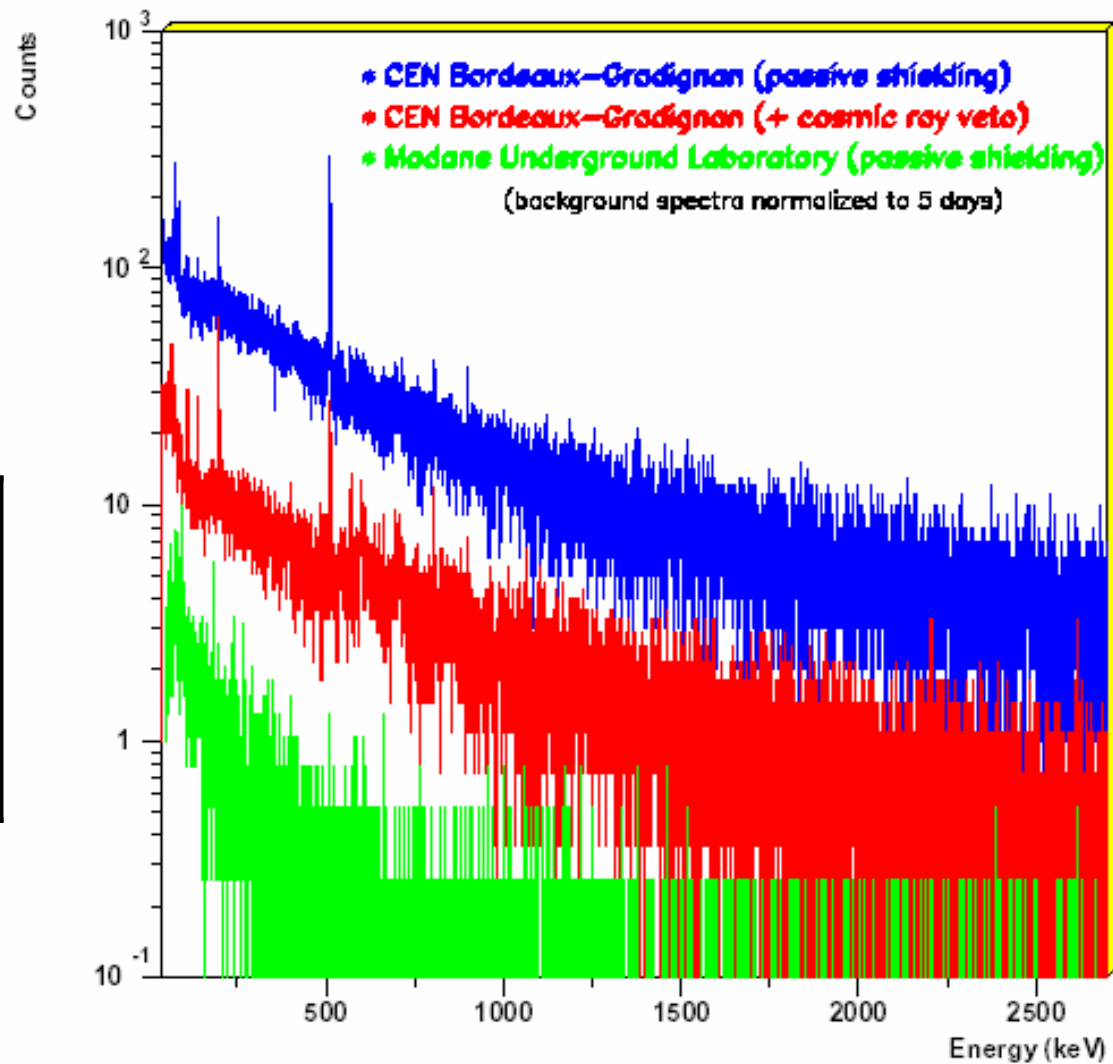
- Veto scintillateurs plastiques
- Blindage neutrons
- Blindage gamma
- Pb romain en blindage rapproché

Spectromètre Ge 100 cm³ bas bruit de fond

Sensibilité :

échantillon de 100 g et 5 jours

mBq/kg	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs
CENBG	< 30	< 20
Modane	< 10	< 8





Datation des Vins et Radioactivité

Ph. Hubert, F. Hubert, CENBG, Université Bx I

B. Médina, J. Gaye, DGCCRF Talence

J.-M. Jouanneau, DGO, Université Bx 1

Question posée par B. Médina :

Comment valider l'authenticité d'un millésime ?

Même question traduite par un physicien :

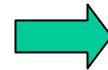
Peut-on mesurer l'année d'un vin ?

Et de plus sans ouvrir la bouteille ?

Quelle radioactivité gamma dans le vin ?

Pour avoir la meilleure précision : • Evaporation de la bouteille

• Calcination à 400 – 500 °C



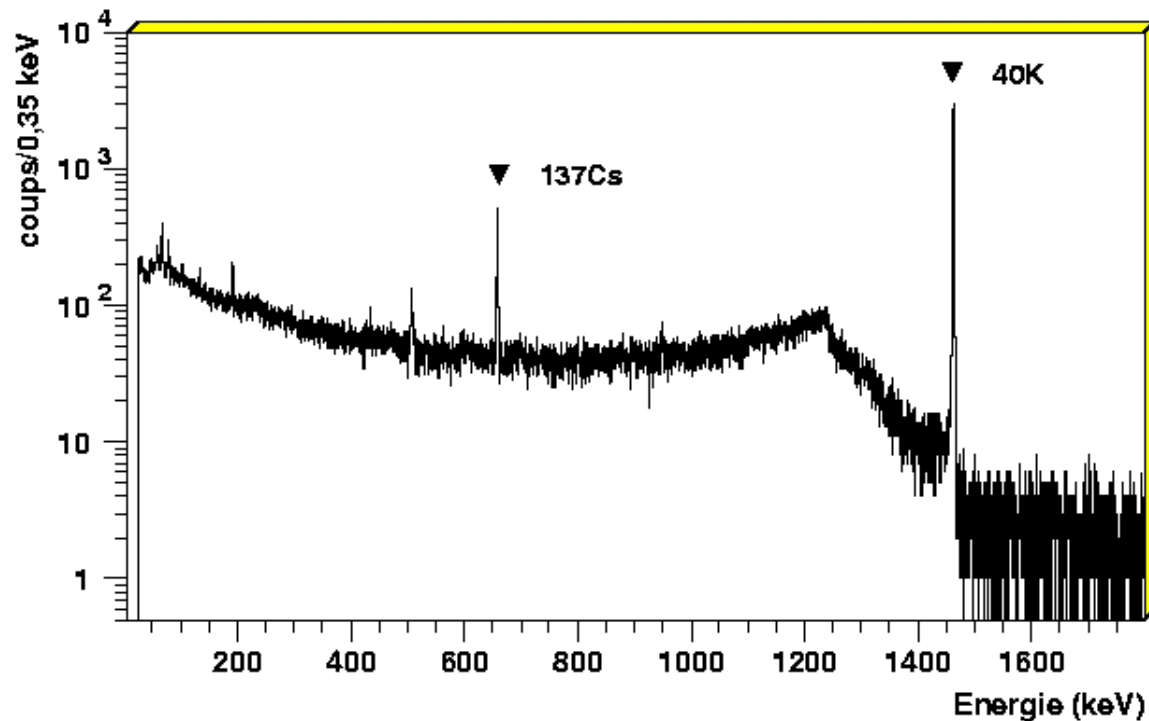
1 – 2 g de cendres

^{40}K → Il y en a partout !

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

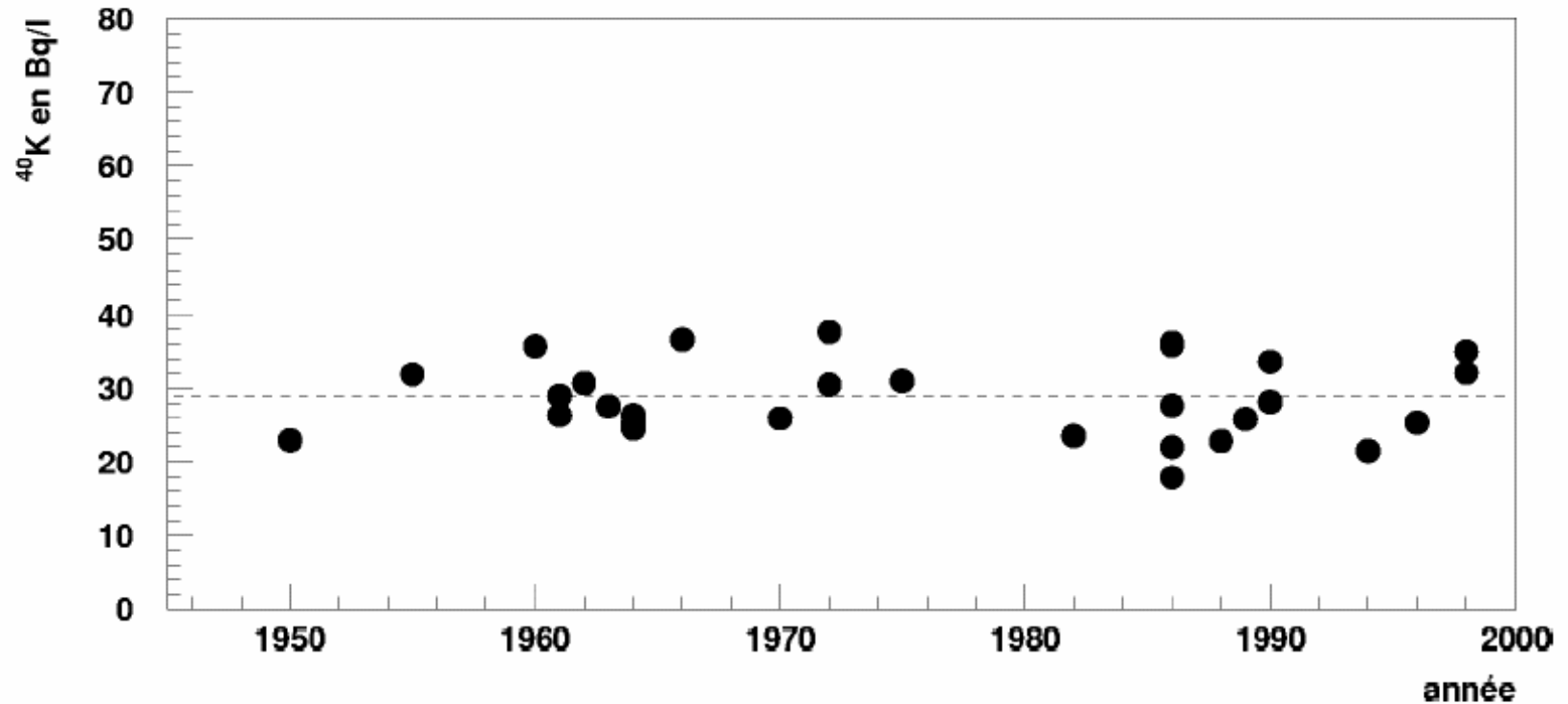


Etude sur 29 vins
de 1950 à 2000



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

Activité en ^{40}K (Bq/l)

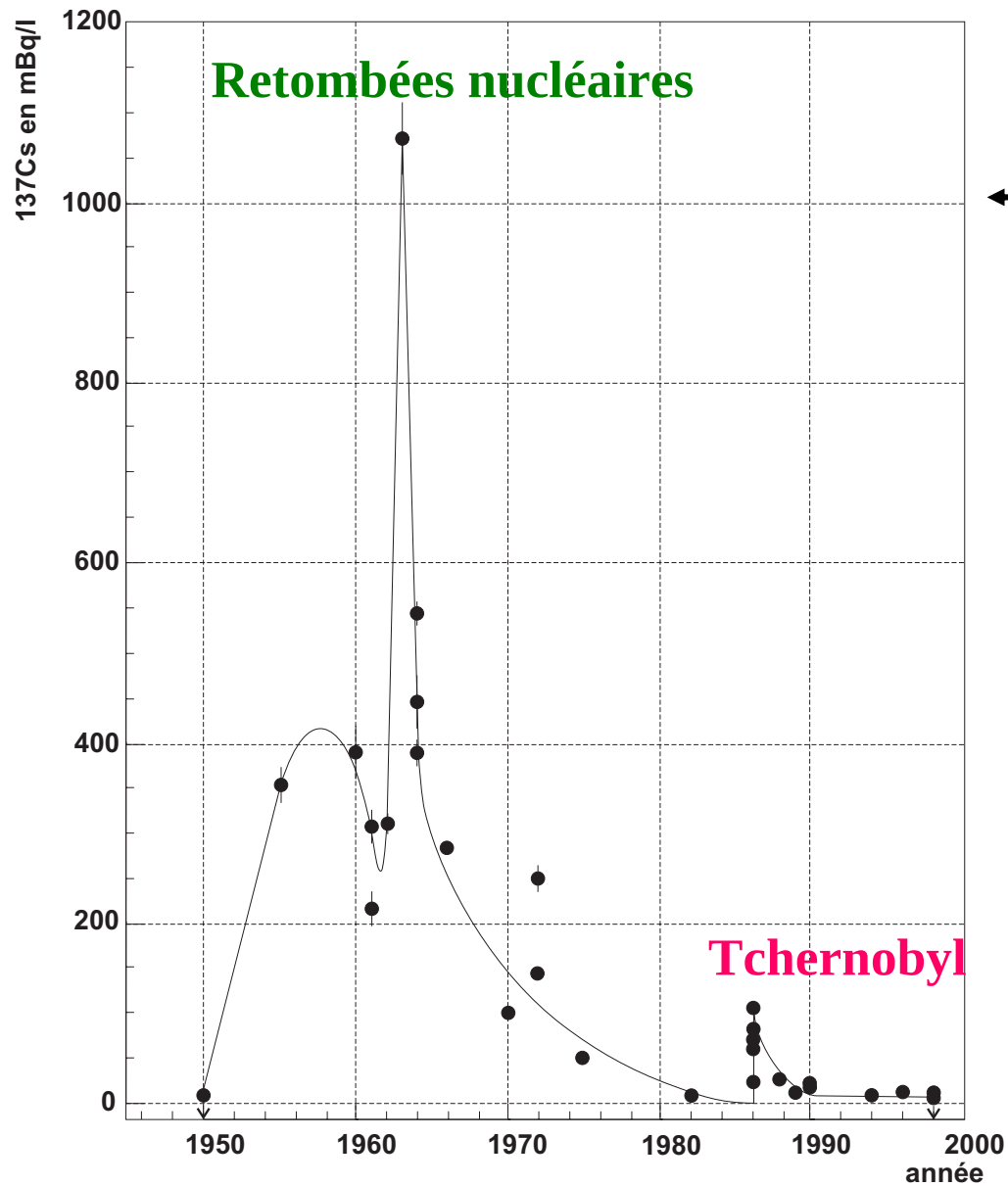


Environ 30 Bq/l $\rightarrow$ 0,9 g/l de $^{\text{nat}}\text{K}$

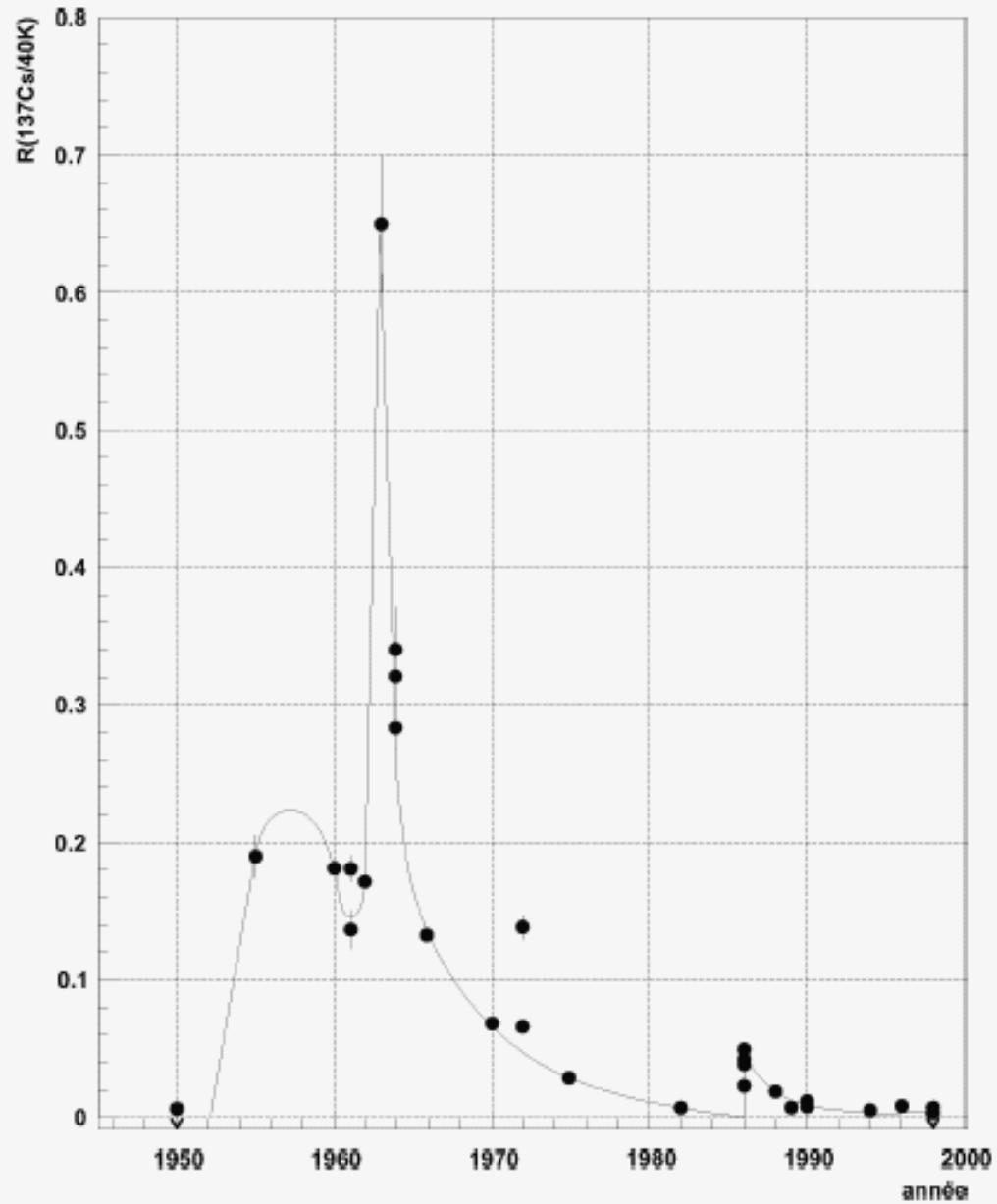
Normal, un vin est saturé en acide tartrique

Activité ^{137}Cs (mBq/l)

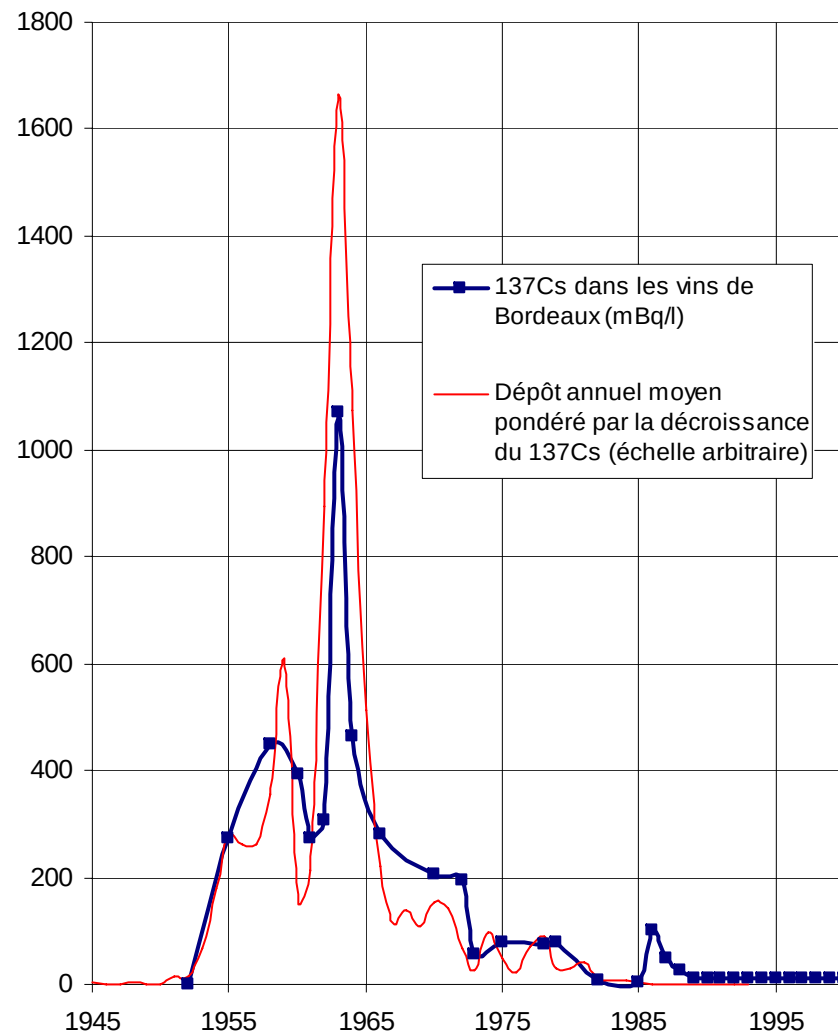
(Valeurs normalisées au 1/1/2000)



Rapport $^{137}\text{Cs} / ^{40}\text{K}$

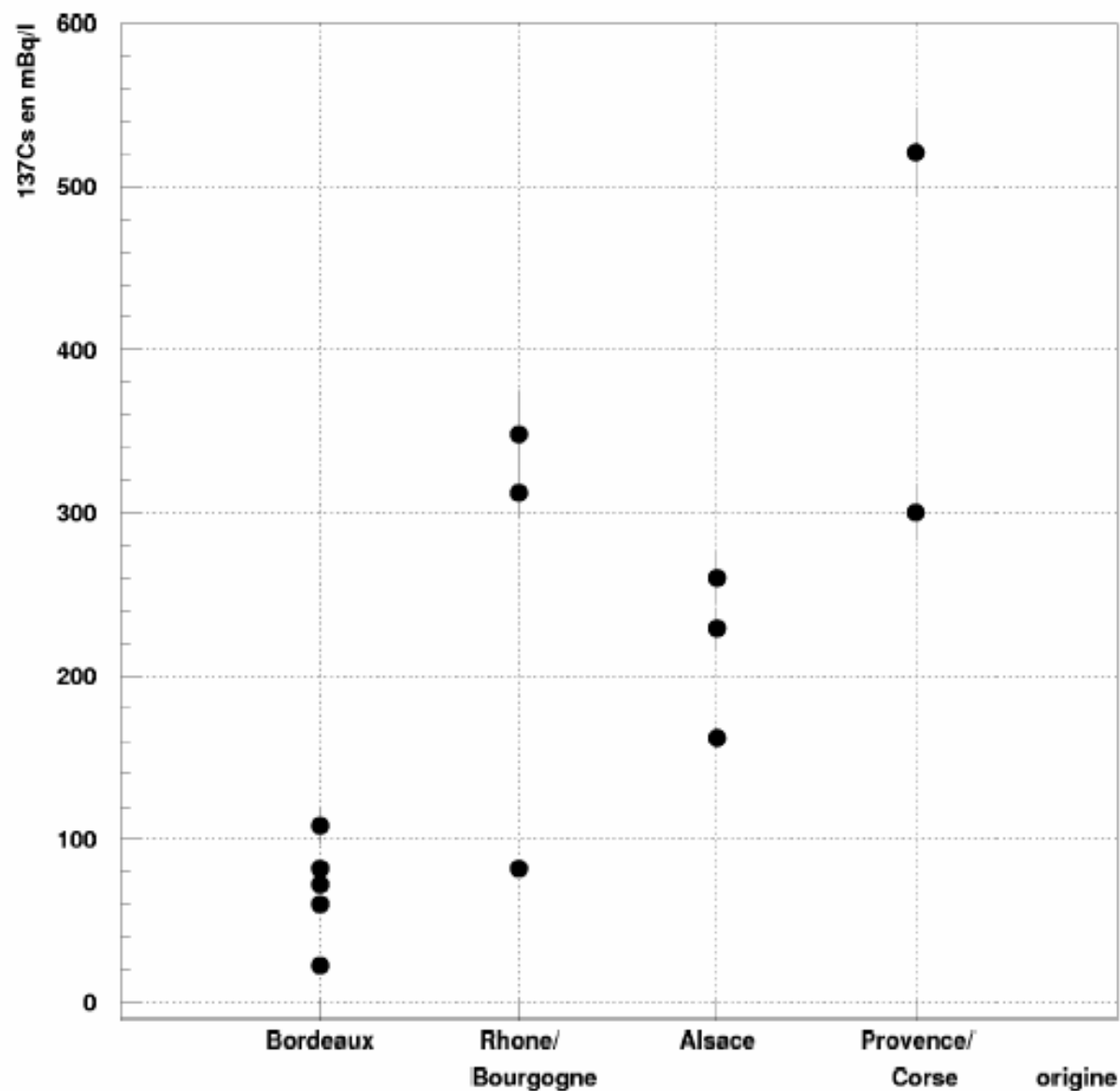


^{137}Cs dans le vin et dépôt annuel sur le sol



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

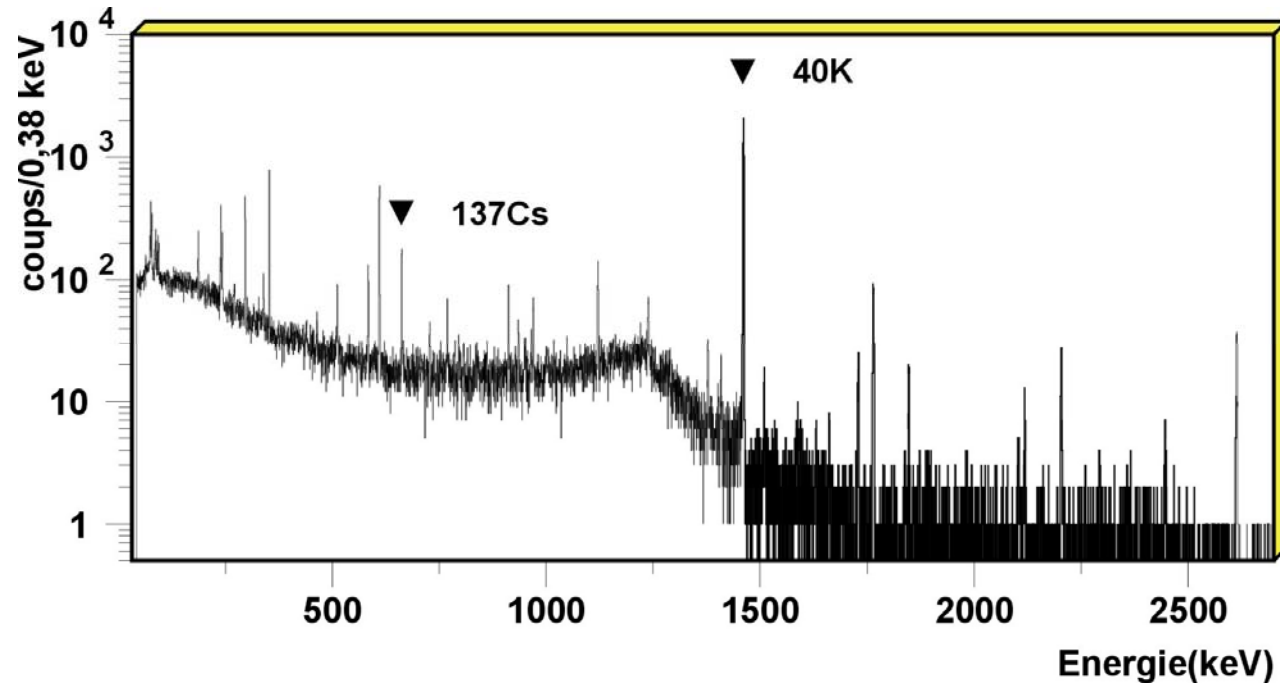


Mesures non destructives

$^{137}\text{Cs} \rightarrow$ 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

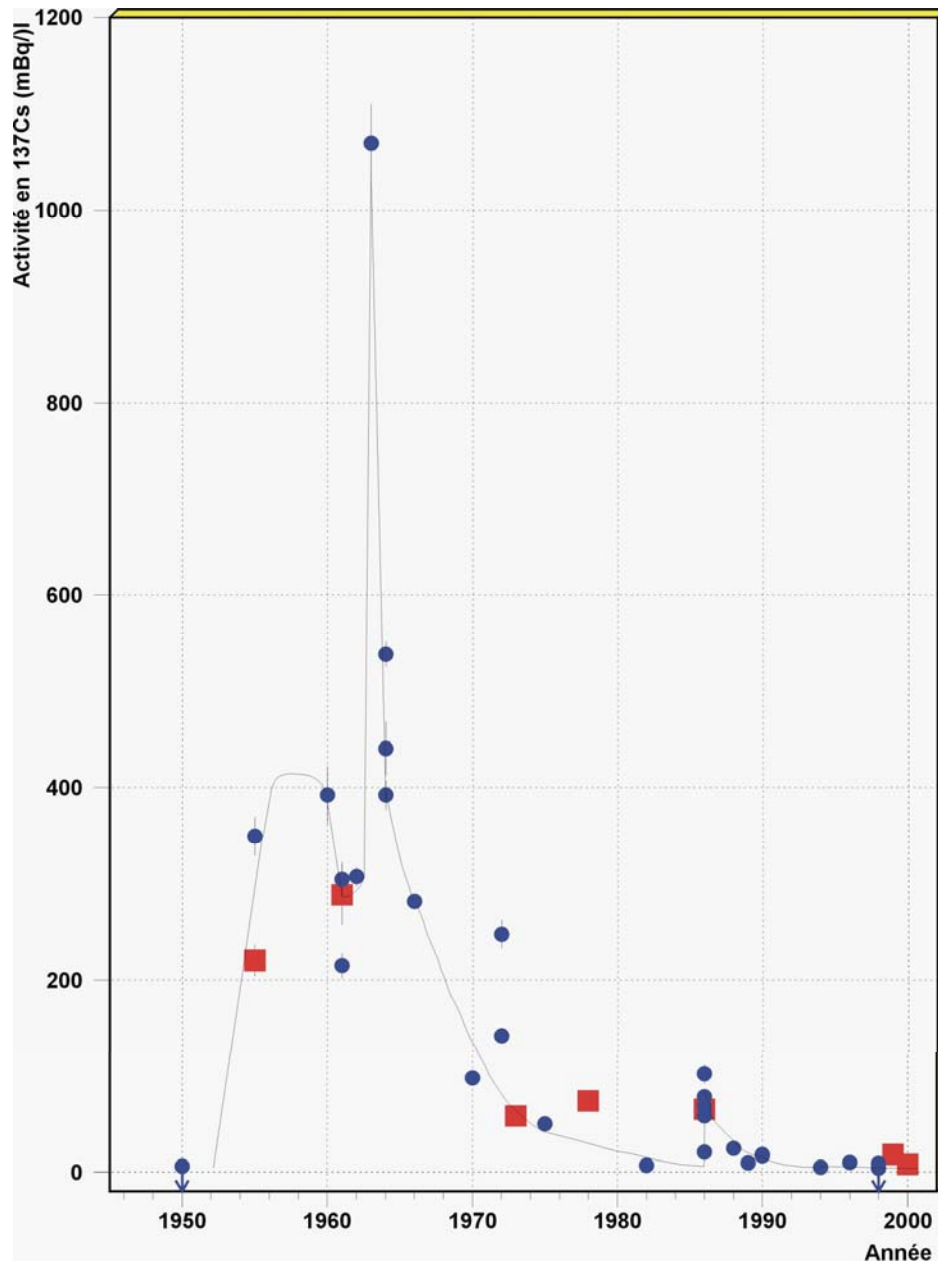
Infimes traces de ^{137}Cs dans les bouchons

ouf !



Activité ^{137}Cs (total des mesures)

(Valeurs normalisées
au 1/1/2000)



Conclusion sur la courbe ^{137}Cs

- La courbe demande à être affinée

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

Approvisionnement de « vins vieux » (1950 à 1963)

- Utilisée par la DGCCRF dans quelques cas
- Si ambiguïté ou réponse non suffisante

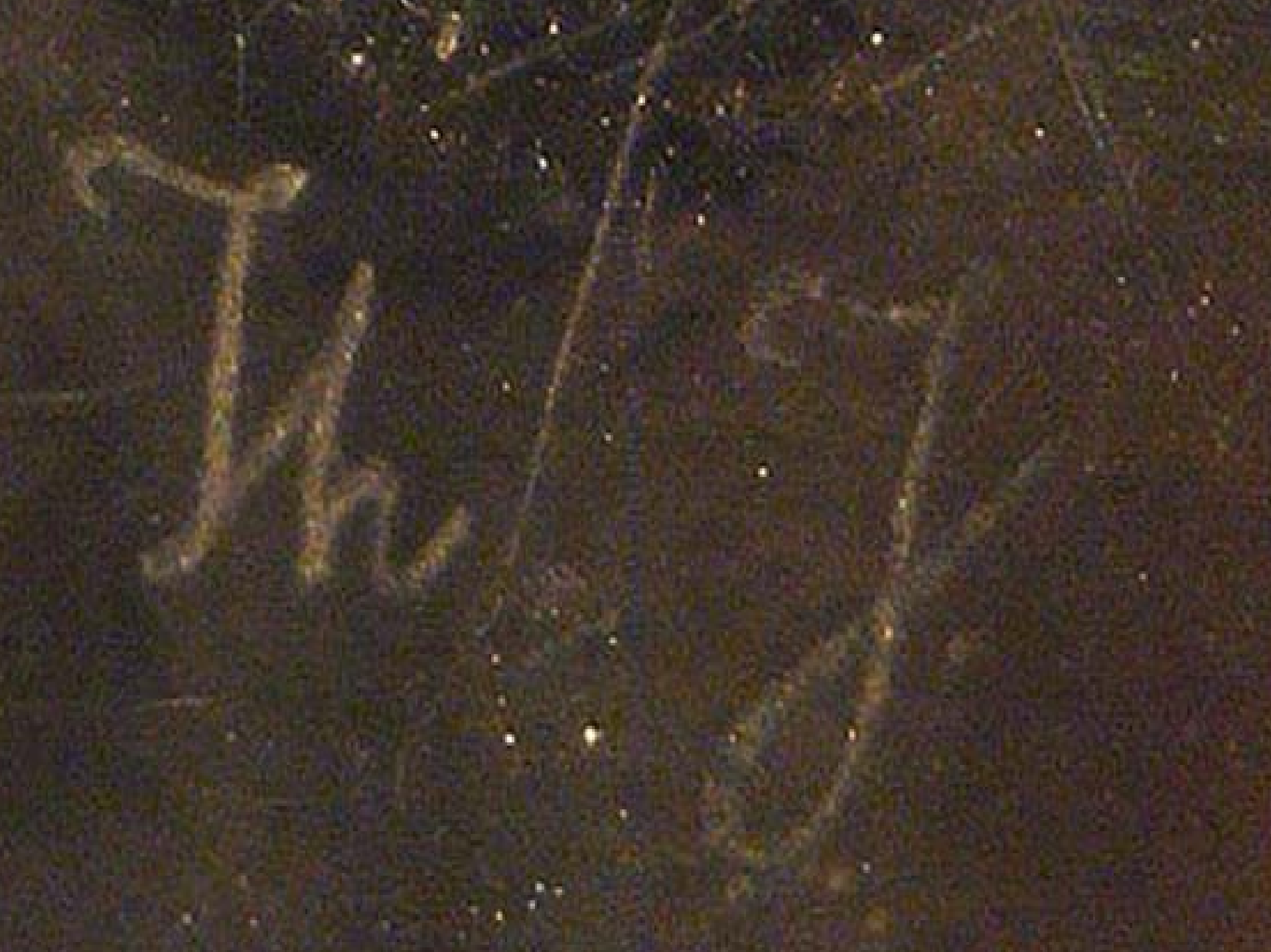


Tritium, ^{14}C , ^{210}Pb , ^{90}Sr , $^{226, 228}\text{Ra}$









Radioactivité des verres

Verre des bouteilles (en non destructif)

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

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

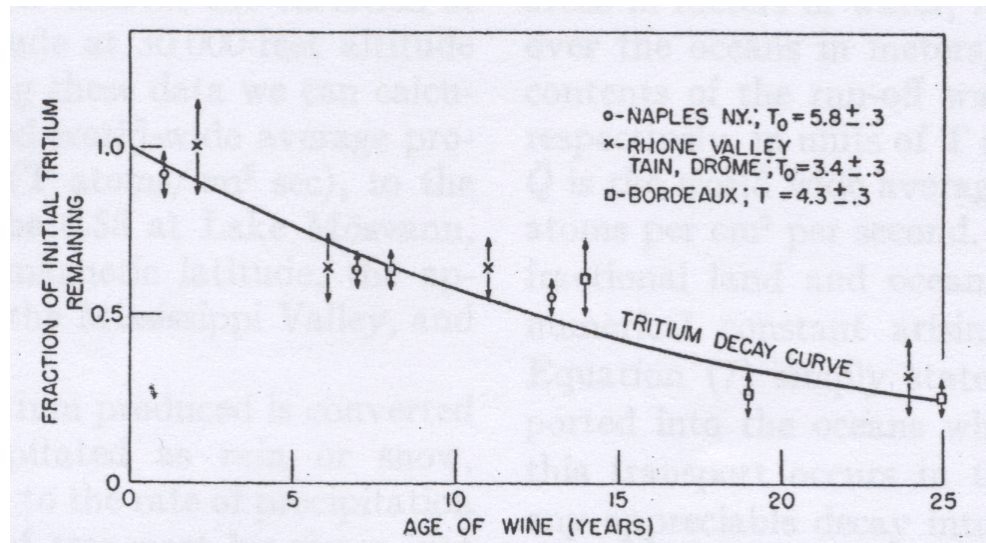
Important pour les vins très vieux !

Encore une étude à faire !

Tritium ($Q_{\beta} = 17 \text{ keV}$)

- Utilisé dès 1954 par Kaufman et Libby

[Phys. Rev 93(1954) 1337]



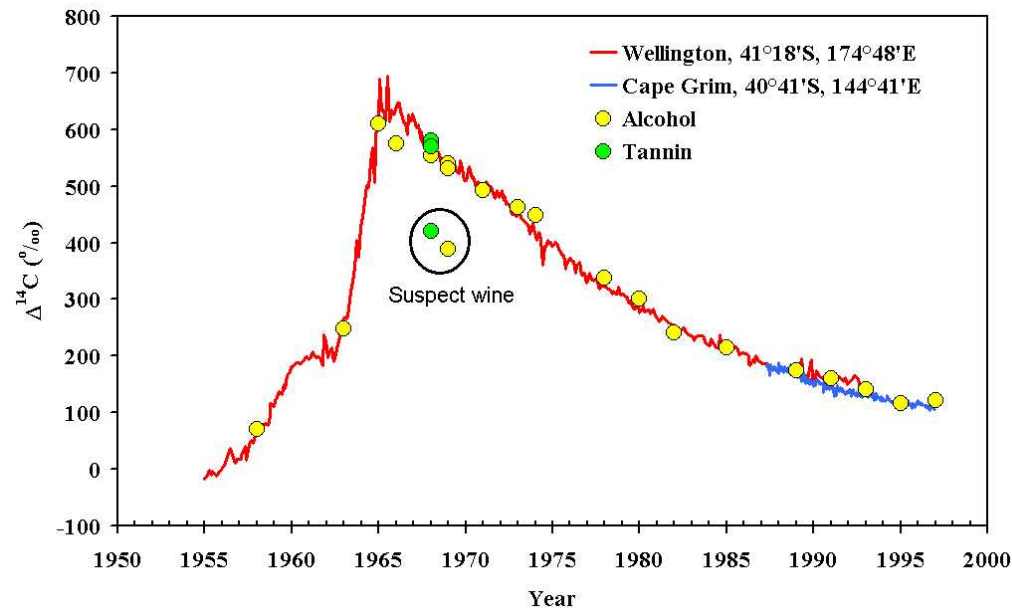
Devenu compliqué après les essais atmosphériques et l'avènement des centrales nucléaires

- Encore utilisé par Schönhofer (1993) en Autriche
- Peut être utilisé pour les alcools (Armagnac, Cognac, Calvados,...)

comme le ^{14}C

^{14}C

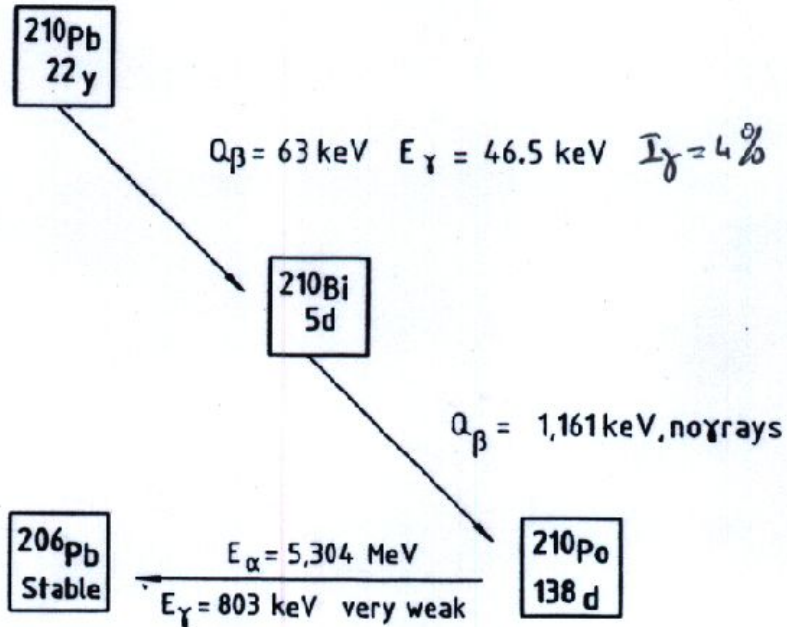
- Utilisé dès les années 1970 par Martinière et al. sur vins et alcools
(Laboratoire d'œnologie Bordeaux)
- Actuellement : Groupe d'Adélaïde (Australie) par AMS



- Technique marche bien, un peu lourde
- Ouverture de la bouteille, donc destructif
- Variation faible au delà de 1990
- Problème si ajout de sucre, acide tartrique, ...

^{210}Pb

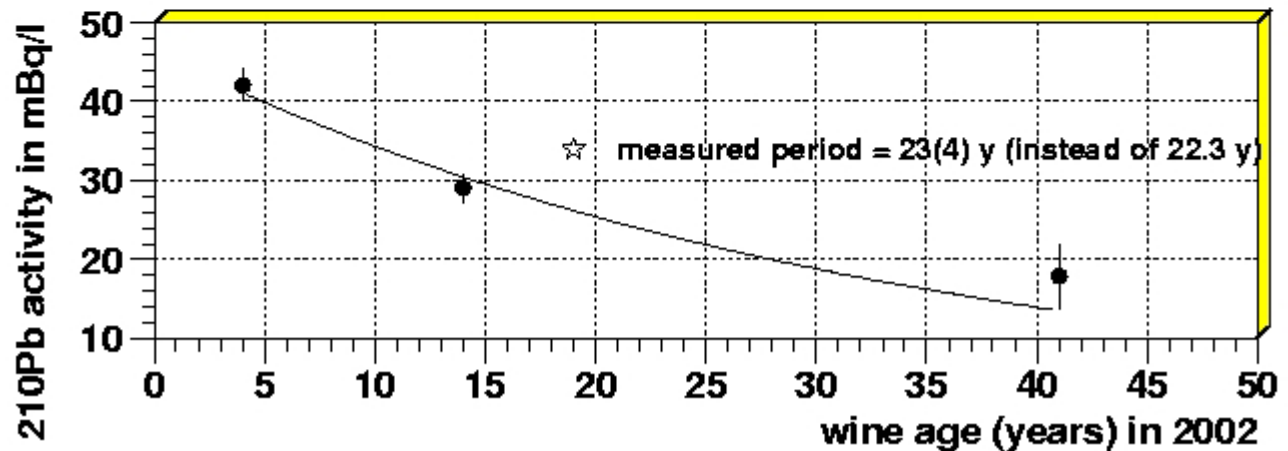
Origine du ^{210}Pb : décroissance du Rn de l'air



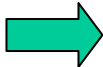
se dépose sur le sol, le raisin, ...,
avec les précipitations

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

J.L. Reyss
LSCE



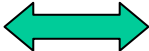


Comme ^{14}C , tritium  β^- pur $Q_\beta = 2,3 \text{ Mev}$

Comme ^{137}Cs 

- Produit de fission
- $T_{1/2} = 28,5 \text{ ans}$

- Comportements différents dans la nature

^{137}Cs		potassium
^{90}Sr		calcium

- Etude en Italie

^{137}Cs absorbé préférentiellement par les feuilles

^{90}Sr absorbé préférentiellement par les racines



Etude à faire : Quelle courbe en ^{90}Sr en fonction du millésime ?

Isotopes de Ra

^{226}Ra (U), ^{228}Ra (Th), faibles (< 50 mBq/l), présents dans beaucoup de vins, mais pas dans tous !

Rappels :

$$^{226}\text{Ra } T_{1/2} = 1600 \text{ ans}$$

$$^{228}\text{Ra } T_{1/2} = 5,7 \text{ ans} ; ^{228}\text{Th } T_{1/2} = 1,9 \text{ ans}$$

$$\text{Pour un vin récent } A(^{226}\text{Ra}) = A(^{228}\text{Ra})$$

$$A(^{228}\text{Th}) = 0$$

Test sur des St Emilion 1999, mesurés en 2003 :

$$A(^{226}\text{Ra}) = 20 \text{ mBq/l}$$

$$A(^{228}\text{Ra}) \sim 10 \text{ mBq/l} \rightarrow \text{OK !}$$

$$A(^{228}\text{Th}) \sim 10 \text{ mBq/l} \rightarrow \text{OK !}$$

Autre test (avec Ge puits) Sémillon 2003 (mesuré fin 2003) :

$$A(^{226}\text{Ra}) = 21(1) \text{ mBq/l}$$

$$A(^{228}\text{Ra}) = 30(3) \text{ mBq/l}$$

$$A(^{228}\text{Th}) / A(^{228}\text{Ra}) = 0,25 \rightarrow 8 \text{ mois} \rightarrow \text{OK}$$

Conclusion

Expérience de physique fondamentale

(neutrino, matière noire)



Développements techniques



Autres disciplines

Œnologie + Spectrométrie gamma bas bruit de fond

- Datation non destructive par ^{137}Cs
- Utilisée par la DGCCRF
- Datation des vins « jeunes » par ^{137}Cs , ^{210}Pb , Ra's

Vieux rêve des œnologues : reconnaître le terroir !

Pourquoi pas en recherchant tous les isotopes radioactifs ?

Pourquoi ne pas associer le vin, les pruneaux, le chocolat, le sel, etc...?

Vers l'identification du terroir ?

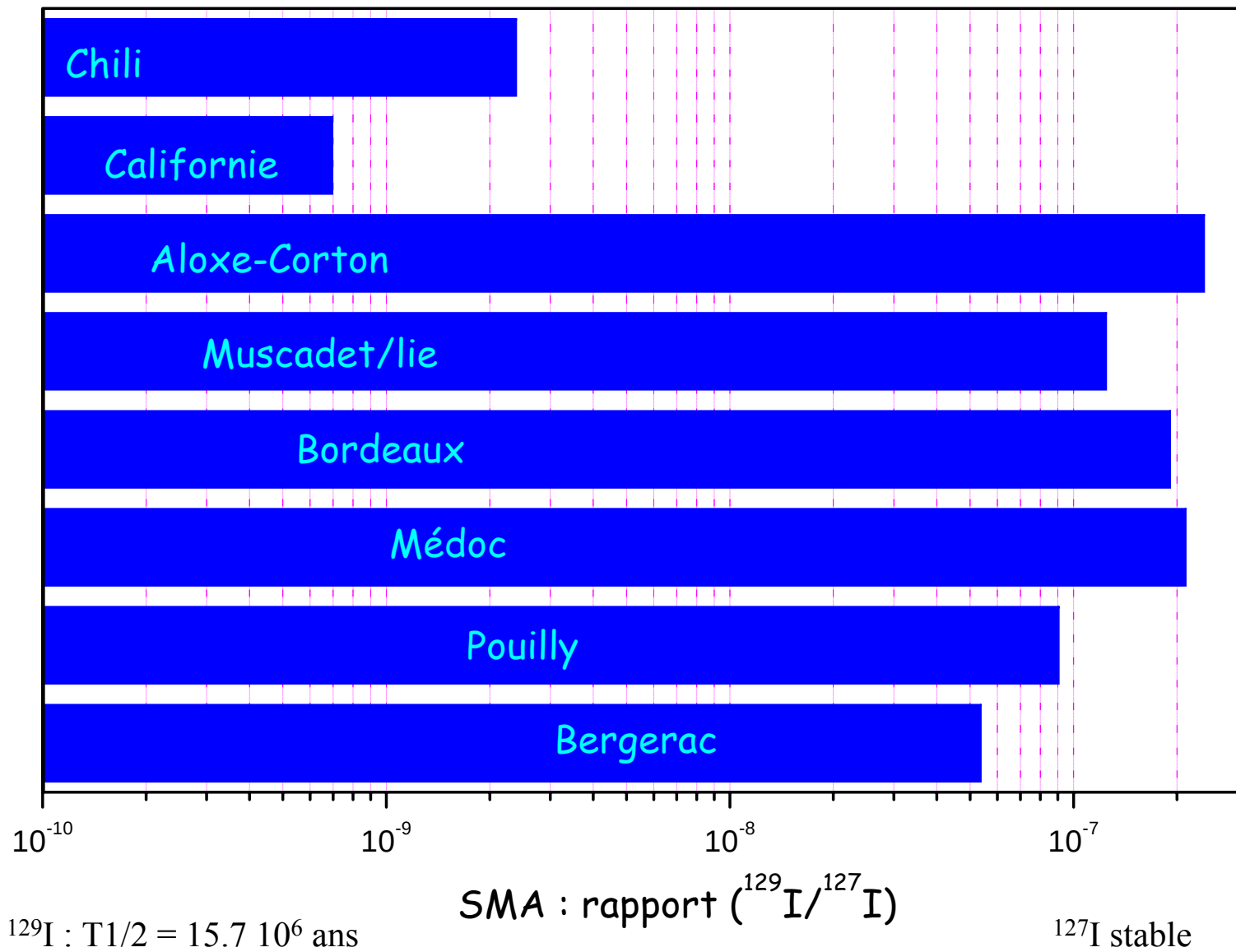
Problème de la spectrométrie gamma : 30 Bq/l de ^{40}K

Le fond Compton et le bremsstrahlung de l'électron (90%) limitent sérieusement la sensibilité de mesure, surtout pour le ^{210}Pb et les radium

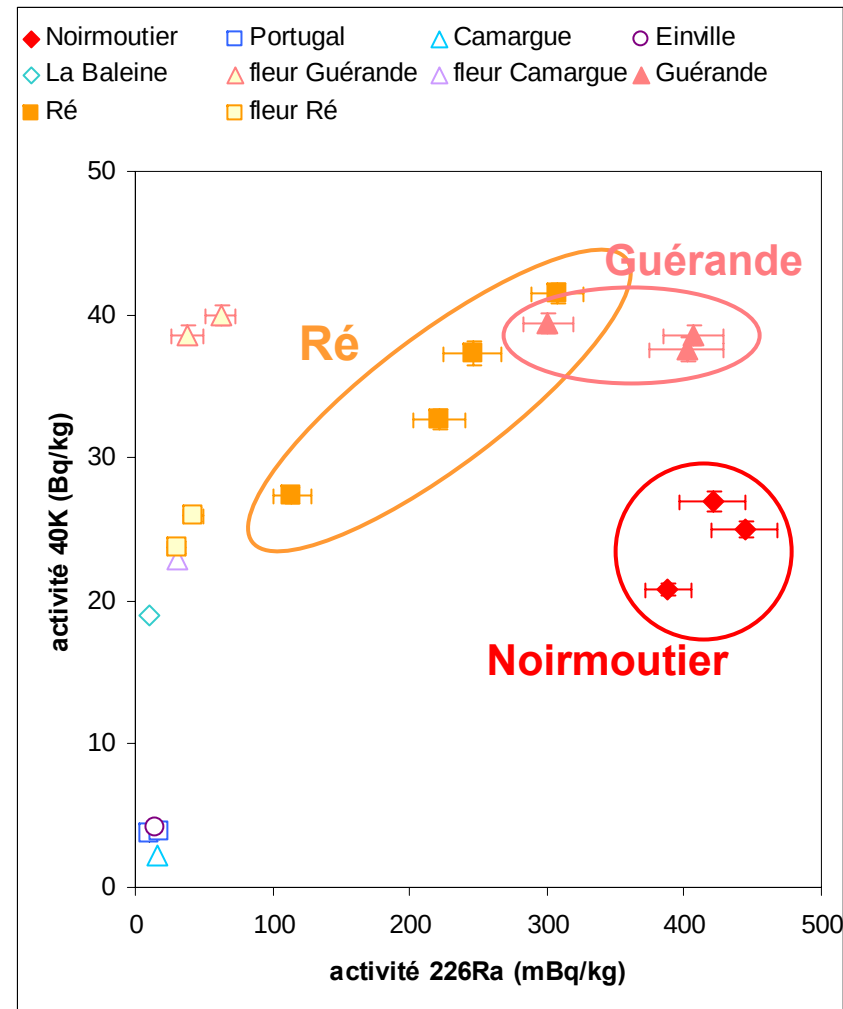
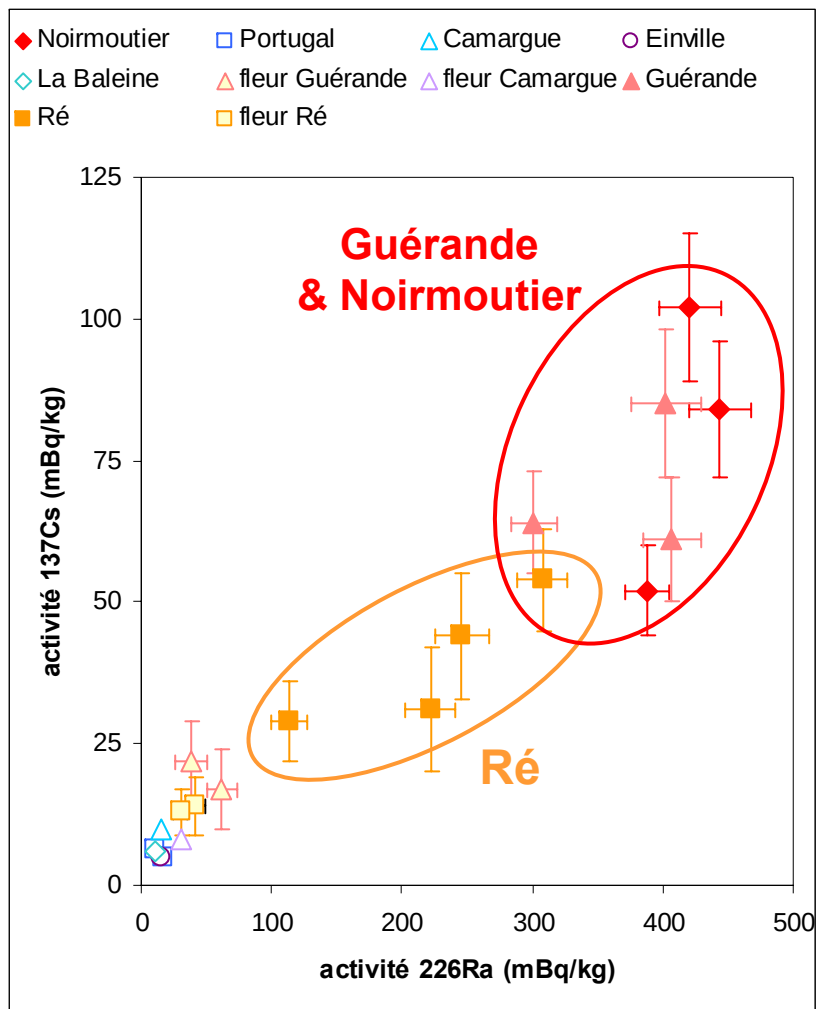


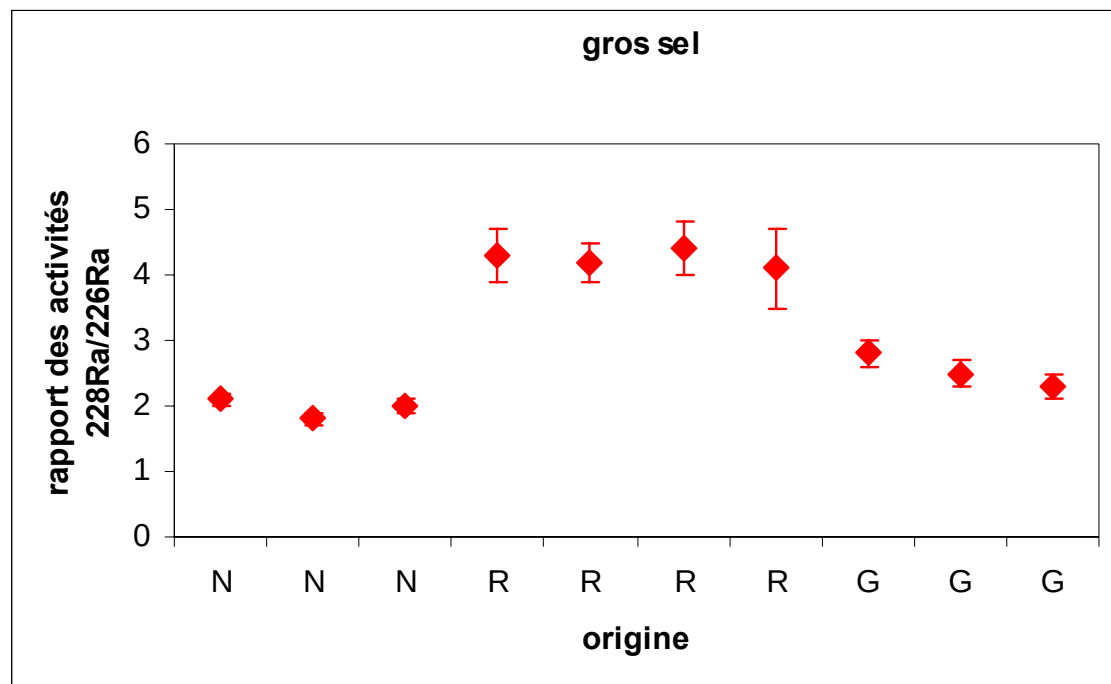
Il faut associer d'autres techniques:

- 1) Radiochimie + spectro α : en développement à Bordeaux
- 2) SMA (Spectrométrie de masse sur accélérateur) : premiers résultats très intéressants au CSNSM (C. Fitoussi)



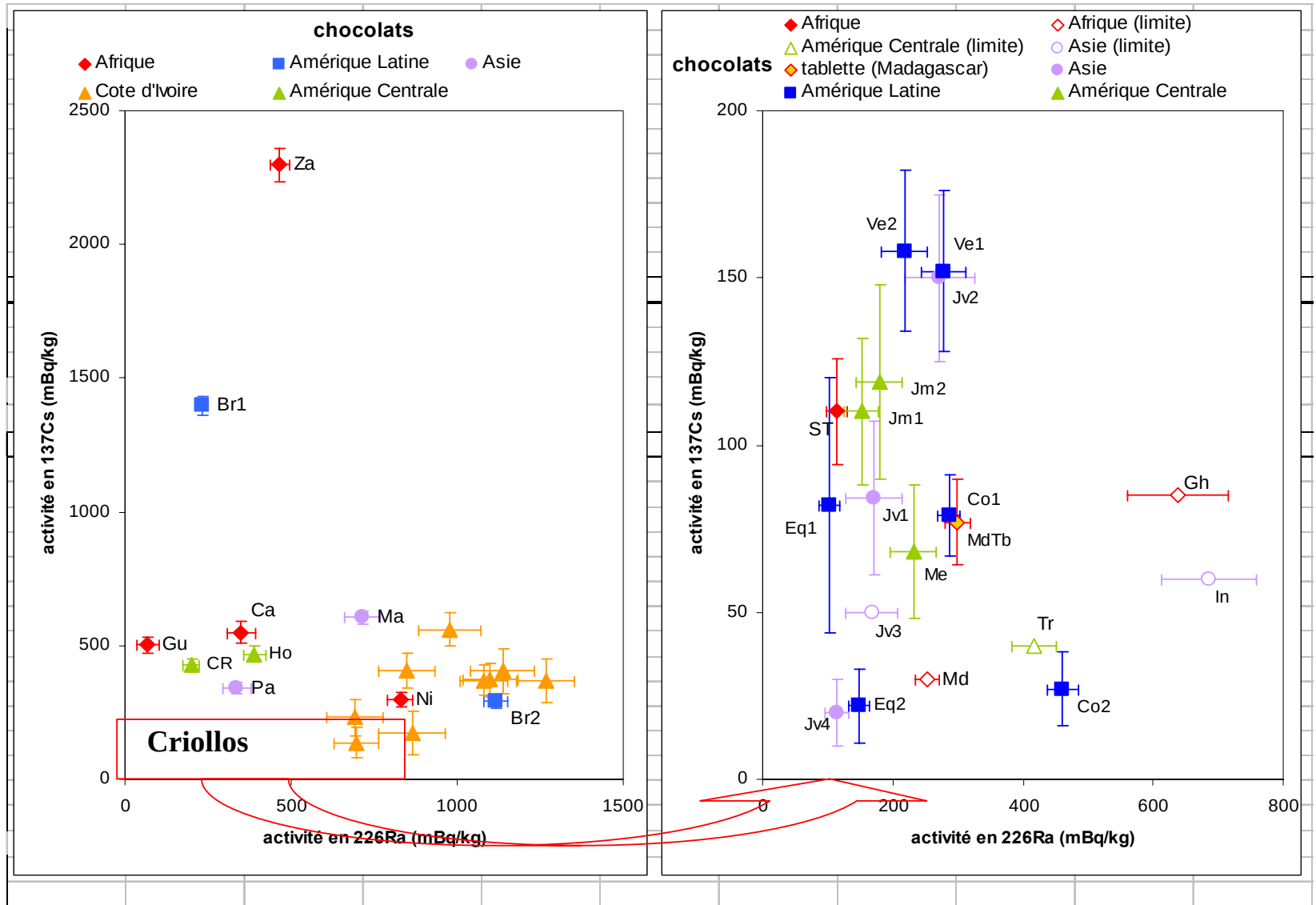
Sels de l'Atlantique

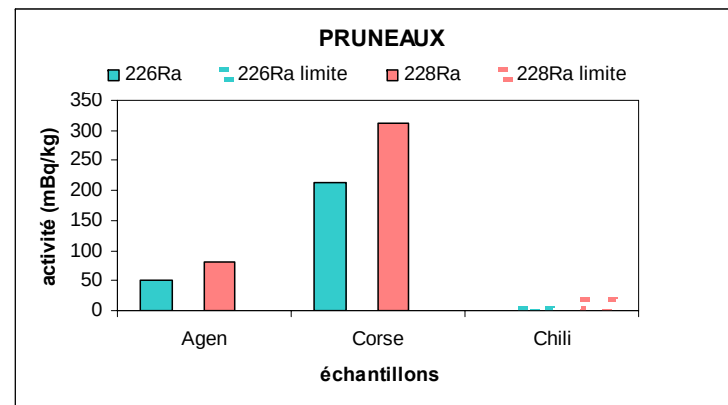
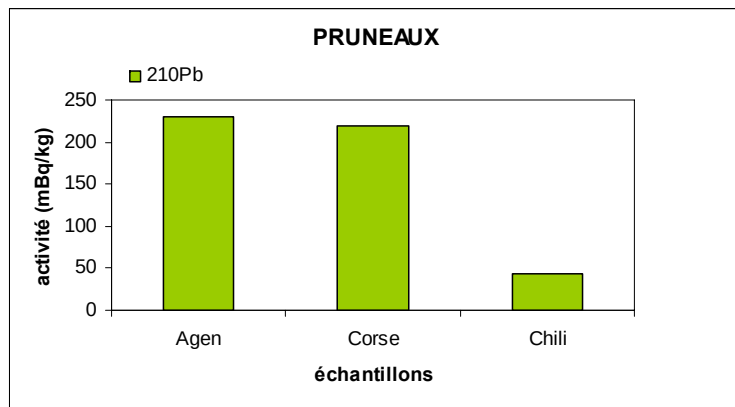
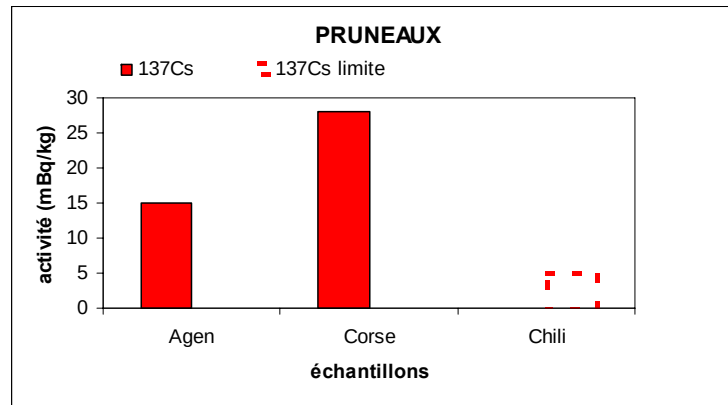
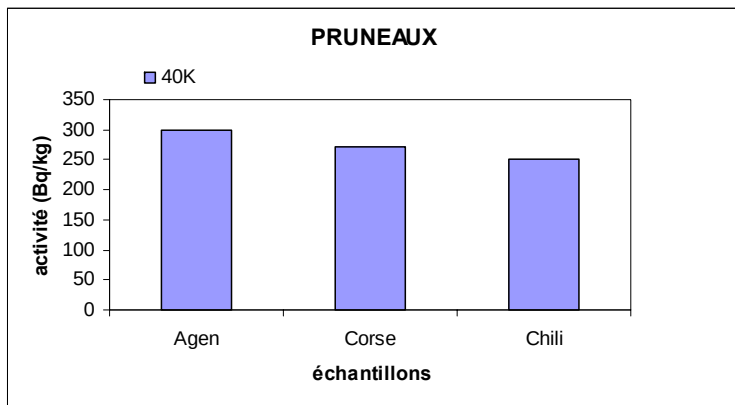




N : Noirmoutier
R : Ré
G : Guérande

Fèves de cacao





Critères de départ :

- Pouvoir « regarder » plusieurs kg d'émetteurs $\beta\beta$
- Pouvoir « regarder » différents isotopes
- Etudier evt/evt $\Rightarrow$ tracking des électrons
- Mesurer l'énergie des $\beta \Rightarrow$ calorimètre
- Détection des $\alpha, \gamma \Rightarrow$ études du BdF

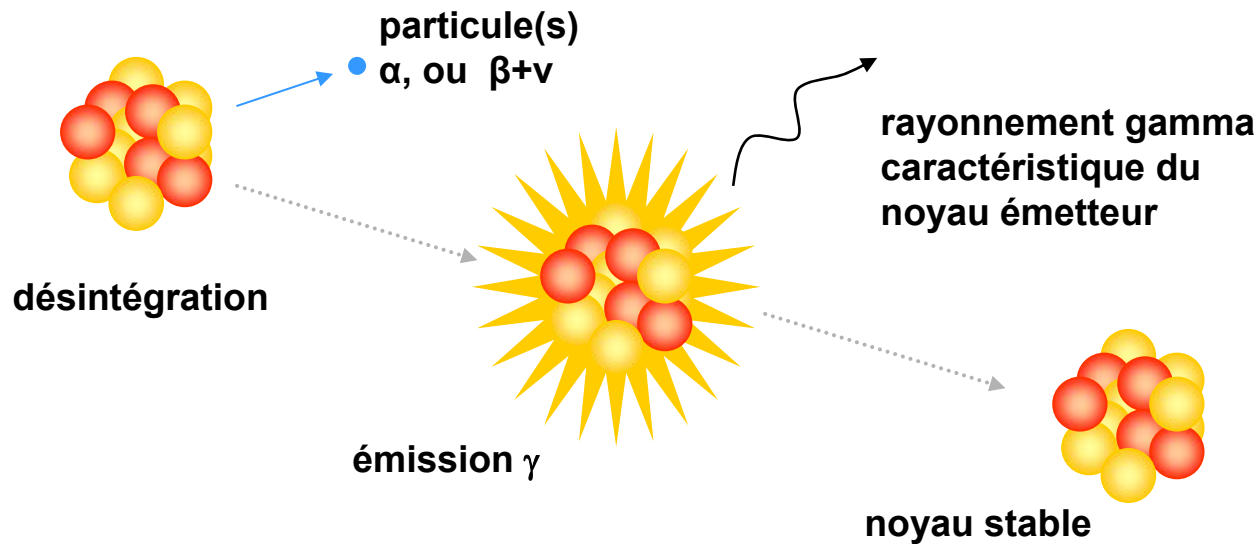
Réduction du BdF

- par sélection de matériaux « radiopures »
- par blindage γ , neutrons et radon
- par temps de vol des e^-
- par champ magnétique (paires e^+, e^-)

Radioactivité

Quatre radioactivités principales :

- ♦ Alpha (α) : émission d'un noyau d'hélium
- ♦ Béta - (β^-) : émission d'un électron et d'un neutrino
- ♦ Béta + (β^+) : émission d'un positron et d'un neutrino
- ♦ Gamma (γ) : émission d'un photon



Sensibilité en 5 ans de prise de données

^{100}Mo (6,9 kg) $Q = 3,034 \text{ MeV}$

$N_{\text{BdF}} = 0,2 \text{ evts/an*kg}$ | $\beta\beta(2\nu) \approx 0,11$

$^{214}\text{Bi} < 0,04$

$^{208}\text{Tl} < 0,04$

$T_{1/2} > 8 \cdot 10^{24} \text{ ans}$

$\langle m_\nu \rangle < 0,1 - 0,3 \text{ eV}$ (90% C.L.)

Conditions :

$^{214}\text{Bi} < 0,3 \text{ mBq/kg}$

$^{208}\text{Tl} < 0,02 \text{ mBq/kg}$

^{82}Se (0,93 kg) $Q = 2,995 \text{ MeV}$

$N_{\text{BdF}} = 0,02 \text{ evts/an*kg}$ | $\beta\beta(2\nu) \approx 0,01$

$^{214}\text{Bi} < 0,01$

$^{208}\text{Tl} < 0,01$

$T_{1/2} > 1,5 \cdot 10^{24} \text{ ans}$

$\langle m_\nu \rangle < 0,45 - 1,2 \text{ eV}$ (90% C.L.)

