

Détermination des demi-vies de ^{23}Mg et ^{27}Si et du rapport d'embranchement de ^{23}Mg

Rencontres Jeunes Chercheurs 2014 – Cécile Magron

Directeur de thèse : Bertram Blank



Sommaire

- Un peu de théorie
- Expérience JYFL13
- Analyse
- Résultats préliminaires

Introduction

- 4 forces fondamentales :

- La gravité

- L'interaction nucléaire forte

- L'interaction électromagnétique

- L'interaction faible



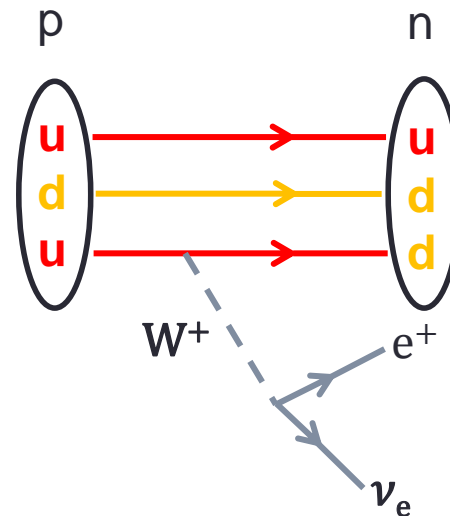
- Interaction nucléaire forte : cohésion du noyau (portée $\sim fm$)
- Interaction électromagnétique : agit entre des particules chargées (portée ∞)
- Interaction faible : phénomènes nucléaires (portée $\leq 10^{-1} fm$)

➡ décroissance β

Un peu de théorie

- Les décroissances β nucléaires sont un outil permettant de tester l'interaction faible et la physique du Modèle Standard :

- β^- : $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$
- β^+ : $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$
- EC : $p + e^- \rightarrow n + \nu_e$



- Test de l'unitarité de la matrice de Cabibbo-Kobayashi-Maskawa
- Test de l'hypothèse **CVC** (Conserved Vector Current)


Un peu de théorie

- 4 types de décroissances β qui permettent ces tests :
 - La décroissance β du pion ($\pi^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$)
(très faible probabilité de transition)
 - Les transitions super-permises de Fermi $0^+ \rightarrow 0^+$
(beaucoup de noyaux à étudier mais dans le noyau donc corrections théoriques)
 - La décroissance du neutron libre
(pas dans un noyau mais neutrons difficiles à détecter et transition mixte)
 - **Les transitions miroirs** (extension de la décroissance du neutron libre)
(beaucoup de noyaux à étudier mais transitions mixtes et dans le noyau donc corrections théoriques)

Transitions miroirs :



Un peu de théorie

- Test de l'hypothèse **CVC** :
 - L'interaction faible est décrite par un hamiltonien avec une composante vectorielle et une composante axiale – vectorielle
 - La partie vectorielle doit être conservée dans les processus faibles (**hypothèse CVC**)
 - **G_V unique** pour les processus faibles  **ft constante** (\sim) pour toutes les transitions $0^+ \rightarrow 0^+$

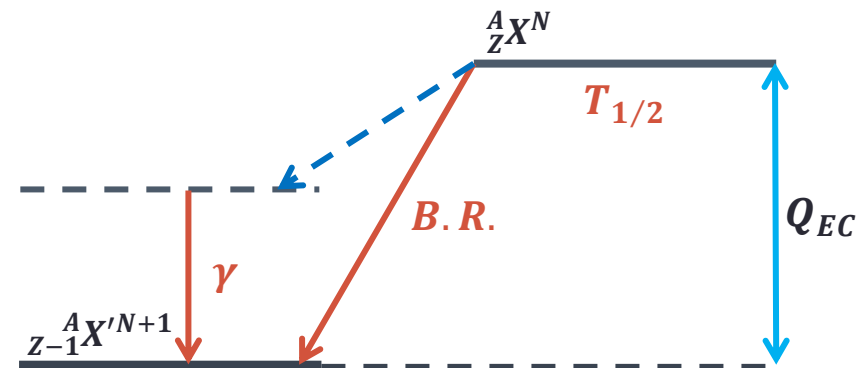
$$ft = \frac{cste}{G_V^2 \langle M_F \rangle^2 + G_A^2 \langle M_{GT} \rangle^2}$$

Un peu de théorie

- Détermination de ft :

$$ft = \frac{f(Q_{EC})T_{1/2}(1 + P_{EC})}{B.R.}$$

- $f(Q_{EC})$: le facteur de forme dépendant de Q_{EC}
- P_{EC} : probabilité de capture électronique (calculée), entre en concurrence avec la décroissance β^+



Un peu de théorie

- Détermination de $\mathcal{F}t$ pour les **noyaux miroirs** :

$$\mathcal{F}t = ft(1 + \delta'_R)(1 + \delta_{NS} - \delta_C) = \frac{cste}{2G_V^2(1 + \Delta_R)} \left(\frac{1}{1 + \frac{f_A}{f_V} \rho^2} \right)$$

constante

- δ'_R et Δ_R : corrections radiatives dépendante et indépendante de la transition, respectivement
- δ_{NS} : corrections radiatives dues à la structure nucléaire
- δ_C : corrections dues à l'interaction coulombienne
- $\frac{1}{1 + \frac{f_A}{f_V} \rho^2}$: corrections dues au mélange des transitions Gamow-Teller et Fermi

Un peu de théorie

- Test de l'**unitarité** de la matrice **CKM**
 - Interaction faible ne conserve pas la saveur des quarks
 - Matrice de mélange des quarks, V_{CKM} :

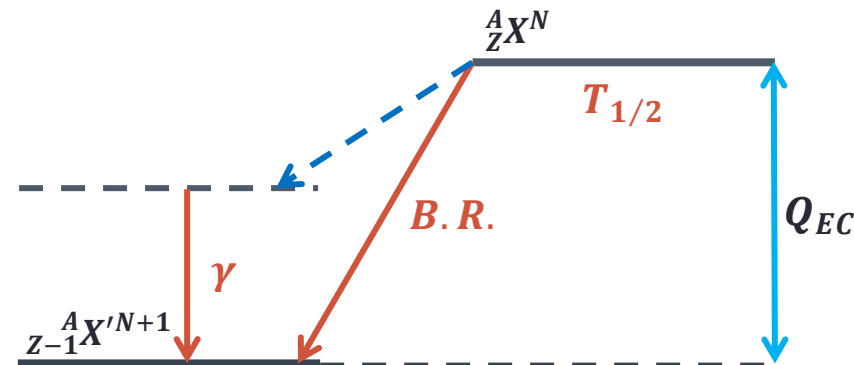
$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = V_{CKM} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}, \quad V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$

- Matrice doit être unitaire ($\sum_k V_{ki}^* V_{kj} = \delta_{ij}$) sinon les propriétés suivantes ne seront plus vérifiées :
 - 3 générations de quarks
 - Uniquement courants leptoniques gauches
 - Interaction vecteur et vecteur axiale (théorie V – A)

$$V_{ud}^2 = \left(\frac{G_V}{G_\mu} \right)^2 = \frac{K}{2\mathcal{F}t G_\mu^2 (1 + \Delta_R)} \left(\frac{1}{1 + \frac{f_A}{f_V} \rho^2} \right) \longrightarrow |V_{ud}|^2 + |V_{us}|^2 + |V_{ub}|^2 = 1$$

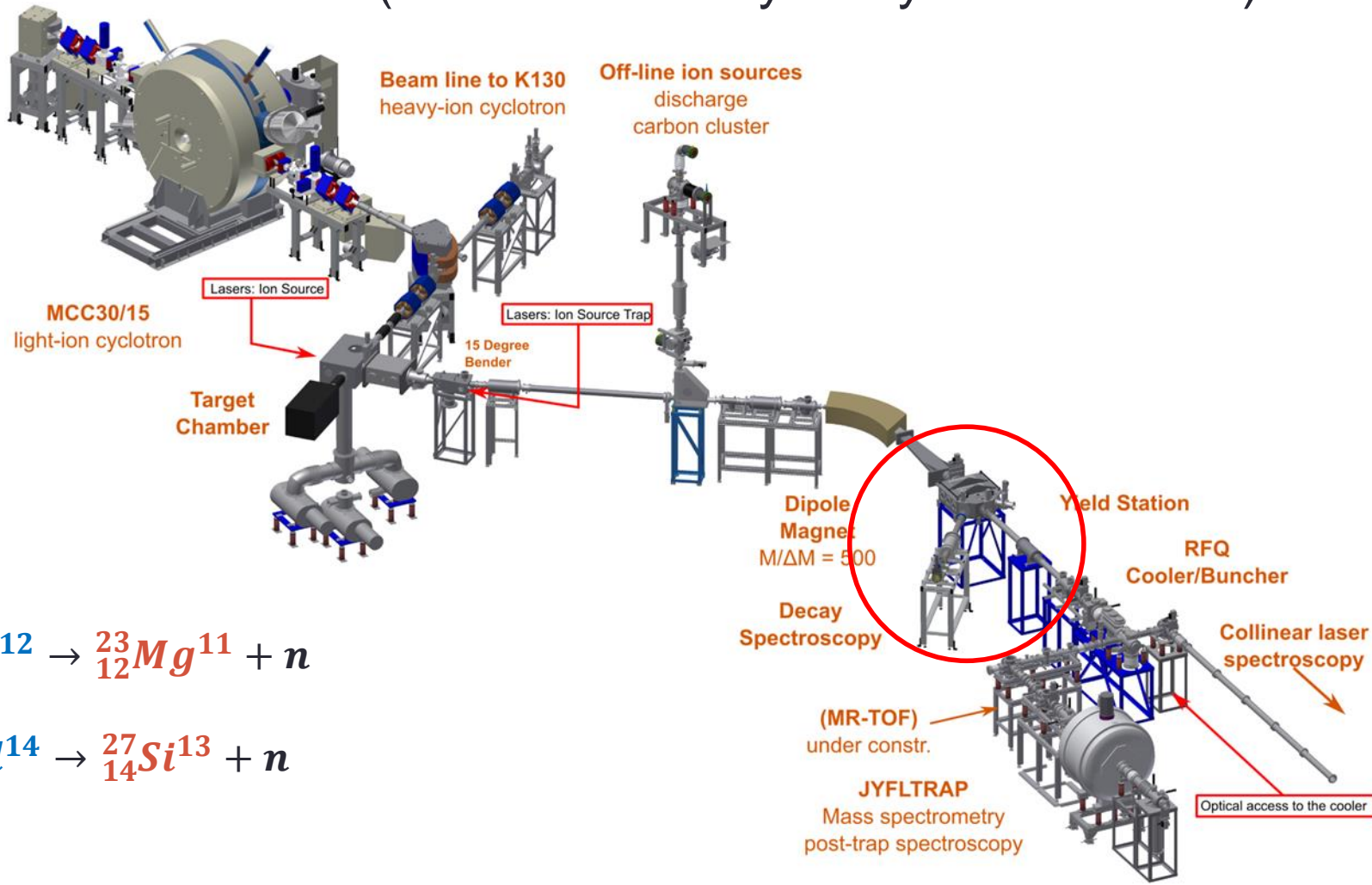
Un peu de théorie

- Étude des transitions super-permises de Fermi $0^+ \rightarrow 0^+$
 - Transitions purement vectorielles (Fermi)
 - Règles de sélection
 - Paramètres expérimentaux à déterminer :
 - La durée de vie, $T_{1/2}$
 - Le rapport d'embranchement, $B.R.$
 - La chaleur de la réaction, Q_{EC}
- Étude des transitions miroirs
 - Transitions vectorielles (Fermi) et axiales vectorielles (Gamow-Teller)
 - Règles de sélection
 - Paramètres expérimentaux à déterminer :
 - La durée de vie, $T_{1/2}$
 - Le rapport d'embranchement, $B.R.$
 - La chaleur de la réaction, Q_{EC}
 - Le rapport des transitions Gamow-Teller / Fermi, ρ



Expérience JYFL13 (^{23}Mg , ^{27}Si)

- Réalisée sur IGISOL (Université de Jyväskylä – Finlande)

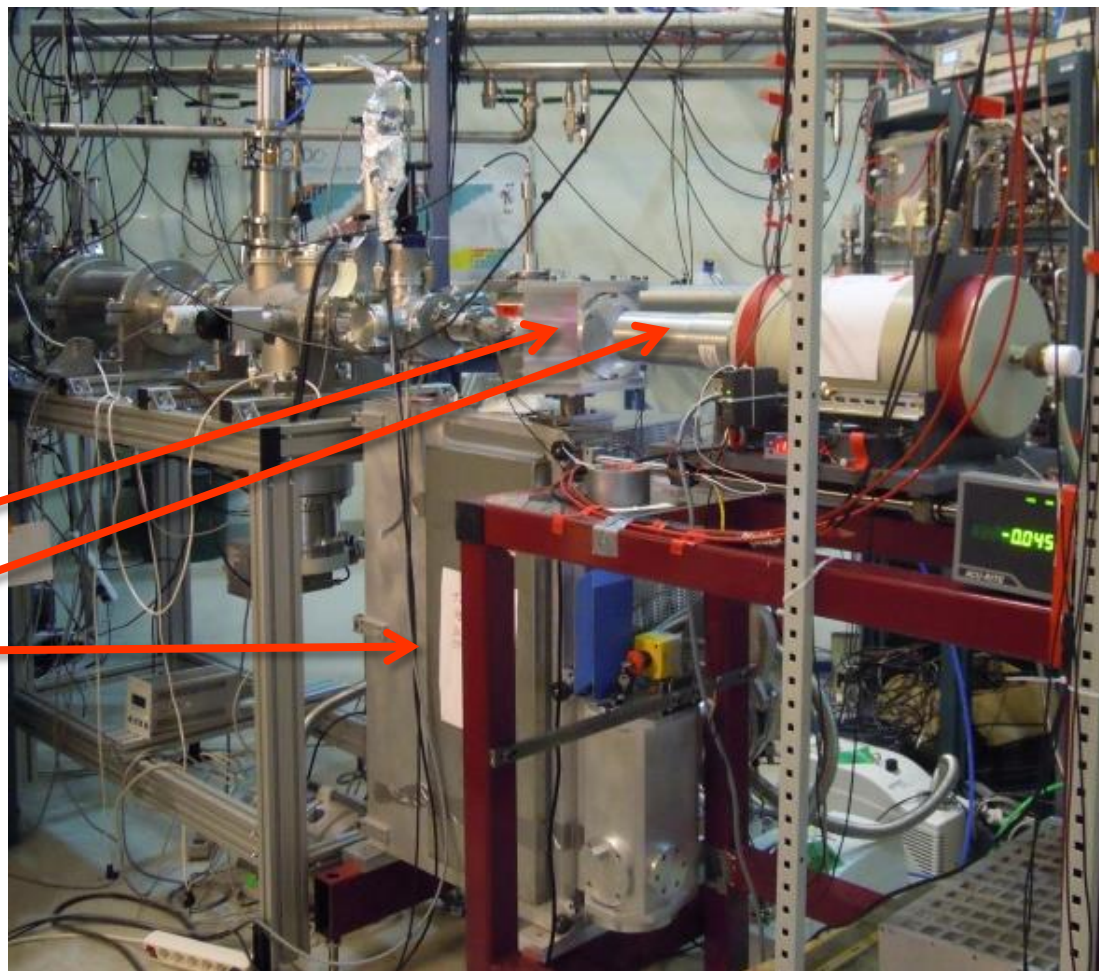


Expérience JYFL13 (^{23}Mg , ^{27}Si)

Scintillateur plastique

Ge

Système de transport
de la bande

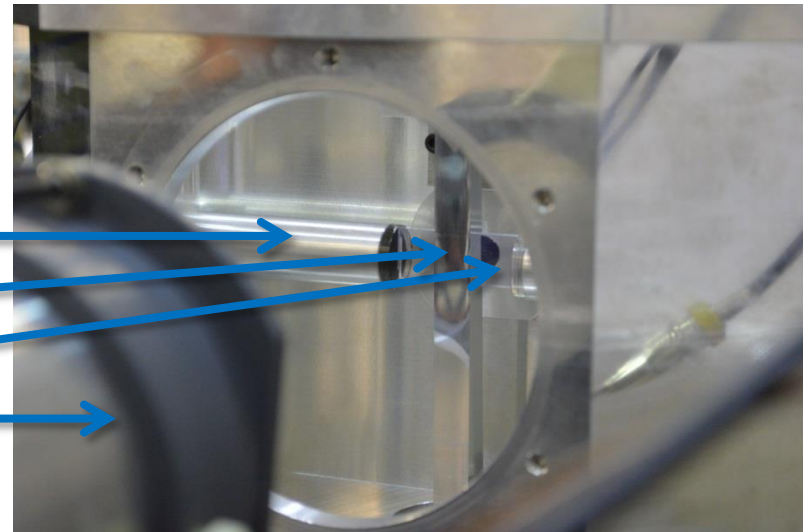


Expérience JYFL13 (^{23}Mg , ^{27}Si)

- Accumulation des noyaux sur une bande de mylar





PM →
 Dépôt sur mylar →
 Scintillateur plastique →
 Ge →



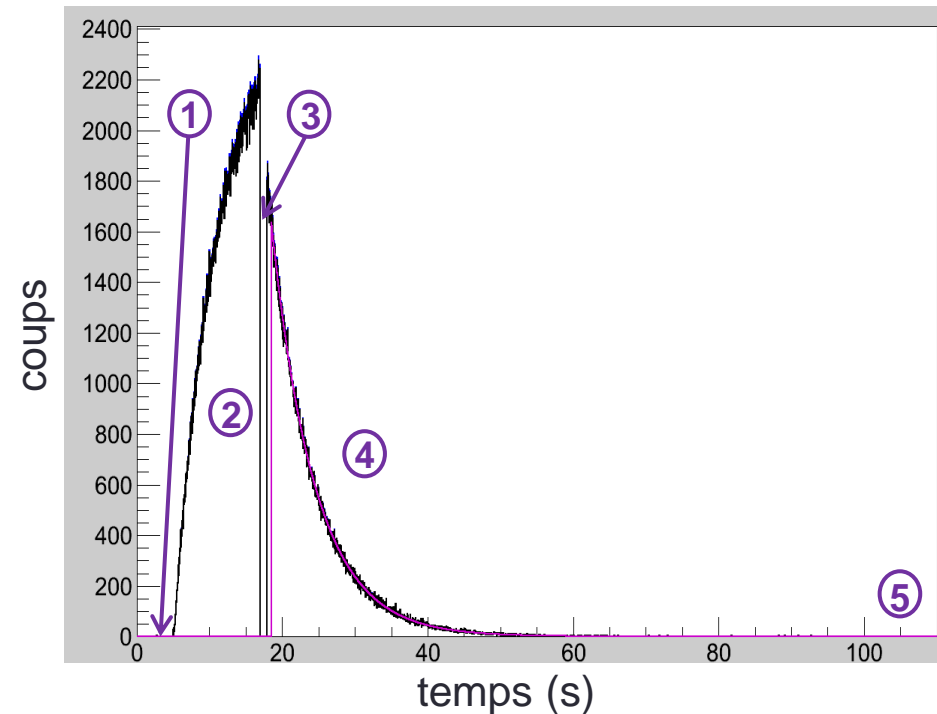
- $T_{1/2}$: scintillateur plastique + 2 PM (en coïncidence) → compter les β
- $B.R.$: détecteur Ge (étalonné en efficacité à 10^{-3}) → mesurer les γ (énergies et intensités)

Expérience JYFL13 (^{23}Mg , ^{27}Si)

- Principe de mesures :
 - 2 acquisitions différentes :
 - Une rapide  enregistre les T_β (informations des **PM**)
 - Une plus lente  enregistre les T_β et T_γ et les E_β et E_γ (informations des **PM** et du détecteur **Ge**)
 - **Trigger β** (**Ge** n'enregistre les γ que lorsqu'un β est émis en coïncidence et détecté)

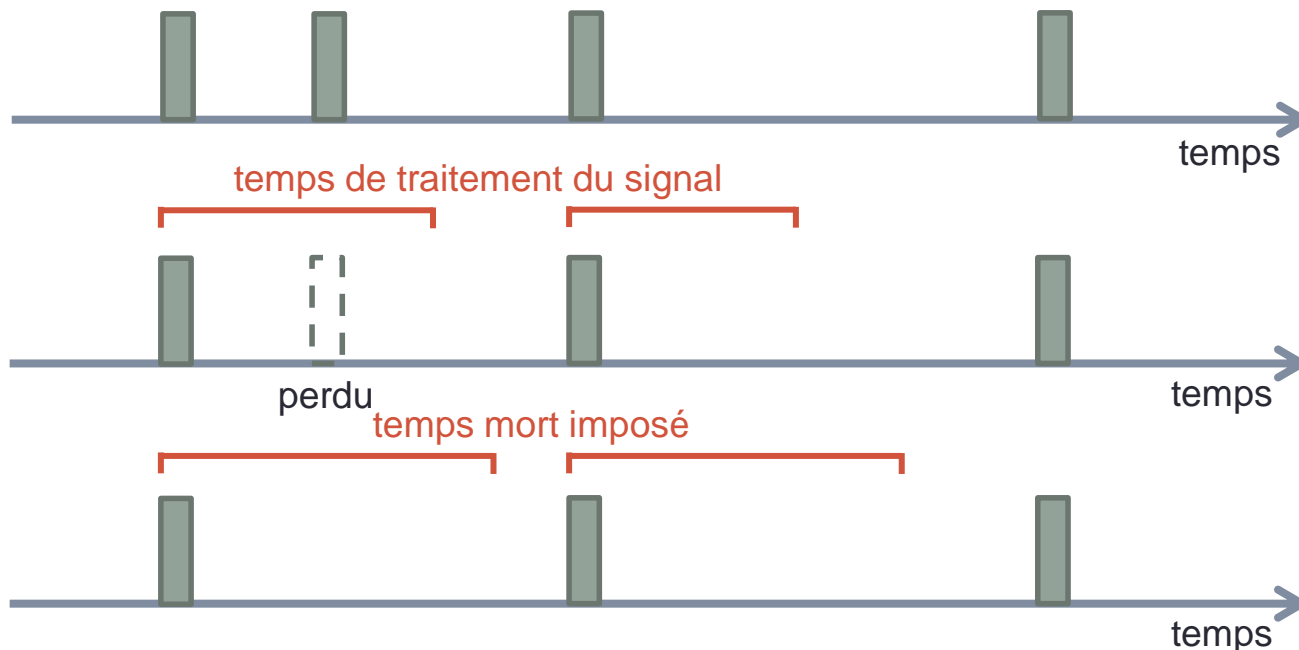
Analyse

- Phases des cycles :
 1. mesure du bruit de fond
 2. accumulation
 3. déplacement de la bande
 4. décroissance ($\sim 10T_{1/2}$)
 5. évacuation de l'activité résiduelle avant le prochain cycle



Analyse

- Variation des paramètres de la mesure :
 - hautes tensions des *PM*
 - temps-mort des acquisitions, *DT*
- Qu'est-ce que le *DT* ?

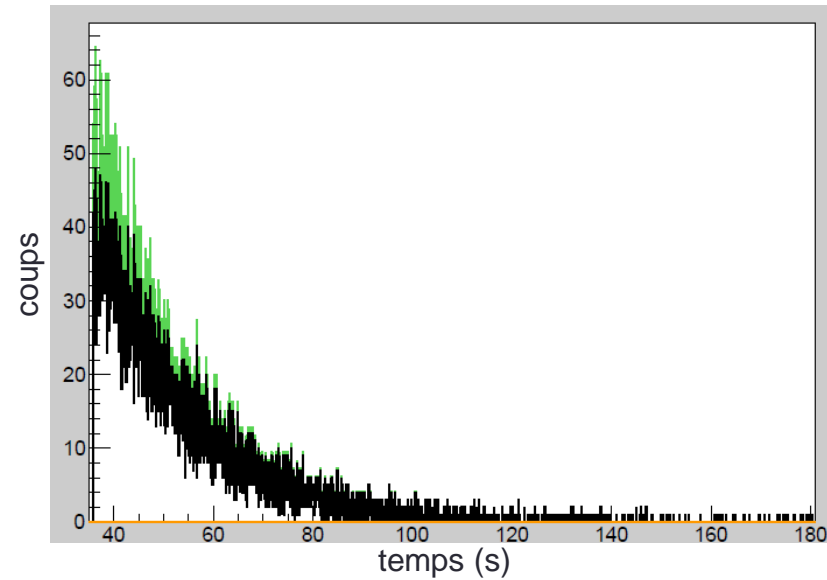


Analyse

- Imposer un DT fixe permet de le corriger
- La correction, c , du DT est appliquée dans chaque canal des spectres :

$$c = \frac{v_{bin}}{1 - \frac{v_{bin}DT}{T_{bin}}}$$

- v_{bin} : nombre de coups dans le canal considéré avant la correction
- T_{bin} : largeur en unité de temps (s) du canal considéré

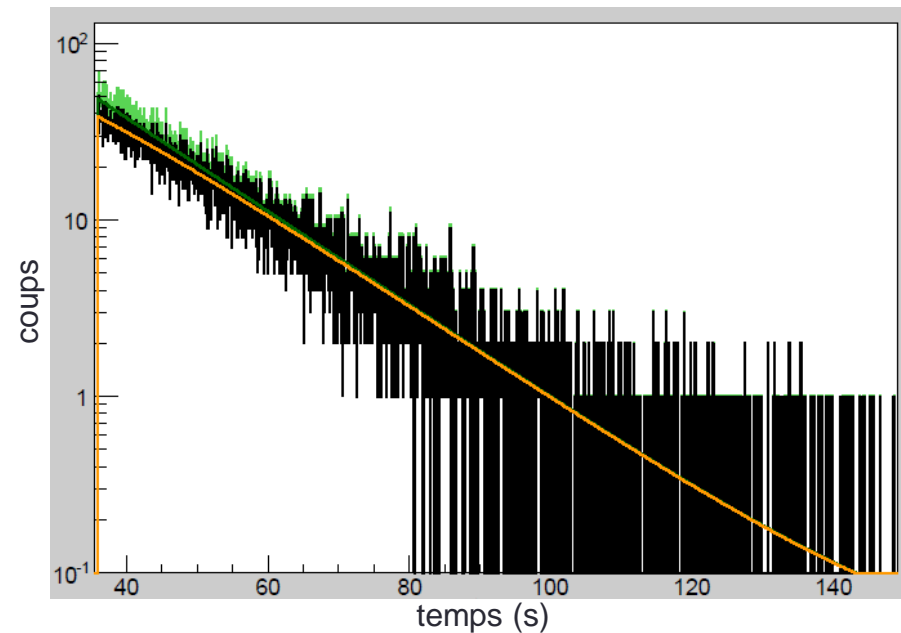


Analyse

- Corrections **DT** faites \longrightarrow fit des phases de décroissances par la fonction f :

$$f(t) = A_0 \exp(-\lambda t) + BG$$

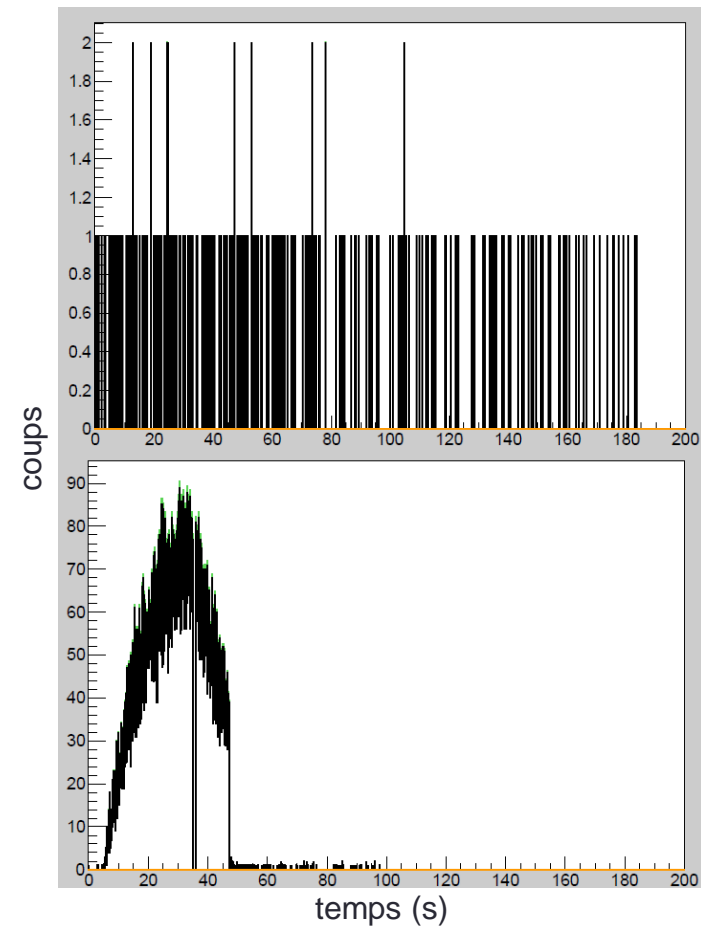
- t : le temps en secondes
- A_0 : l'amplitude du spectre de décroissance au début du fit ($A_0 = \lambda N_0$ où N_0 correspond au nombre de noyaux d'intérêt en début de fit), en coups par unité de temps
- $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ s'exprime en s^{-1}
- BG : bruit de fond par unité de temps



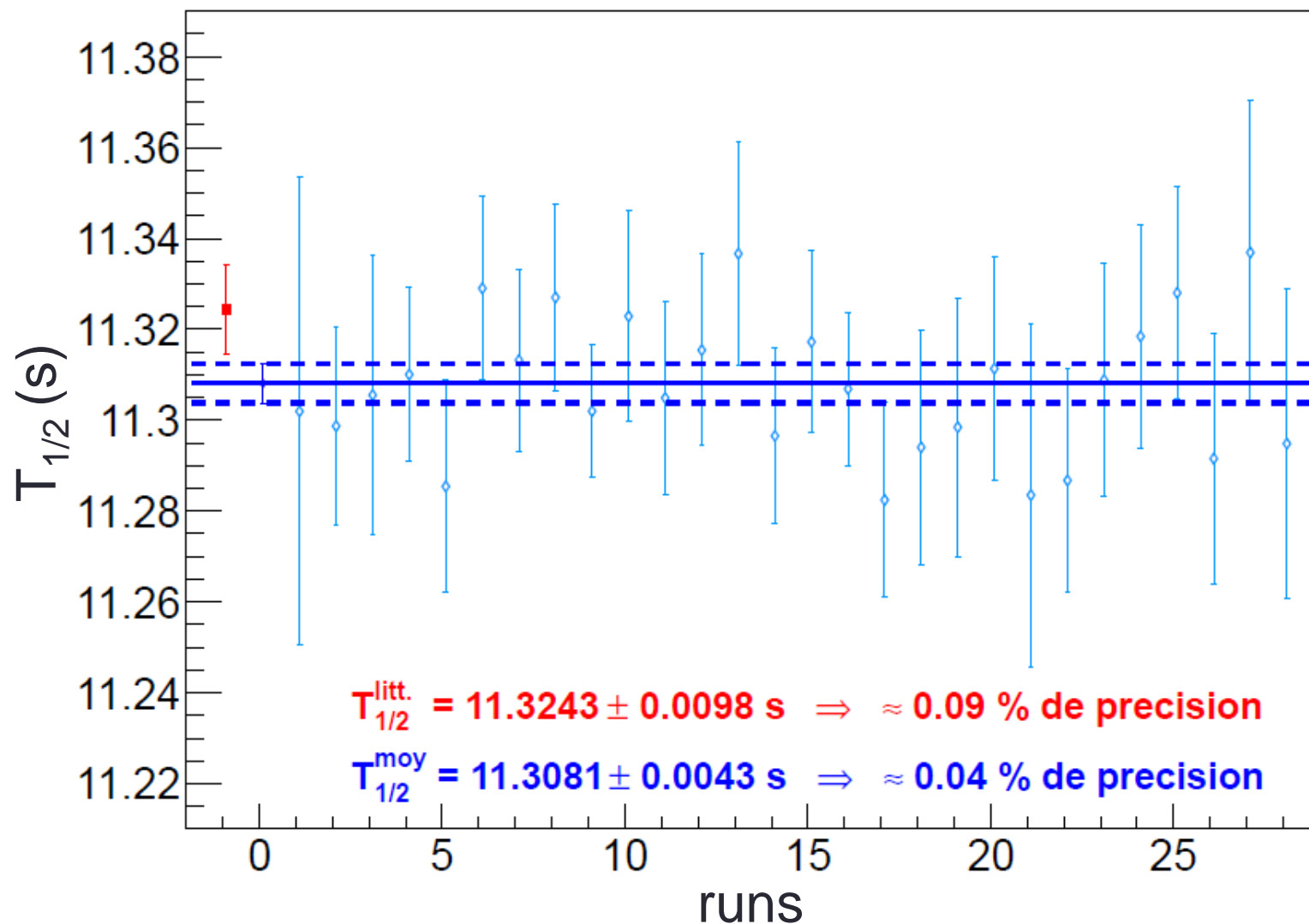
Analyse

- Cycles acceptés puis *fit* réalisé si :
 - $N_{0,min} \leq N_0 \leq N_{0,max}$
 - $BG_{min} \leq BG \leq BG_{max}$
 - $\chi^2 (\leq 2)$

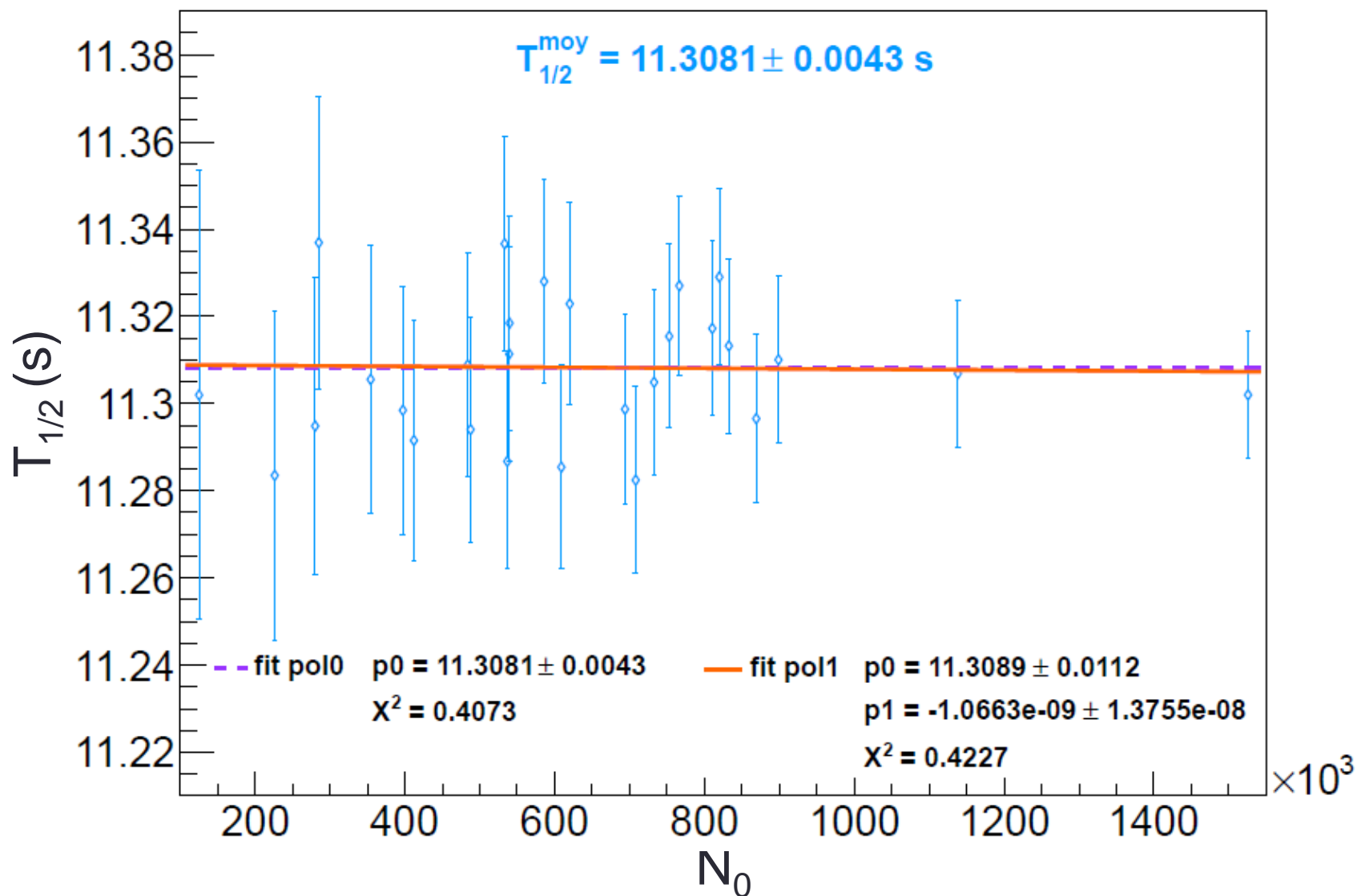
➔ 56 rejetés / 581 acceptés



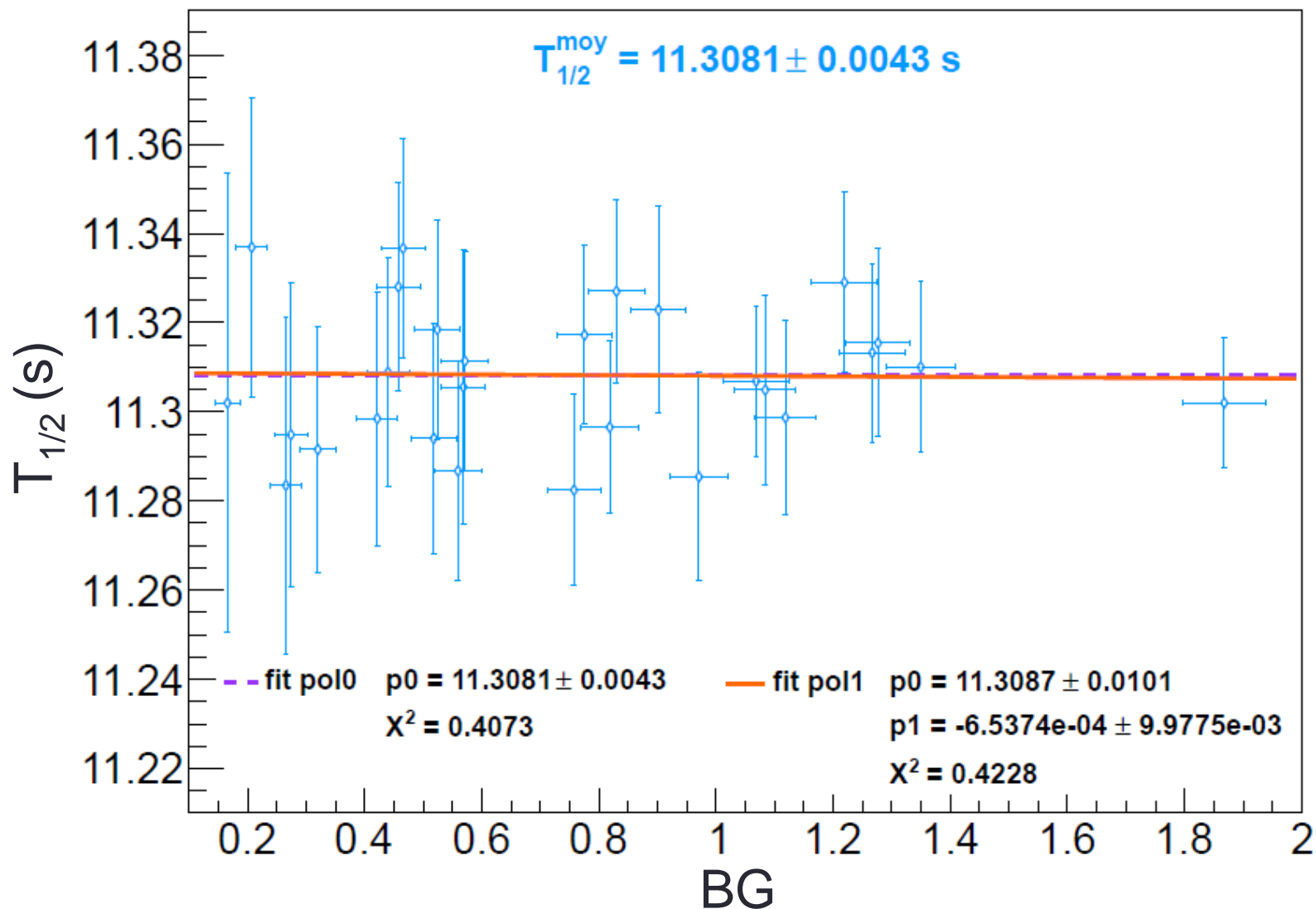
Résultats préliminaires, ^{23}Mg



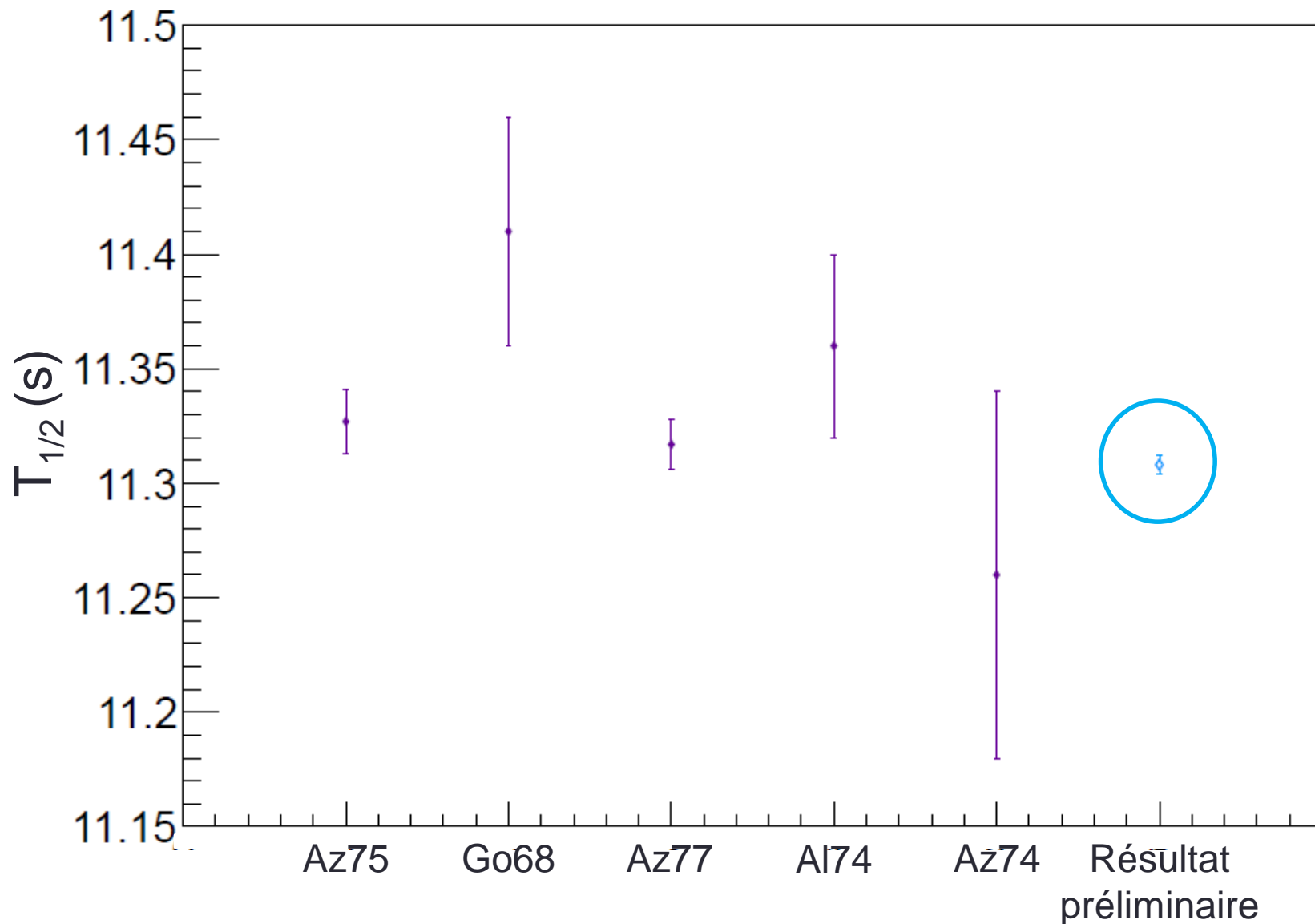
Résultats préliminaires, ^{23}Mg ($T_{1/2}$, N_0)



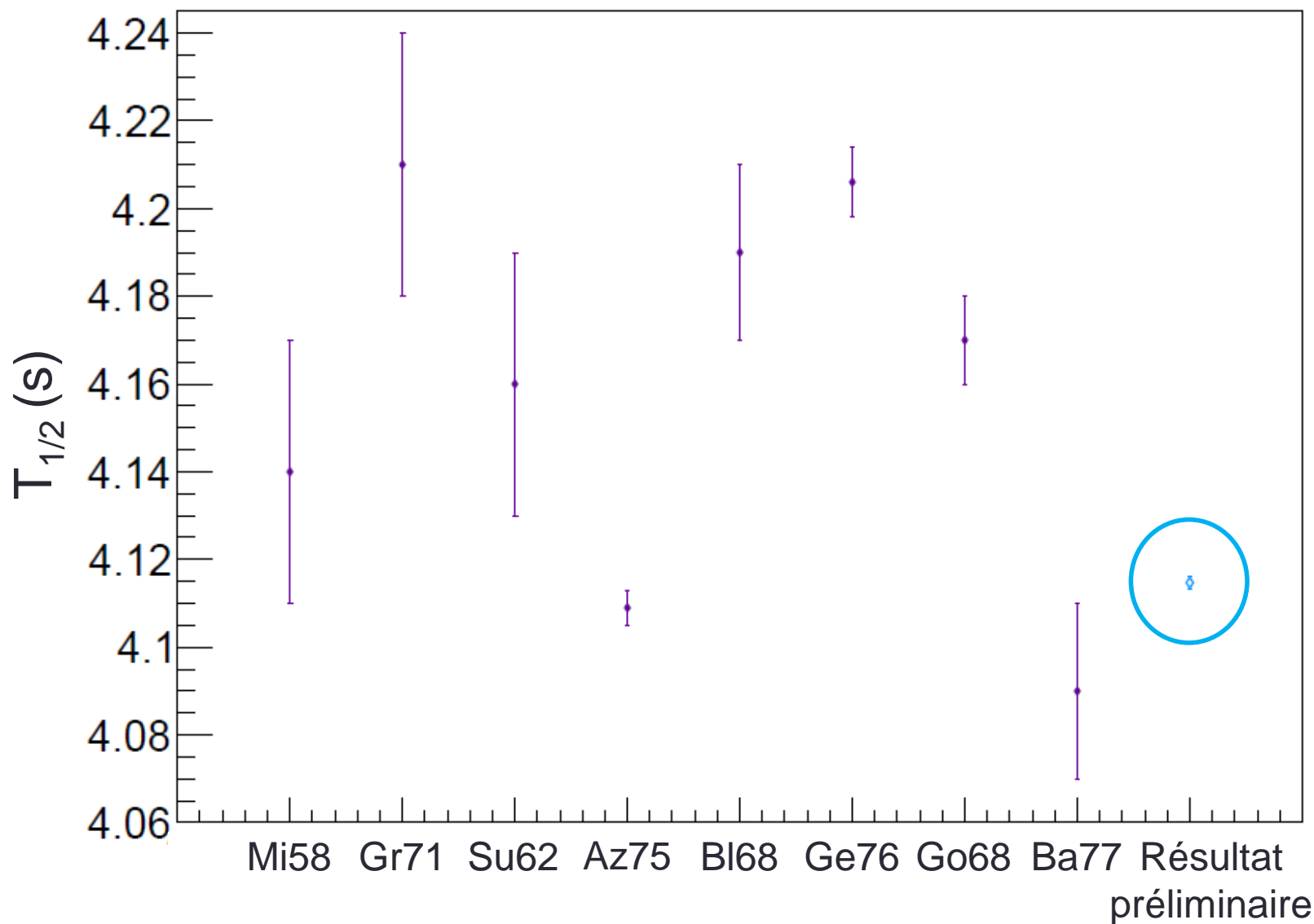
Résultats préliminaires, ^{23}Mg ($T_{1/2}$, BG)



Résultats préliminaires, ^{23}Mg



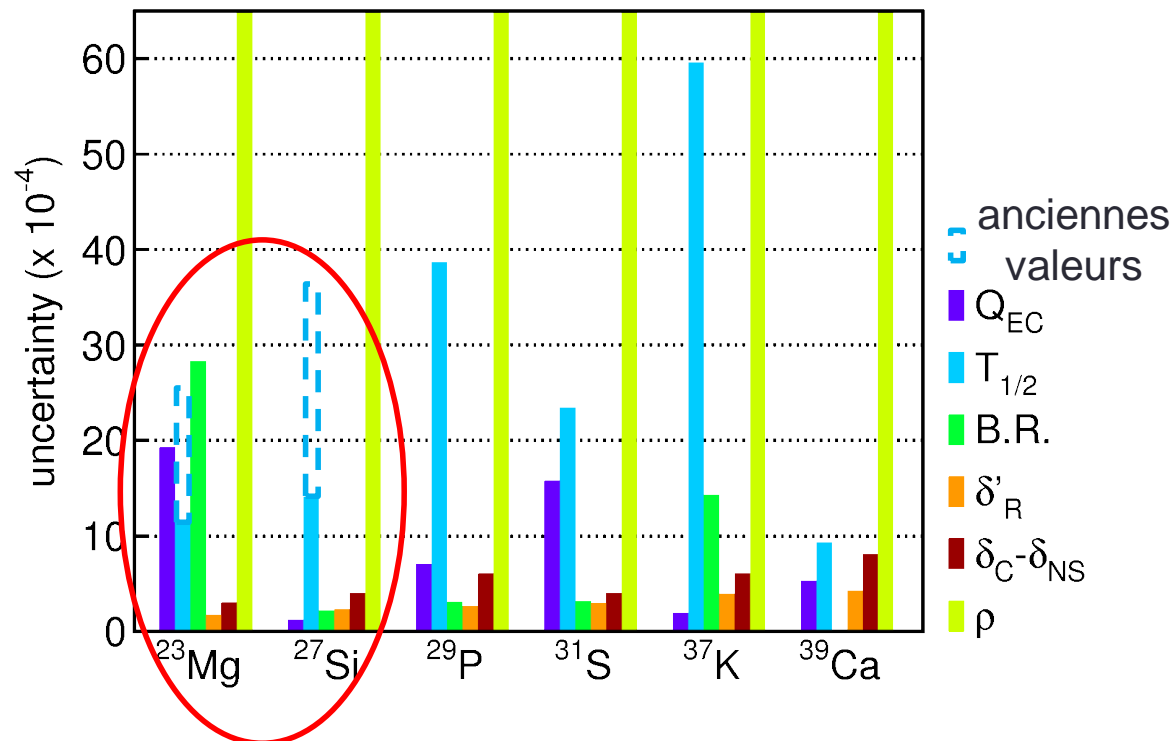
Résultats préliminaires, ^{27}Si



Conclusions et perspectives

- $T_{1/2}(^{23}\text{Mg})$ 2 fois plus précise que la moyenne de la littérature
- $T_{1/2}(^{27}\text{Si})$ 10 fois plus précise que la moyenne de la littérature

En incluant mes résultats aux moyennes de la littérature :



Conclusions et perspectives

- Inclure les **erreurs systématiques** dans le calcul des $T_{1/2}$
- Continuer l'analyse avec le(s) **B.R.** de ${}^{23}_{12}\text{Mg}$ (et de ${}^{27}_{14}\text{Si}$)
- Détermination des ρ pour les noyaux miroirs