

Micro(K)osmos

Partie 2 : étude expérimentale de la radioactivité du potassium (^{40}K) en classe à l'aide d'un Arduino et d'un compteur Geiger⁽¹⁾

par Cédric VANDEN DRIESSCHE

Lycée Charles de Gaulle - 14000 Caen
cedric.vanden-driessche@ac-normandie.fr

CET ARTICLE fait suite à l'article précédent, MicroCosmos [1], qui proposait de réaliser un détecteur de particules à l'aide d'un Arduino et d'un compteur Geiger. L'objectif est ici de proposer des pistes détaillées pour l'étude expérimentale de la radioactivité en classe avec des manipulations facilement réalisables. Cela implique un matériel à faible coût, une source de radioactivité facile à trouver et sans danger ainsi que des temps de mesure adaptés à la durée d'une séance de travaux pratiques. Les expériences proposées remplissent ces conditions et permettent au final d'aller assez loin dans l'étude expérimentale de la radioactivité au lycée. Cette étude se concentre en particulier sur la radioactivité du potassium ^{40}K .

1. LE DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

1.1. Le matériel

La liste du matériel (cf. figure 1, page ci-après) nécessaire pour ces manipulations est : Ordinateur ♦ Arduino Uno (+ éventuellement Shield Gravity V7 DFR02651) ♦ Compteur Geiger Gravity SEN04632 (environ 70 €)⁽²⁾ ♦ Le programme *Arduino*⁽³⁾ ♦ Les programmes *Python*⁽⁴⁾ ♦ Thiocyanate de potassium KSCN (conditionnement en poudre) ♦ Un système de levage (potence, support élévateur, Lego®...) ♦ Des écrans (papier, plaque de zinc, plaque de plomb...) ♦ Une calculatrice graphique.

(1) **NDLR** : la partie 1 de cet article est parue dans *Le Bup* n° 1068 en novembre 2024 (p. 907-922).

(2) Le type de particules détectées est discuté au sous-paragraphe 3.2. et le fonctionnement d'un compteur Geiger a été détaillé dans l'article précédent [1].

(3) Programme *Arduino* : MicroCosmosRadioactivite.ino3

(4) Programmes *Python* : MicroCosmosPyRadioactivite.py
Activite_traitement_donnees.py

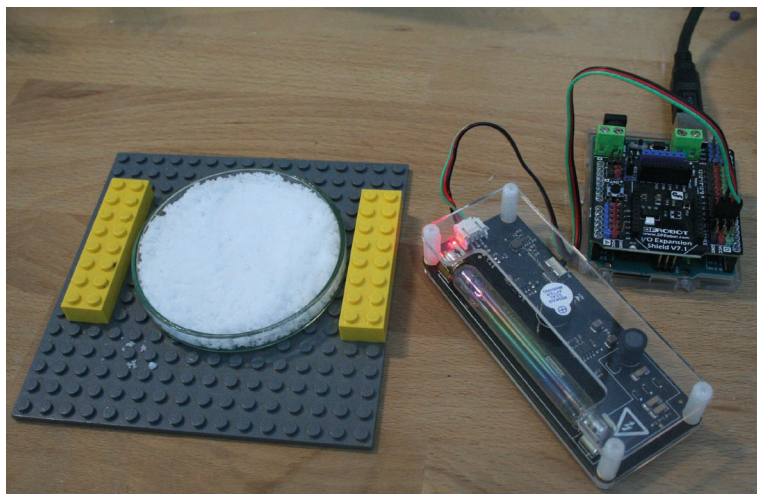


Figure 1 - Le matériel.

1.2. Les programmes

Le principe des programmes a été détaillé dans l'article précédent MicroCosmos publié dans *Le Bup* [1]. Les versions proposées dans cet article ont été légèrement modifiées pour améliorer l'enregistrement des données, notamment au niveau du nom donné automatiquement aux fichiers de données. Ces programmes sont disponibles en téléchargement sur le site de l'UdPPC.

1.3. Durée des expériences

Après de nombreux tests, il apparaît que les différents comptages proposés fonctionnent bien en effectuant des mesures de dix secondes durant cinq minutes (soit 300 s). Le programme *Python* associé au programme *Arduino* permet de récupérer les données pour une expérience préréglée de 300 s dans un fichier .txt nommé à la date de l'expérience. On peut néanmoins régler cette durée, et pour une étude plus approfondie de la distribution il peut être utile de faire une mesure longue, typiquement une heure.

2. BRUIT DE FOND LIÉ AU COMPTEUR GEIGER

Une première activité peut consister à mesurer le bruit de fond. On nommera N le nombre d'impulsions comptées pendant dix secondes. Cela servira de référence pour la suite et permet de commencer à introduire les principes d'une étude statistique avec les élèves.

2.1. Montage

Lors de cette expérience, on commence en relevant directement les mesures « à la main » grâce au moniteur série de l'*Arduino*. Cela permet aux élèves de se familiariser avec les données récoltées avant d'utiliser les codes *Python* fournis. En effet, ces programmes simplifient le traitement des mesures, mais occultent un peu la nature des données recueillies expérimentalement.

2.2. Résultats

Les résultats sont donnés dans le tableau 1.

Données expérimentales														
Comptage chaque dix secondes pour une expérience de 300 s														
5	9	5	4	3	4	3	6	3	4	9	6	1	4	7
2	6	5	8	7	4	7	4	4	1	3	5	3	4	7

Tableau 1 - Mesure du bruit de fond.

2.3. Analyse

2.3.1. Comptage

Ces mesures offrent l'occasion de réaliser une étude statistique à la calculatrice et d'aborder la notion d'incertitude de type A. À l'aide d'une calculatrice graphique (ici la Numworks), on obtient les résultats suivants (cf. figure 2).



Figure 2 - Traitement statistique à la calculatrice.

On calcule la moyenne $\bar{N}=4,8$ pour un effectif $n=30$ et un écart-type de l'échantillon $s=2,0$ qui correspond à σ_{n-1} . L'incertitude type de mesure est $u(\bar{N})=\frac{s}{\sqrt{n}}$, soit $\frac{2,0}{\sqrt{30}} \approx 0,4$ ⁽⁵⁾. Le résultat de la mesure est alors $\bar{N}=4,8 \pm 0,4$ impulsions / dix secondes. Sans moyen d'étalonner notre compteur Geiger, comme une source dont l'activité est connue précisément, il faudra systématiquement refaire cette mesure si l'on veut utiliser les résultats obtenus de manière quantitative.

(5) L'incertitude type sera donnée avec un chiffre significatif. $u(\bar{N})$ correspond à l'écart type de la moyenne \bar{N} (cf. article [2]).

2.3.2. Que mesure-t-on ?

Certains compteurs Geiger possèdent une fenêtre fine en Mica pour laisser passer les particules alpha. Mais la plupart des compteurs simples, comme celui utilisé ici, sont constitués d'une ampoule en verre qui arrête les particules alpha. Ces compteurs ne peuvent donc mesurer que les rayonnements β , $\gamma^{(6)}$ et les rayons cosmiques, car ces particules sont capables de traverser la paroi en verre du compteur Geiger. Loin d'une source, nous mesurons donc un mélange de rayons cosmiques, rayonnement β , photons γ , des ionisations spontanées des atomes du gaz remplissant le tube Geiger, ainsi que du bruit lié à l'électronique.

3. DIFFÉRENTES SOURCES ET CHOIX DU THIOCYANATE DE POTASSIUM

La question qui vient immédiatement après est celle du choix de la source à étudier. Avec ce montage (tube Geiger + *Arduino*), les élèves de Cécile Maunoury au Lycée Guéhenno à Flers (Orne) ont procédé à des mesures de 60 s avec diverses substances : chlorure de potassium (KCl), cendre, roche d'autunite qui contient de l'uranium (phosphate d'uranyle et de calcium).

3.1. Résultats

Les résultats sont donnés dans le tableau 2.

Données expérimentales (nombre d'impulsions / 60 s)				
Essai n° (60 s)	Bruit de fond	KCl	Autunite	Cendre
1	34	41	1166	37
2	28	58	1155	26
3	28	57	1153	41
4	26	56	1164	36
5	28	48	1114	30
6	26	55	1138	25
7	28	53	1198	28
8	30	53	1151	33
Moyenne	29	53	1155	32
Incertitude	1	2	8	2

Tableau 2 - Activité de différents matériaux.

(6) Pour être plus précis, c'est l'électron de recul provoqué par la diffusion par effet Compton d'un photon γ avec la paroi du tube ou le gaz contenu dans l'ampoule qui est détecté.

3.2. Analyse

On constate que les mesures réalisées avec la cendre (censée contenir du potassium) ne sont pas significatives, alors que le chlorure de potassium montre une activité mesurable.

La roche d'autunite offre une activité bien plus importante. Cette roche qui contient de l'uranium 238 est disponible dans des magasins de géologie. Elle peut constituer une source intéressante, car elle permet de réaliser des mesures plus rapidement et plus précisément sur les effets de la distance et des écrans. On peut l'acheter sur Internet en petits échantillons assez bon marché prévus pour étalonner les détecteurs de radioactivité.

Cependant, il semble, bien que je n'ai pas trouvé les textes le mentionnant, que toute forme de «source radioactive» désignée comme telle soit interdite en lycée. Dans ce cas, l'utilisation de produits disponibles au laboratoire pour la chimie comme du chlorure de potassium (KCl) ou du thiocyanate de potassium (KSCN) est une bonne alternative. Les résultats obtenus, bien que moins élevés, sont tout à fait exploitables.

Après avoir testé plusieurs produits contenant du potassium dans le laboratoire de mon lycée, j'ai décidé de travailler avec le thiocyanate de potassium (KSCN) qui parmi nos différents échantillons était celui qui présentait l'activité la plus significative, suffisante pour réaliser des mesures et les exploiter.

Les études menées dans la suite de l'article concernent le caractère aléatoire de la radioactivité, l'effet de la distance, l'effet des écrans puis l'étude plus précise des différents modes de désintégration du potassium-40 contenu dans le thiocyanate de potassium.

4. CARACTÈRE ALÉATOIRE

La probabilité de désintégration d'un noyau pendant un temps dt est indépendante de son histoire. Ce phénomène est un processus aléatoire. Un échantillon radioactif constitue alors un système composé d'un grand nombre de noyaux dont la probabilité de désintégration obéit à une loi statistique.

4.1. Montage

On utilise le montage précédent, mais cette fois on rajoute une source. La source choisie est le thiocyanate de potassium, car c'est un produit facile à obtenir en laboratoire au lycée et qui contient du potassium-40 qui est radioactif. La poudre de thiocyanate de potassium (KSCN) est placée dans une boîte de pétri et le tube Geiger vient au plus proche (le tube est posé à 0,5 cm de la poudre) (cf. figure 3, page ci-après).

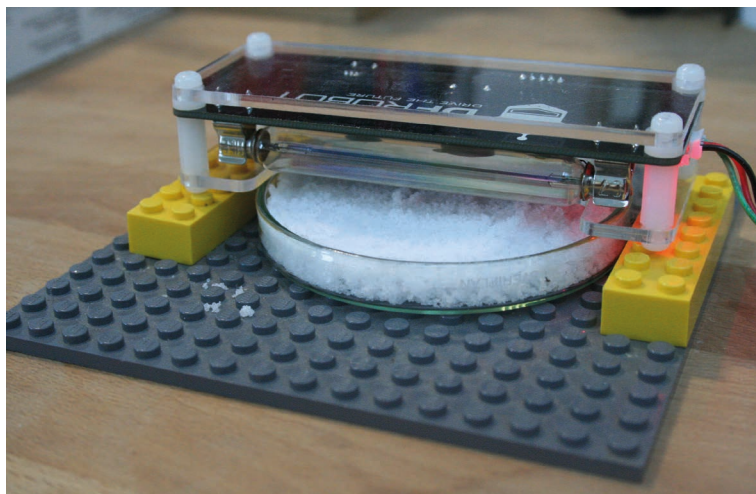


Figure 3 - Étude du caractère aléatoire.

4.2. Résultats

Les résultats sont donnés dans le tableau 3.

Données expérimentales														
Comptage chaque dix secondes pour une expérience de 300 s														
18	18	9	16	25	19	12	22	14	17	22	24	15	11	17
15	14	23	13	14	13	15	15	12	20	10	13	16	16	21

Tableau 3 - Mesure de l'activité du potassium-40.

On obtient alors : $\overline{N} = 16,3 \pm 0,8$ désintégrations par dix secondes. Si l'on retire le bruit mesuré précédemment⁽⁷⁾ on a alors $\overline{N} = 11,1 \pm 0,8$ désintégrations par dix secondes issues du potassium.

4.3. Analyse

Le premier point est que nous ne mesurons qu'une partie du rayonnement du potassium. En effet, la source émet de manière isotrope et le détecteur n'intercepte qu'une partie de cette émission. Le calcul de l'efficacité du détecteur peut constituer une activité en soi si le niveau d'enseignement le permet.

(7) Le bruit est simplement soustrait. En toute rigueur, dans ce cas il faudrait recalculer l'incertitude type (voir [2]).

Le deuxième point concerne le type de rayonnement mesuré. D'après le site laradioactivite.com [3], on note que « le gamma joue un rôle important, car il sert à identifier les désintégrations du potassium-40 vers l'argon. Les électrons bêta conduisant au calcium (89,3 %) ne sont pas accompagnés de gamma. Ils n'émergent généralement pas du corps vivant ou de la roche où ils sont produits et leurs énergies ne sont pas caractéristiques ». Donc, en général, les β n'émergent pas du corps étudiés du fait de leur faible parcours et l'on ne s'attend qu'à mesurer des γ . Mais dans notre échantillon il semblerait que vu l'état de surface nous mesurons bien en majorité des β accompagnés de quelques γ . Cela va être confirmé plus loin dans cet article lors de l'étude des différents modes de désintégration.

4.4. Prolongement

On peut également approfondir cette étude avec la modélisation par une distribution gaussienne et éventuellement une activité en interdisciplinarité avec les mathématiques. Dans ce cas, il faut plus de temps. On peut imaginer une expérience lancée la veille ou plusieurs jours avant. Voici par exemple un comptage pour dix heures avec une source de KSCN à 0,5 cm (cf. figure 4, page ci-après).

Le potassium-40, que l'on trouve à l'état de traces dans le potassium naturel, est responsable de plus de la moitié de la radioactivité du corps humain, à raison d'environ quatre à cinq mille désintégrations par seconde pour un homme de 80 kg.

Avec l'uranium et le thorium, le potassium contribue à la radioactivité naturelle des roches et à la chaleur de la Terre.

Cet isotope représente un dix millième du potassium naturel. Il se situe entre deux isotopes stables et beaucoup plus abondants (^{39}K et ^{41}K) qui constituent 93,25 % et 6,73 % de cet élément. Vivant 1,251 milliard d'années, le potassium-40 se trouvait parmi les poussières d'étoiles mortes, dont l'agglomération a donné naissance au système solaire.

Le potassium-40 possède la particularité de se désintégrer en deux noyaux différents : dans 89 % des cas en calcium-40 par désintégration bêta-moins ; dans 11 % des cas en argon-40 par capture électronique suivie de l'émission d'un gamma de 1,46 MeV.

Source : <http://laradioactivite.com> [3]

5. ACTIVITÉ EN FONCTION DE LA DISTANCE

5.1. Montage

On utilise le montage précédent (cf. figure 3, page ci-contre). On rajoute une brique de Lego® à chaque fois, ce qui permet de faire varier la distance de 1 cm en 1 cm (cf. figure 5, page ci-après). Ce montage a l'avantage d'être simple, stable et de permettre un réglage aisé de la distance. En classe, on peut également utiliser une potence, mais le réglage de la distance est plus difficile.

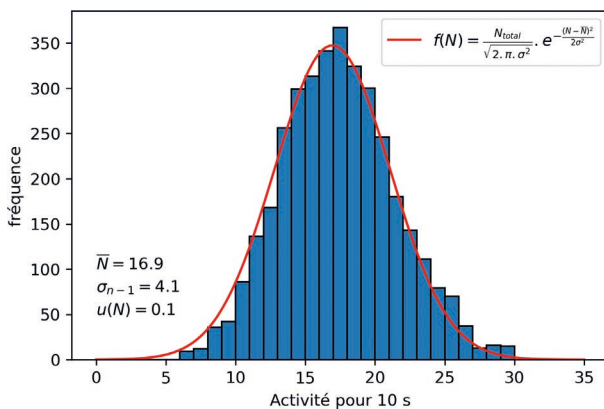


Figure 4 - Désintégrations pour dix secondes mesurées sur une période de dix heures.

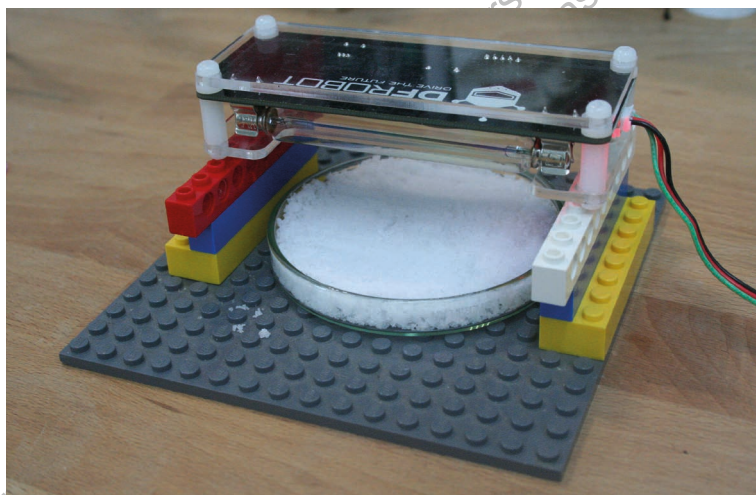


Figure 5 - Étude en fonction de la distance.

5.2. Résultats

Les résultats sont donnés dans le tableau 4 et la figure 6 (cf. page ci-contre).

5.3. Analyse

L'activité décroît rapidement en fonction de la distance. Cela permet de présenter les mesures de radioprotection et notamment le fait d'éloigner les sources. Il est souvent proposé de tester la loi de décroissance de type $\frac{1}{d^2}$. Cependant, cette loi ne se vérifie

Données expérimentales		
Distance (cm)	Activité (10 s)	Incertitude
0,5	15,97	0,77
1,5	13,88	0,65
2,5	11,78	0,53
3,5	10,72	0,52
4,5	8,72	0,59
5,5	9,22	0,60
6,5	8,53	0,54
7,5	7,88	0,47

Tableau 4 - Activité en fonction de la distance.

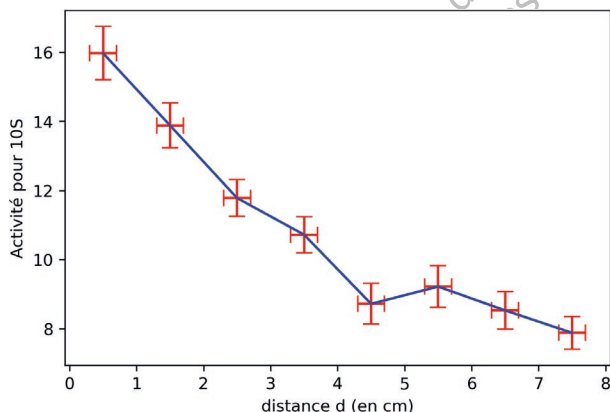


Figure 6 - Étude en fonction de la distance.

que dans le cas où il n'y a qu'une atténuation géométrique. Il est également supposé que la source est ponctuelle. Or nous sommes en présence d'une source étendue et il existe une absorption par l'air. On aboutit à une situation plus complexe, peut être moins facile à exploiter en classe entière.

6. ABSORPTION PAR UN ÉCRAN

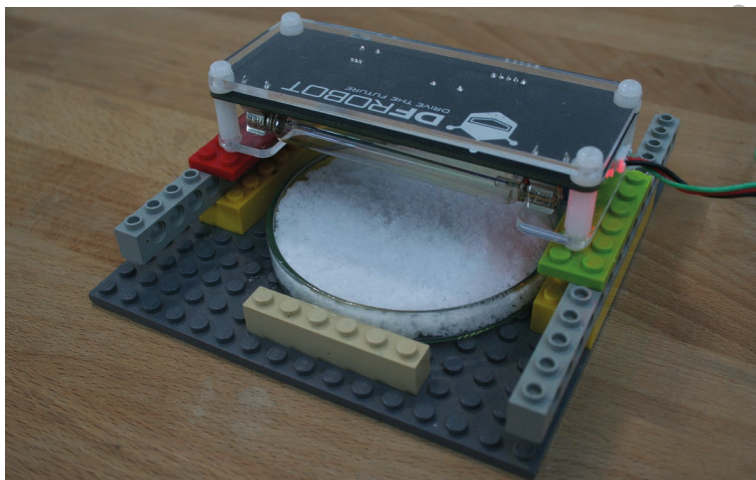
6.1. Montage

Dans cette expérience, nous allons étudier l'influence d'un écran placé devant la source. Il est important de ne pas faire varier la distance entre le détecteur et la source entre les différentes mesures. Pour cela, une petite encoche a été prévue afin de pouvoir

glisser les différents écrans sans rien modifier pendant l'expérience (cf. figure 7). Les écrans utilisés sont :

- ◆ une feuille de papier ;
- ◆ de l'aluminium alimentaire ;
- ◆ de l'aluminium alimentaire plié en huit épaisseurs ;
- ◆ un écran de plomb de 1,3 mm d'épaisseur⁽⁸⁾.

A



B

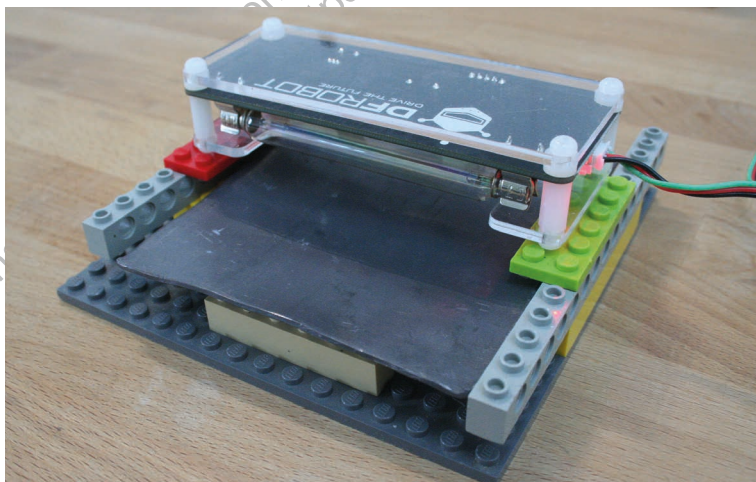


Figure 7 - Mesure **A** sans écran - **B** avec un écran de plomb de 1,3 mm d'épaisseur.

(8) Il s'agit d'une feuille de plomb utilisée pour la couverture des toits et achetée dans un magasin de bricolage.

6.2. Résultats

Toutes les mesures ont été faites pour des comptages de dix secondes pendant une durée de 300 s (cf. tableau 5).

	Bruit	Pas d'écran	Papier	Aluminium		Plomb
				1 pli	8 plis	1,3 mm
Activité (10 s)	4,8	9,2	9,3	8,4	7,7	4,7
Incertitude	0,4	0,7	0,6	0,4	0,5	0,4

Tableau 5 - Influence d'un écran.

6.3. Analyse

Le schéma d'absorption auquel on se réfère souvent est celui représenté sur la figure 8.

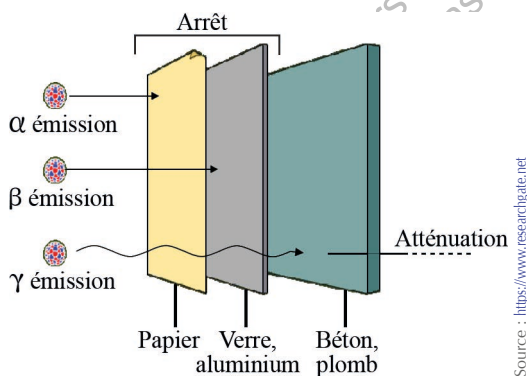


Figure 8 - Pouvoir de pénétration des rayonnements

Ici, nous étudions un rayonnement qui peut contenir des β et des γ . Nous constatons que la feuille de papier n'a effectivement aucun effet sur le comptage. L'aluminium fait bien diminuer le rayonnement, ce qui est logique, car il absorbe les β . Par contre, l'aluminium alimentaire est très fin (environ 0,016 mm *a priori*), et il faut donc mettre plusieurs couches pour obtenir une diminution significative. L'écran de plomb semble absorber la quasi-totalité du rayonnement et nous tombons à un niveau proche de la radioactivité ambiante. Mais si l'on y regarde plus finement, il est possible d'aller plus loin dans l'étude du rayonnement du potassium-40, et c'est ce que nous proposons au paragraphe 7.

Les expériences sur l'influence de la distance et des écrans permettent d'illustrer la notion de radioprotection et l'importance de la mise à distance des sources radioactives ainsi que l'utilisation d'écrans de protection en plomb ou de blocs de béton.

7. MODES DE DÉSINTÉGRATION DU POTASSIUM-40

7.1. Analyse préalable

D'après l'article de laradioactivite.com [3] cité précédemment : « Le potassium-40 possède la particularité de se désintégrer en deux noyaux différents : dans 89 % des cas en calcium-40 par désintégration bêta-moins ; dans 11 % des cas en argon-40 par capture électronique suivie d'un gamma de 1,46 MeV ». Ces deux modes de désintégration sont illustrés par la figure 9. La question qui se pose à nous est de savoir si nous pouvons discriminer les deux types de rayonnement et remonter aux différentes proportions.

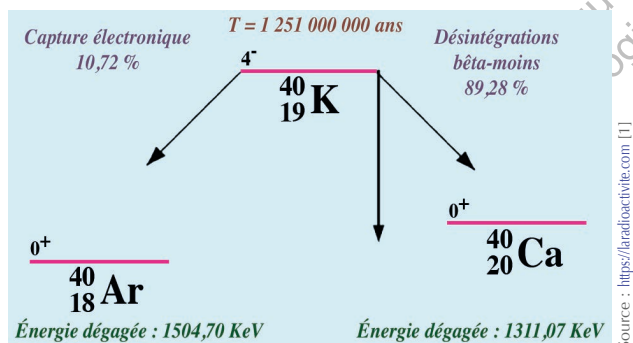


Figure 9 - Désintégration du ^{40}K .

Pour discriminer les β et les γ nous allons utiliser un écran de plomb qui *a priori* absorbe la totalité des β , mais laisse passer la plupart des γ . En effet, d'après le site de laradioactivite.com [3] « pour des γ de 1 MeV, il faut près d'un centimètre de plomb pour les atténuer de moitié »⁽⁹⁾. Mais l'épaisseur de notre écran en plomb n'excède pas 1,3 mm et les γ issus du potassium ont une énergie de 1,46 MeV. Quelle est l'atténuation dans ce cas ?

Une feuille de calcul basée sur les tables du NIST⁽¹⁰⁾ (National Institute of Standards and Technology, en français Institut national des normes et de la technologie), fournie par Jean-Charles Thomas du GANIL (Grand accélérateur national d'ions lourds) à Caen, nous permet de calculer l'atténuation d'un écran de plomb pour les γ en fonction de leur énergie. Un écran de plomb de 1,3 mm absorbe 7 % d'un rayonnement γ à 1,5 MeV. Cela veut dire que si notre source émet des γ , 93 % d'entre eux traversent notre écran de plomb de 1,3 mm d'épaisseur. On aurait alors la situation (cf. tableau 6, page ci-contre).

(9) <https://laradioactivite.com/articles/questionsdoses/attenuationdesgamma> [3].

(10) <https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/ElemTab/z82.html>

Radioactivité naturelle	KSCN sans écran	KSCN avec écran Pb
Bruit	$\beta + \gamma + \text{bruit}$	$0,93 \times \gamma + \text{bruit}$

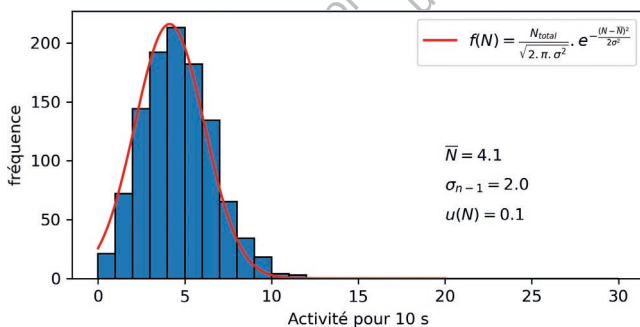
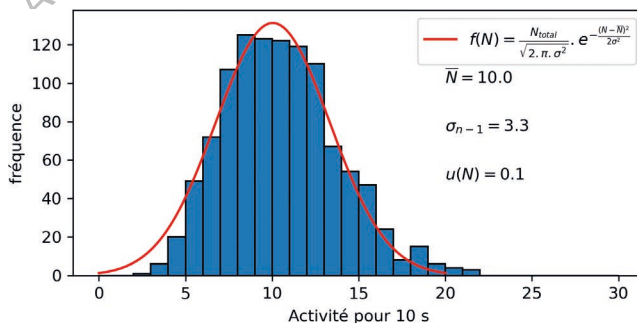
Tableau 6 - Étude du potassium-40, discrimination des différentes radioactivités.

Le problème des mesures précédentes est que la marge d'incertitude est trop importante pour pouvoir distinguer quelque chose. Nous avons donc relancé des mesures de trois heures pour chaque situation.

7.2. Résultats

Les résultats sont donnés dans le tableau 7 et les figures 10, 11 et 12 (cf. page ci-après).

Radioactivité naturelle	KSCN sans écran	KSCN avec écran Pb
$4,1 \pm 0,1$	$10,0 \pm 0,1$	$4,7 \pm 0,1$

Tableau 7 - Étude du potassium-40, discrimination des différentes radioactivités.**Figure 10** - Mesure du bruit.**Figure 11** - KSCN sans écran.

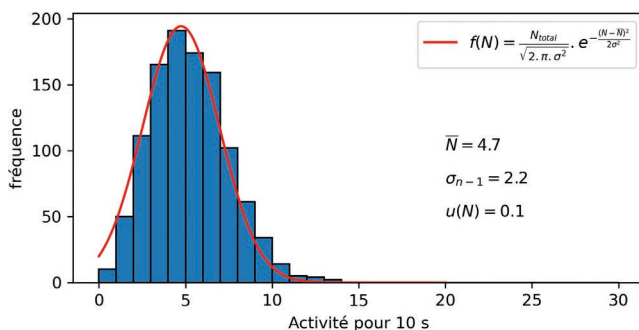


Figure 12 - KSCN avec écran de plomb 1,3 mm.

7.3. Interprétation

On a donc :

$$\begin{aligned}
 \text{bruit} &= 4,1 \\
 \beta + \gamma + \text{bruit} &= 10,0 & \Rightarrow & 0,93 \times \gamma = 0,6 \Rightarrow \gamma = 0,65 & \Rightarrow & \text{rayonnement } \gamma \Rightarrow 11 \% \\
 0,93 \times \gamma + \text{bruit} &= 4,7 & \Rightarrow & \beta = 10 - 4,1 - 0,65 \Rightarrow \beta = 5,25 & \Rightarrow & \text{rayonnement } \beta \Rightarrow 89 \%
 \end{aligned}$$

Ces résultats sont en accord avec la répartition donnée dans l'extrait précédent du site laradioactivite.com [3], illustré dans la figure 9 (cf. pages précédentes), qui était de 89 % pour les β et 11 % pour les γ ⁽¹¹⁾.

Cette expérience permet donc de discriminer les différents types de radioactivité (β et γ) et de retrouver quantitativement les deux modes de désintégration du potassium-40.

CONCLUSION

Suite aux retraits des sources de césium qui accompagnait les dispositifs CRAB, il était devenu difficile de réaliser des expériences sur le thème de la radioactivité en classe. Pour un coût modique⁽¹²⁾, le montage et les programmes proposés viennent combler ce manque. D'une certaine manière, cela est d'autant plus intéressant que l'on peut étudier la radioactivité du potassium qui est un élément présent dans notre corps, souvent cité comme source de radioactivité naturelle. La simplicité du matériel permet également de faire preuve d'imagination pour monter des expériences assez complexes telles que l'étude expérimentale des différents modes de désintégration du

(11) D'autres essais plus courts ont permis d'approcher cette répartition à 10 % près, ce qui peut être largement suffisant suivant l'objectif pédagogique visé.

(12) Le compteur Geiger Gravity SEN04632 coûte environ 70 €.

potassium-40. Enfin, en couplant deux tubes Geiger, comme cela est proposé dans l'article MicroCosmos [1], nous pouvons réaliser une étude des rayons cosmiques.

Enfin, un site Internet [4] associé au projet permet de proposer de nouvelles idées ainsi que des protocoles de travaux pratiques pour les élèves.

REMERCIEMENTS

Un énorme merci au GANIL et au projet Sciences à l'École grâce à qui j'ai pu participer à l'organisation du stage « Profs au GANIL » en août 2024 et pour lequel j'ai engagé ce travail. Merci en particulier à Magali Tence, Jean-Joël Teixeira, Julien Piot et Nicolas Arnaud grâce à qui ce stage a eu lieu. Également un grand merci à :

- ◆ Jean-Charles Thomas pour son accueil toujours amical au GANIL. Merci pour les discussions qui ont fait naître la dernière partie de ce travail et l'aide scientifique apportée pour le mener au bout ;
- ◆ Yoann Lallouet, Christophe Bellessort, Philippe Girres et Christophe Girard pour leur soutien et les relectures constructives ;
- ◆ Cécile Maunoury et ses élèves pour leurs données ;
- ◆ Augustin Tellier Vanden Driessche pour la construction du support en Lego® comme toujours ;
- ◆ Claude Tellier pour son soutien, ses encouragements et son aide pour l'écriture.

BIBLIOGRAPHIE ET NETOGRAPHIE

- [1] C. Vanden Driessche, « MicroCosmos - Partie 1 : un détecteur de particules à base d'Arduino », *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 118, n° 1068, p. 907-922, novembre 2024.
- [2] D. Boilley et Y. Lallouet, « Introduction aux incertitudes de mesure », *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 107, n° 955-956, p. 681-695, juin-juillet-août-septembre 2013.
- [3] Histoire, description, effets et usages de la radioactivité. Consultable à l'adresse : <https://laradioactivite.com/>
page consultée le 26 octobre 2024.
- [4] Site internet associé à ce projet consultable à l'adresse : <https://mucosmos.github.io>
page consultée le 26 octobre 2024.

Lu dans Le Bup

À propos de l'étude expérimentale des désintégrations radioactives :

- ◆ G. Bouyrie, «Loi de décroissance radioactive», *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 98, n° 862, p. 419-432, mars 2004.
- ◆ J.-P. Roux, «Poussières radioactives», *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 100, n° 882, p. 289-298, mars 2006.
- ◆ M.-Th. Lehoucq, «Simuler la désintégration radioactive d'une collection d'atomes avec Python 3», *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 112, n° 1002, p. 465-470, mars 2018.

Compléments de l'article

Cet article comporte des compléments nommés :

- ◆ `MicroCosmosRadioactivite.ino3` ;
- ◆ `MicroCosmosPyRadioactivite.py` ;
- ◆ `Activite_traitement_donnees.py`.

L'ensemble est disponible sur le site de l'UdPPC sous la forme d'un fichier zippé 10691033.



Cédric VANDEN DRIESSCHE

Professeur de sciences physiques
Lycée Charles de Gaulle,
Caen (Calvados)