

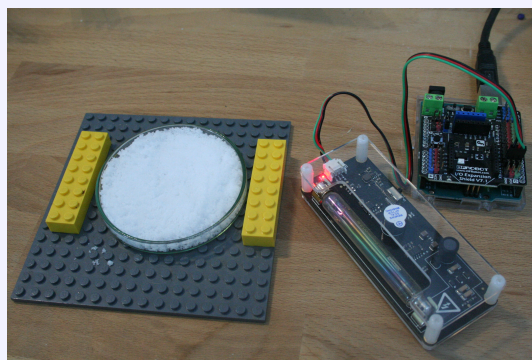
Étude expérimentale de la radioactivité en classe

cedric.vanden-driessche@ac-normandie.fr

Ce document a pour but de proposer des pistes pour l'étude expérimentale de la radioactivité en classe. L'objectif est que les manipulations soient facilement réalisables en classe. 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.

Matériel nécessaire

- ordinateur
- Arduino Uno (+ éventuellement Shield Gravity V7 DFR02651)
- Compteur Geiger Gravity SEN04632 (environ 70 euros)
- le programme Arduino MicroCosmosRadioactivite.ino3
- les programmes Phyton : MicroCosmosPyRadioactivite.py, Activite_traitement_donnees.py
- Thiocyanate de potassium (conditionnement en poudre)
- un système de levage (potence, support élévateur, LEGO, ...)
- des écrans (papier, plaque de zinc, plaque de plomb, ...)
- une calculatrice graphique



Télécharger les programmes :

<https://github.com/CedricVdd/ProfAuGanil/tree/main>

Durée des expériences

Après de nombreux tests, il apparaît que les différents comptages proposés fonctionnent bien en effectuant des mesures de 10 s durant 5 min (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.

1 Bruit de fond

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

1.1 Montage

Lors de cette expérience on peut commencer 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. Ces programmes simplifient le traitement des mesures, mais occultent un peu la nature des données recueillies expérimentalement.



Le montage (sans le shield)

le programme et les résultats dans le moniteur série.

1.2 Résultats

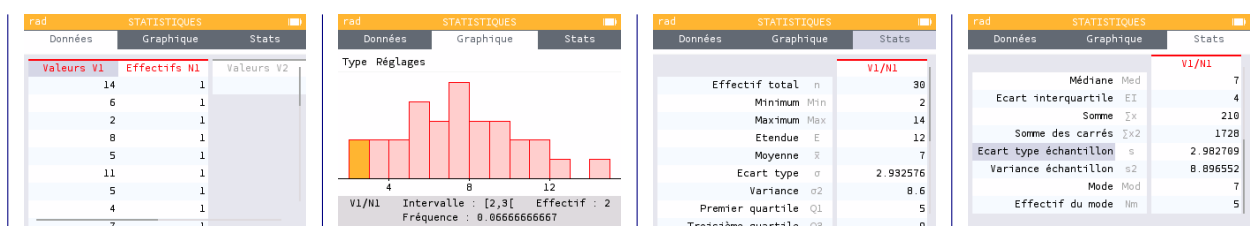
Données expérimentales comptage chaque 10s pour une expérience de 300s														
14	2	5	5	7	10	3	9	3	7	7	5	9	5	7
6	8	11	4	12	4	9	2	10	8	6	6	7	8	11

1.3 Analyse

1.3.1 Comptage

Ces résultats offrent l'occasion de réaliser une étude statistique à la calculatrice et d'aborder la notion d'incertitude de type A.

A l'aide d'une calculatrice graphique (ici la Numworks) on obtient les résultats suivants :



On obtient la moyenne $\bar{x} = 7$, l'effectif $n = 30$ et l'écart type de l'échantillon $s = 2,98$ qui correspond à σ_{n-1} .

Le résultat de la mesure est alors $\bar{N} = 7,00$ avec $u(N) = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{2,98}{\sqrt{30}} = 0,54$

1.3.2 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, ne peuvent mesurer que les rayonnement bêta, gamma et les rayons cosmiques car ces particules sont capables de traverser le tube en verre du compteur Geiger.

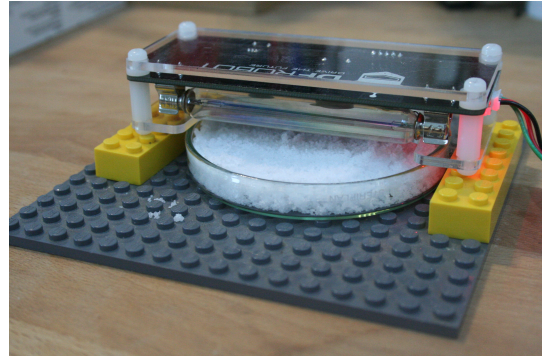
Loin d'une source, nous mesurons donc un mélange de rayons cosmiques, rayonnement bêta, photons gamma, ainsi que du bruit liés à l'électronique.

2 Caractère aléatoire

La probabilité de désintégration d'un noyau pendant un temps dt est indépendante de son histoire et est un phénomène aléatoire. Il est possible d'étudier un système composé d'un grand nombre de noyaux qui va obéir à une loi statistique.

2.1 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 $KSCN$ est placée dans une boîte de pétri et le tube Geiger vient au contact (le tube est posé à 0,5 cm de la poudre).



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 4 à 5000 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 d'un gamma de 1,46 MeV.

source : <https://laradioactivite.com/>

2.2 Résultats

Données expérimentales														
comptage chaque 10s pour une expérience de 300s														
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

On obtient alors : $\bar{N} = 16,3 \pm 0,76$ désintégrations par 10s.

2.3 Analyse

L'activité de notre échantillon est donc en première approche de $\bar{A} = 1,63 \pm 0,076$ Bq.

Selon le niveau d'enseignement cette réponse peut être nuancée :

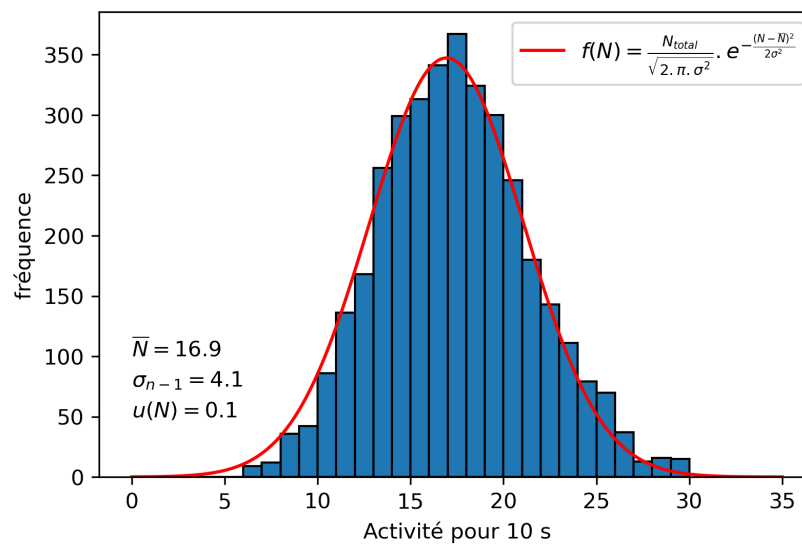
- ✎ Premièrement nous ne mesurons qu'une partie des désintégrations. D'après laradioactivite.com, on note que « le gamma joue un rôle important car il sert à identifier les désintégrations du

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 ». On mesure en majorité des β à condition qu'ils émergent de notre échantillon, ce qui est le cas dans notre poudre, et quelques γ .

- Deuxièmement la source émet de manière isotrope et le détecteur n'intercepte qu'une partie du rayonnement. Le calcul de l'efficacité du détecteur peut constituer une activité en soi.

2.4 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 :

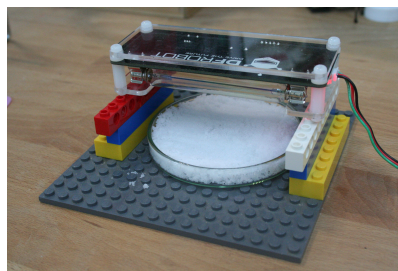


3 Activité en fonction de la distance

3.1 Montage

On utilise le montage précédent. On rajoute une brique de Lego à chaque fois, ce qui permet de faire varier la distance de 1 cm en 1 cm. Ce montage a l'avantage d'être simple, stable et de permettre un réglage aisé de la distance.

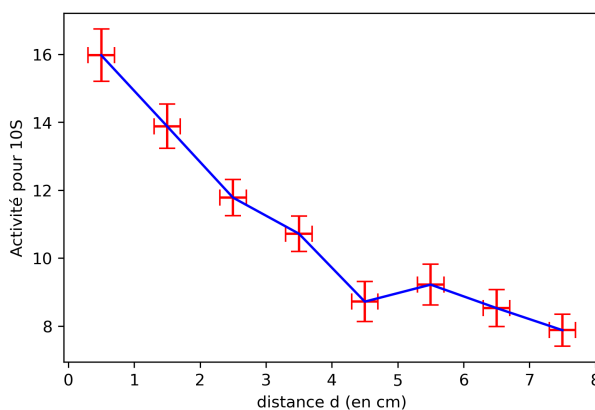
En classe on peut également utiliser une potence mais le réglage de la distance est plus difficile.



mesure à 2,5 cm (2 briques Lego)

3.2 Résultats

Données expérimentales		
distance (cm)	Activité (10s)	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



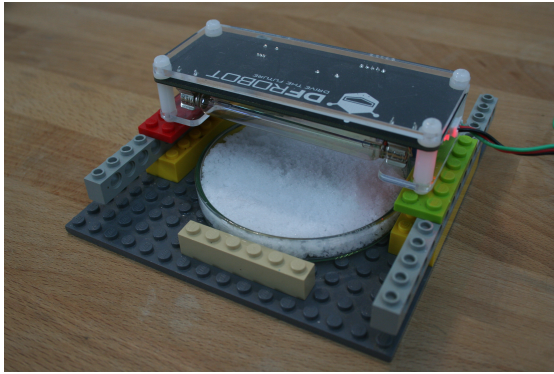
3.3 Analyse

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.

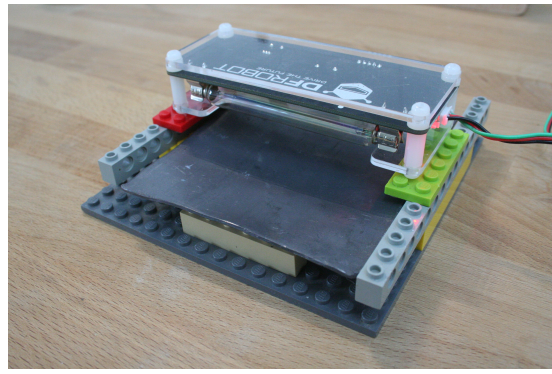
Il est souvent proposé de tester la loi de décroissance de type $\frac{1}{d^2}$. Cependant cette loi ne se vérifie que dans le cas où il n'y a qu'une atténuation géométrique. Il est également supposé que la source est ponctuelle. Or nous sommes en présence d'une source étendue et il existe une absorption par l'air. On aboutit à une situation plus complexe, peut être moins facile à exploiter en classe entière.

4 Absorption par un écran

4.1 Montage

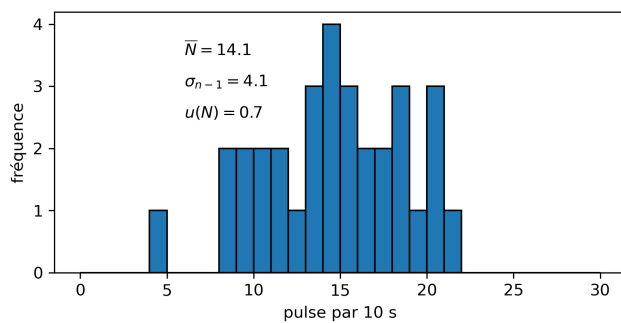


mesure sans écran

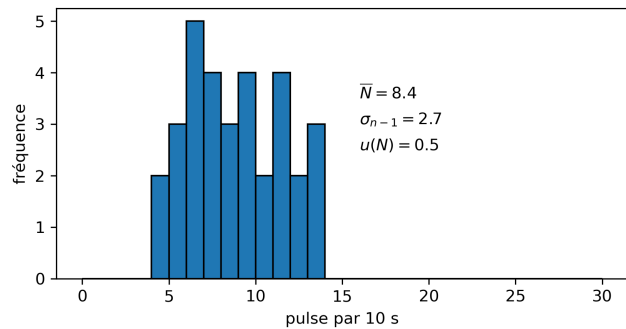


mesure avec un écran en Plomb de 1,3 mm

4.2 Résultats



mesure sans écran



mesure avec un écran en Plomb de 1,3 mm

4.3 Analyse

L'écran absorbe la quasi totalité du rayonnement et nous tombons à un niveau proche de la radioactivité ambiante. C'est intéressant car « pour des gamma de 1 MeV, il faut près d'un cm de plomb pour les atténuer de moitié »¹. Cela veut dire que nous ne mesurons plus que les gamma. Or si on reprend les résultats précédents, on obtient :

Radioactivité naturelle	KSCN sans écran	KSCN avec écran Pb						
7	$\beta + \gamma$ 14,1	γ 8,4	⇒					
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>rayonnement β</th> <th>rayonnement γ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>80,3%</td> <td>19,7%</td> </tr> </tbody> </table>	rayonnement β	rayonnement γ	80,3%	19,7%
rayonnement β	rayonnement γ							
80,3%	19,7%							

Ces résultats sont assez proche de la répartition donnée dans l'extrait précédent du site laradioactivite.com qui était de 89% pour les β et 11% pour les γ .

On peut évidemment tester l'influence de la nature du matériau constituant l'écran (plomb, aluminium, papier, etc ...) ou l'influence de l'épaisseur de l'écran.

1. <https://laradioactivite.com/articles/questionsdoses/attenuationdesgamma>

5 Différentes sources

Avec ce montage, tube Geiger + Arduino, les élèves de Cécile Maunoury au lycée Guéhenno à Flers ont procédé à des mesures de 60 s avec diverses substances : KCl, cendre, roche d'autunite. On peut imaginer tester de nombreux matériaux.

5.1 Résultats

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

5.2 Analyse

On constate que les mesures réalisées avec la cendre (censée contenir du potassium) ne sont pas significative, 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 peut constituer une source intéressante car elle permet de réaliser des mesure 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 radio-activité.