

TP de physique, radioactivité : caractère aléatoire de la désintégration d'un noyau, étude de la décroissance radioactive d'une population de noyaux

I Buts du TP

- Mettre en évidence le caractère aléatoire de la désintégration d'un noyau radioactif.
- Valider une modélisation mathématique correcte de la loi de décroissance radioactive d'une population de noyaux radioactifs par une simulation utilisant les dés.

II Matériel

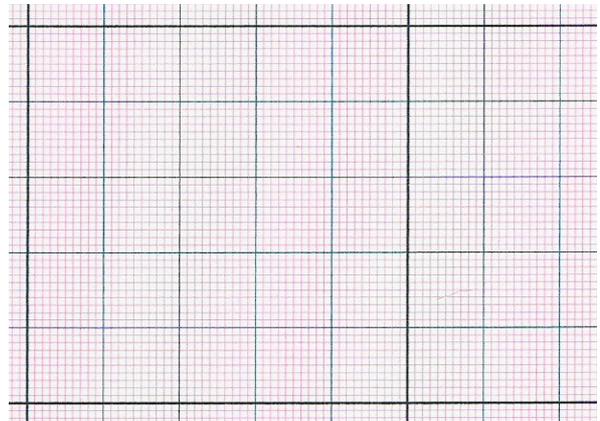
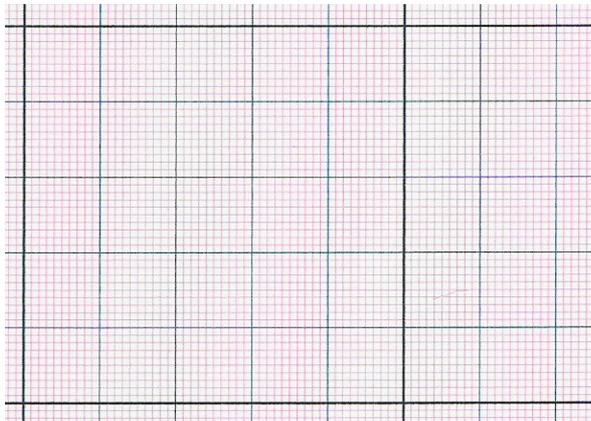
Par paillasse : 20 dés, un bécher, une grande boîte, une petite boîte (ou un autre bécher).

III Différents modes d'évolution d'une population

1) Population vieillissante

Considérons une population de 100 personnes nées toutes durant l'année 2000. Représenter à main levée sur les graphiques ci-dessous l'allure des phénomènes suivants :

- * le nombre de morts enregistrés pour chaque année en fonction de la date t (l'an 2000 correspondant à $t=0$ années)
- * le nombre de personnes restant vivantes en fonction de la date t

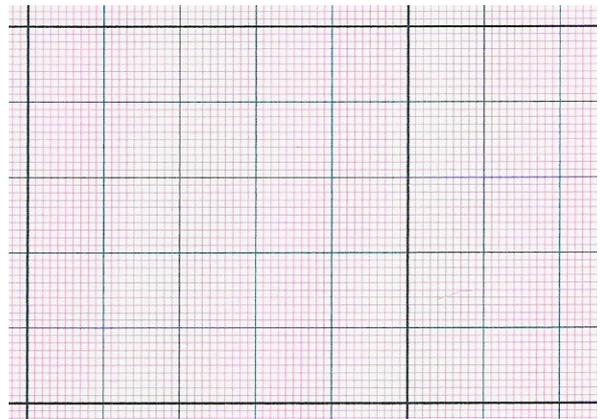
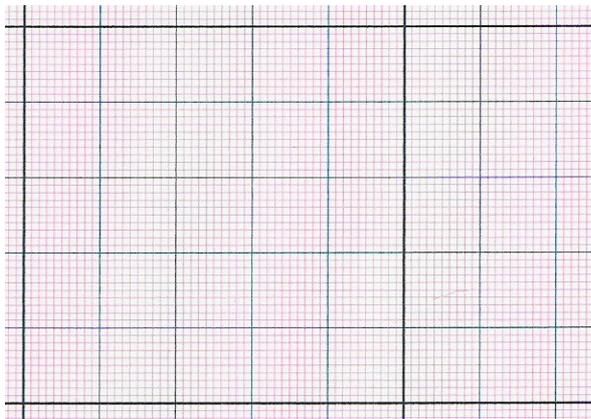


Vous venez de représenter l'évolution d'une population vieillissant. Comment peut-on caractériser cette idée de vieillissement en terme de probabilité ?

2) Population « non vieillissante »

Considérons maintenant une population de 100 dés non pipés initialement dans une boîte. On lance l'ensemble des dés et après chaque lancer, on décide de supprimer les dés qui sont tombés sur un 5 (un dé qui tombe sur un 5 est un dé « mort »). Représenter à main levée sur les graphiques ci-dessous l'allure des phénomènes suivants :

- * le nombre de dés tombés sur un 5 pour chaque lancer en fonction du numéro de lancer.
- * le nombre de dés restants en fonction du numéro de lancer.



L'évolution de cette population est régie par certaines propriétés : un dé, à chaque lancer, possède une probabilité notée λ de tomber sur un cinq à chaque fois qu'on le lance

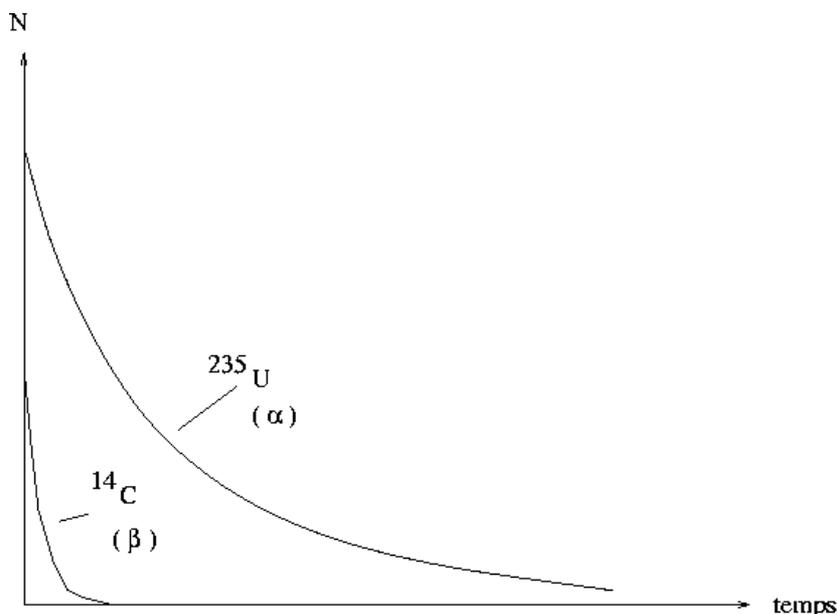
- L'évolution d'un dé, au cours de l'expérience, dépend-il des autres dés ?
- λ est-il différent d'un dé à l'autre ?
- λ , pour un dé, dépend-il du lancer effectué ?
- Un dé qui est tombé sur un 5 lors d'un lancer, peut-il être à nouveau comptabilisé dans les dés qui sont tombés sur un 5 lors d'un lancer ultérieur ?

Pourquoi peut-on qualifier la population des dés comme une population dont les êtres ne vieillissent pas ?

3) Population de noyaux radioactifs

Une fiole scintillante est remplie, au début de l'expérience, d'un nombre N_0 de noyaux radioactifs. Ces noyaux radioactifs sont instables et se désintègrent au cours du temps (ils ne sont alors plus radioactifs car ils se sont transformés en un type de noyaux qui sont stables et non radioactifs). Un système permet d'enregistrer le nombre de désintégration par seconde.

En mesurant le nombre de particules éjectées, Rutherford et Soddy ont trouvé que le nombre de noyaux suit la courbe suivante :



A quel type de population les noyaux radioactifs ressemblent-ils le plus ? Justifier.

4) Conclusion

Une population de noyaux radioactifs qui se désintègrent au cours du temps se comporte comme la population de dés étudiée précédemment. Compléter la correspondance noyaux/dés (que nous allons maintenant utiliser) du tableau suivant :

| noyaux | dés |
|--|--|
| Population de N_0 noyaux radioactifs au temps initial $t_0=0\text{s}$ | Population de N_0 dés dans la grande boîte au début de l'expérience avant tout lancer |
| | Un lancer de dé |
| Evènement « » | Evènement « un dé tombe sur un 5 » |
| Probabilité qu' : notée λ , appelée constante radioactive du noyau. | Probabilité qu'un dé tombe sur un 5 au cours d'un lancer : $1/6$ |
| Evènement « » | Evènement « trois dés sont tombés sur un 5 au 4 ^{ème} lancer » |
| Il reste | Il reste 6 dés qui ne sont encore jamais tombés sur un 5 après le 10 ^{ème} lancer |

Reprendre alors les quatre caractéristiques (à apprendre par cœur) de III.2 en les adaptant aux noyaux en les inscrivant dans le cours

IV Décroissance radioactive

Nous allons maintenant étudier plus en détail le nombre de noyaux radioactifs $N(t)$ restant au temps t partant d'une population de N_0 noyaux radioactifs au temps initial $t = 0$. On utilise la simulation par les dés.

1) Protocole expérimental

Chaque paillasse dispose de 16 dés et effectue un premier lancer. Elle élimine les dés ayant sorti le 5 (cela correspond aux noyaux ayant subi une désintégration), note le nombre de dés restant dans le tableau ci-dessous et ainsi de suite jusqu'au 15^{ème} lancer.

Chaque paillasse effectue 3 séries de lancers identiques au précédent puis rassemble la totalité des lancers effectués dans un seul tableau (tableau 1). Cela permet d'obtenir une plus grosse population au départ.

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| N° du lancer t | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Nombre de dés restant après le t ^{ème} lancer | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| N° du lancer t | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Nombre de dés restant après le t ^{ème} lancer | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| N° du lancer t | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Nombre de dés restant après le t ^{ème} lancer | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |

Tableau 1 :

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| N° du lancer t | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Nombre de dés restant après le t ^{ème} lancer | 48 | | | | | | | | | | | | | | | |

Il est ensuite nécessaire de mettre en commun le travail effectué par chaque paillasse pour obtenir un échantillon de dés plus important. Les valeurs sont rassemblées dans un seul tableau (tableau 2)

Tableau 2 :

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| N° du lancer t | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Nombre de dés restant après le t ^{ème} lancer | 432 | | | | | | | | | | | | | | | |

2) Exploitation des résultats

a) Courbe expérimentale

Tracer la courbe, en utilisant le tableur de Openoffice, représentant $N=f(t)$ pour le tableau 2 où t représente le numéro de lancer.

Tracer sur un deuxième graphique la courbe représentant le nombre de dés qui sont supprimés pour chaque lancer.

b) Courbe théorique

Les questions suivantes sont simples si l'on visualise et si l'on se représente mentalement la signification des grandeurs introduites. Ne pas hésiter à utiliser des exemples simples au brouillon pour clarifier la signification des équations. Recopier le raisonnement dans le cours

* Décroissance radioactive

On appelle $N(t)$ le nombre de noyaux radioactifs au temps t et $N(t+\Delta t)$ le nombre de noyaux radioactifs au temps $t+\Delta t$. Exprimer le nombre de noyaux désintégrés entre t et $t+\Delta t$ en utilisant la variation de N entre t et $t+\Delta t$ notée $\Delta N(t)=N(t+\Delta t)-N(t)$. Exprimer le nombre A de noyaux désintégrés par unité de temps (l'unité choisie sera la seconde) en utilisant $\Delta N(t)$ et Δt .

La probabilité qu'un noyau se désintègre en 1 seconde est notée λ . Combien de noyaux se seront désintégrés en une seconde, entre t et $t+1$ seconde, si $N(t)$ est le nombre de noyaux non désintégrés au temps t ?

En déduire la relation 1 suivante :

$$\frac{\Delta N(t)}{\Delta t} = -\lambda * N(t)$$

Que devient cette relation lorsque Δt devient très faible (relation 2) ?

Vous avez appris en mathématique à résoudre l'équation $y'=k*y$ où y est une fonction de x. Résoudre de même l'équation précédente en tenant compte de la condition initiale $N(t=0) = N_0$.

Dans l'expérience des dés, quelle est la valeur de N_0 ? Quelle est la valeur de λ ? En déduire que le nombre de dés restant $N(t)$ admet comme évolution théorique $N(t) = 480 * e^{-t/6}$.

Tracer sur le même graphique (graphique 3) à l'ordinateur cette fonction en plus des valeurs expérimentales. Conclure quant au modèle mathématique adopté.

* Activité A(t)

L'activité A représente le nombre de désintégration par unité de temps. Rappeler son expression en fonction de $\Delta N(t)$ et Δt . A quoi cela correspond pour les dés ? Quelle est son expression théorique ? Pourquoi cette grandeur est-elle importante ? Tracer sur le même graphique l'activité obtenue expérimentalement et son expression théorique et comparer. Pourquoi la courbe expérimentale de $N(t)$ est-elle obligatoirement décroissante ? Qu'en est-il pour A(t) ?