TS	**Physique**	Etude des caractéristiques des désintégrations nucléaires	**Transformations nucléaires ACTIVITES**

Objectifs

- Utiliser un appareil de comptage de désintégrations.
- Montrer le caractère aléatoire d'une désintégration radioactive.
- Savoir réaliser le traitement statistique d'une série de comptages à l'aide d'un tableur.
- Utiliser un logiciel de simulation pour mettre en évidence la loi de décroissance radioactive.

Connaissances

- Un noyau radioactif est un noyau instable (noyau-père) qui peut se désintégrer spontanément en donnant un autre noyau (noyau-fils) et en émettant une particule (α ou β) et un rayonnement γ.
- La désintégration des noyaux de césium 137 est de type β^- (émission d'un électron). Son équation s'écrit :

$$^{137}_{55}Cs \rightarrow \; ^{137}_{56}Ba + \; ^{0}_{-1}e + \gamma$$

  L'électron émis ne provient pas du cortège électronique de l'atome, mais du noyau radioactif. Or ce dernier ne comporte pas d'électron : celui-ci est donc produit lors de la transformation d'un neutron du noyau en un proton. Cet électron ayant une masse négligeable devant celle des nucléons et une charge égale à - e, il est considéré comme une particule pour laquelle A = 0 et Z = - 1.

- Les particules β^- sont assez pénétrantes mais sont arrêtées par une plaque d'aluminium ou de plomb. Le rayonnement γ a un très grand pouvoir pénétrant : il n'est que partiellement arrêté par une plaque de plomb.

Première partie : Le caractère aléatoire des désintégrations radioactives

Dispositif

Le **C**ompteur de **RA**diations **B**êta et gamma (C.R.A.B) est constitué :
- d'une source radioactive de césium 137, émettrice β^- et γ,
- d'un détecteur de rayonnement (compteur Geiger-Müller) qui délivre une impulsion pour chaque "rayonnement" capté,
- d'un compteur d'impulsions qui comptabilise les signaux délivrés par le détecteur,
- d'un compteur de temps présélectionnable qui définit la durée du comptage,
- d'écrans d'aluminium ou de plomb que l'on peut interposer entre la source et le détecteur.

Remarques :
- la source émet dans toutes les directions mais le détecteur ne reçoit qu'une petite partie du rayonnement émis,
- on admettra que, pour une distance constante de la source au détecteur, le nombre d'impulsions comptées est proportionnel au nombre de noyaux qui se sont désintégrés pendant la durée du comptage,
- pendant le temps de la séance, le nombre de noyaux qui se désintègrent est négligeable par rapport au nombre de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon de césium 137.

Manipulation

1.- Mesures

Réalisez une série de 10 comptages dans les conditions suivantes :
- détecteur à 6,5 cm environ de la source,
- 1 écran de plomb à 4,5 cm environ du détecteur,
- durée de comptage : 5 s.

2.- Résultats

a) Les résultats d'une série de 10 comptages sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

Comptage n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Indication du compteur	26	18	25	23	21	33	26	29	24	23

b) Dans le tableau ci-dessous :
- sur la première ligne : classez par ordre croissant les nombres n d'impulsions rencontrées,
- sur la seconde ligne : notez le nombre f de fois où l'on trouve la valeur n.

n								
f								

3.- Histogramme

- Construisez, à l'aide du tableur-grapheur Excel, le diagramme en bâtons correspondant à cette série de comptages, en portant :
  - en abscisse : n
  - en ordonnée : f
- Imprimez le diagramme obtenu.

4.- Questions

a) Que pouvait-on naturellement prévoir de la comparaison des 10 comptages ?

....

....

b) Cette hypothèse est-elle confirmée ou infirmée ? Que déduire des mesures ?

....

....

Traitement statistique

Il s'agit maintenant de faire une étude statistique sur une série de 1000 comptages. La durée de la séance ne permettant pas d'effectuer ce travail, on utilisera les données recueillies en laboratoire avant la séance, dans les conditions expérimentales suivantes :
- détecteur à 4,5 cm environ de la source,
- 3 écrans de plomb entre la source et le détecteur,
- durée de comptage : 2 s.

1. Représentation graphique

a) Construction

- Sous Excel, ouvrez le fichier « 1000 comptages ».
- Après avoir sélectionné toutes les valeurs de la colonne comptage, créez un graphique de type « Courbes ».

b) Questions

- Peut-on considérer que les valeurs oscillent autour d'une valeur moyenne $\overline{y}$? OUI – NON
- Si oui, donnez une valeur approchée de cette moyenne : $\overline{y}$ =

2. Calcul et représentation de la valeur moyenne

La moyenne de mesures indépendantes représente le meilleur estimateur collectif de la grandeur mesurée. Une nouvelle colonne où cette valeur moyenne sera calculée puis répétée va être créée. Cette colonne, constituée de cellules toutes identiques, sera ensuite ajoutée au graphique précédent.

a) Supprimez la courbe précédente.
b) Placez le curseur en B1.
c) Faites « Insertion » → « Fonction » → « MOYENNE » (catégorie « Statistiques ») : la fenêtre « Arguments de la fonction » s'ouvre.
d) Dans le champ « Nombre1 », tapez : « A1 :A1000 » → OK
e) Le curseur étant toujours en B1, modifiez la formule « =MOYENNE(A1:A1000) » en « =MOYENNE($A$1:$A$1000) » (référencement absolu).
f) Recopiez la cellule B1 vers le bas jusqu'à la cellule B1000.
g) Après avoir sélectionné toutes les valeurs des colonnes A et B, créez un graphique de type « Courbes ».
h) Imprimez le graphique sans le tableau : pour cela, sélectionnez le graphique avant de demander l'impression.

3. Définition et calcul de l'étendue de la série de mesures

L'étendue E de la série de mesures est définie par : $E = Y_{max} - Y_{min}$.

a) Complétez le tableau suivant :

Y_{max}	
Y_{min}	
E	

c) Quelle est la caractéristique reflétée par cette nouvelle grandeur ?
……
……

4. Définition et calcul de la variance

Une nouvelle colonne où l'écart entre la valeur de comptage et la valeur moyenne sera calculé, va être créée. La moyenne sur cette colonne sera ensuite calculée.

a) Placez le curseur en C1.
b) Créez une formule permettant de calculer la différence entre la valeur de comptage et la valeur moyenne.
c) Recopiez cette formule vers le bas jusqu'à la cellule C1000.
d) Placez ensuite le curseur en C1001 et calculez la valeur moyenne de la colonne C.
e) Conclusion ? Proposez une explication au résultat trouvé :
………
………
………

Pour éviter le problème évoqué ci-dessus, une des solutions consiste à élever au carré les valeurs de la colonne C puis de calculer la moyenne sur cette nouvelle colonne. La valeur obtenue s'appelle la **variance**.

f) En quoi cette solution est-elle plus satisfaisante ?
………
………
………
g) Créez une colonne D où les carrés des valeurs de la colonne C seront calculés.
h) Placez ensuite le curseur en D1001 et calculez la valeur moyenne de la colonne D. Complétez :

Variance	

Rq : Excel possède une fonction VAR.P qui permet de calculer directement la variance.

5. Définition et calcul de l'écart-type

L'écart-type σ caractérise la dispersion d'une série de mesures autour de la moyenne : il est égal à la racine carrée de la variance.

a) Complétez :

Ecart-type	

b) Sur le graphe précédent, tracez $\bar{y} + \sigma$ et $\bar{y} - \sigma$.
c) Que dire du domaine délimité par les deux droites précédentes ?
………
………
d) Que représente l'écart-type dans le phénomène des désintégrations nucléaires ?
………
………

Deuxième partie : Importance du nombre de comptages sur le traitement statistique

Similitude de comportement entre un dé lancé et un noyau radioactif

La désintégration radioactive d'un noyau instable a un caractère aléatoire.
D'autre part, la probabilité de désintégration d'un noyau ne change pas au cours du temps : lorsqu'un noyau subit une désintégration, on dit qu'il y a « mort sans vieillissement ».

Le résultat d'un lancer de dé a un caractère aléatoire.
D'autre part, si on suppose que le résultat testé est l'obtention d'un six, la probabilité qu'un dé donne un six est de 1/6ème. Si le six ne sort pas au premier lancer, la probabilité d'obtenir un six au deuxième lancer reste toujours de 1/6ème. Autrement dit, la probabilité qu'un dé lancé donne un six reste constante.

Un dé lancé peut donc représenter un noyau radioactif, et un ensemble de dés lancés se comportera, du point de vue de l'étude statistique, comme une population de noyaux radioactifs.

Simulation de lancers de dés

1. <u>Préparation du fichier</u>

a) Ouvrez le logiciel «Le lancer de dés ».
b) Cliquez sur « Caractère aléatoire du lancer de dés ».
c) Dans le menu « Nombre de dés », choisissez « Passer au diagramme en bâtons ».
d) Un repère s'affiche dans lequel est porté :
- en abscisse : le nombre n de 6 obtenus à chaque lancer,
- en ordonnée : la fréquence du nombre n, c'est-à-dire le nombre de fois où le nombre n a été obtenu.

2. <u>Simulation</u>

a) Cliquez environ 30 fois de suite sur « 1 lancer » (vous lancez les 100 dés 30 fois de suite), tout en observant la valeur de la moyenne affichée.

- Que dire de l'évolution de la moyenne affichée ?

....

- Que dire du diagramme en bâtons obtenu ?

....

b) Cliquez environ 3 fois de suite sur « 20 lancers ».

- Que dire de l'évolution de la moyenne affichée ?

....

- Que dire du diagramme en bâtons obtenu ?

....

c) Cliquez ensuite plusieurs fois sur « 200 lancers », tout en observant l'évolution du diagramme et celle de la valeur moyenne affichée. Vous pouvez aller jusqu'à environ 4000 lancers (attention : l'échelle des fréquences se modifie au besoin).

- Que dire de l'évolution de la moyenne affichée ?

……

- Que dire du diagramme en bâtons obtenu ?

……

3. <u>Analogie avec le comportement d'un échantillon de noyaux radioactifs et conclusion</u>

a) Analogie avec le comportement d'un échantillon de noyaux radioactifs

On cherche à transposer le diagramme précédent à un échantillon de noyaux radioactifs.
- Que portez-vous en abscisse ? ……………………………………………………………………………
- Que portez-vous en ordonnée ? ……………………………………………………………………………

b) Conclusion

- La moyenne dépend-elle du nombre de comptages ?

……

- Le domaine délimité par les nombres $\overline{y} - \sigma$ et $\overline{y} + \sigma$ comprend la grande majorité des résultats des comptages. Mais il est légitimé par une valeur moyenne $\overline{y}$ constante…
  A quelle condition peut-on envisager de faire une étude statistique fiable sur un échantillon de noyaux radioactifs ?
  ……
- Si cette condition est réalisée, les statistiques permettent de prévoir, en termes de probabilités, le comportement d'un échantillon de noyaux radioactifs :
  - En considérant le diagramme en bâtons, quelle est le nombre de désintégrations le plus probable ?
    ………
  - Où sont situées les autres valeurs probables ?
    ………

La probabilité pour que le nombre de désintégrations se trouve dans l'intervalle donné est de :
- 68% pour l'intervalle $[\overline{y} - \sigma \; ; \; \overline{y} + \sigma]$,
- 95% pour l'intervalle $[\overline{y} - 2\sigma \; ; \; \overline{y} + 2\sigma]$ (dit intervalle de confiance),
- 99,7% pour l'intervalle $[\overline{y} - 3\sigma \; ; \; \overline{y} + 3\sigma]$.

Troisième partie : Loi de décroissance radioactive

Simulation

1. Objectif

L'objectif de la simulation est de visualiser la décroissance d'un nombre d'objets représentés par des dés qui sortent du jeu.
La population de départ est constituée de 1000 dés lancés simultanément.
Pour sortir du jeu, un dé doit « faire 6 ». L'instant auquel on va obtenir un 6 ne peut pas être prévu mais la probabilité d'obtenir un 6 est constante : on a une chance sur 6 pour chaque dé lors de chaque lancer. Un dé sorti du jeu change de couleur.

2. Préparation du fichier

a) Ouvrez le logiciel « Le lancer de dés ».
b) Cliquez sur « Décroissance du nombre de dés ».
c) Dans le menu « Nombre de dés », choisissez « Passer à 1000 dés ».
d) Un repère s'affiche dans lequel est porté :
- en abscisse : le nombre de lancers,
- en ordonnée : le nombre de dés restants.

3. Mise en oeuvre

Cliquez sur « lancer » autant de fois qu'il sera nécessaire pour qu'il ne reste plus de dé en jeu.

Questions

1. Quelle est la nature de la courbe obtenue ?

………

2. Sachant qu'un dé lancé peut représenter un noyau radioactif et qu'un ensemble de dés lancés se comporte, du point de vue statistique, comme un population de noyaux radioactifs (voir deuxième partie), et si on considère que le nombre n de lancers est proportionnel au temps t écoulé, proposez une relation entre le nombre de dés restants N, le nombre initial N_0 de dés et t :