

Définitions

Le phénomène de radioactivité

1 La plupart des atomes qui constituent la matière sont stables. Cependant, certains d'entre eux sont instables et se transforment spontanément en émettant un rayonnement qui emporte de l'énergie. C'est pour traduire l'existence de ce rayonnement que ce phénomène est appelé *radioactivité* (nom inspiré de celui du *radium*, l'un des premiers éléments ayant la propriété de rayonner découverts par P. et M. Curie au début du XX^{ème} siècle).

Il y a trois sortes de rayonnement radioactifs :

- les rayons *alpha* (α), très peu pénétrants, qui sont des noyaux d'hélium (particule composée de deux protons et de deux neutrons quittant le noyau instable),
- les rayons *bêta* (β), qui existent en deux variétés : β^- , des électrons (quittant le noyau après une transformation neutron \rightarrow proton + électron), et β^+ , des positons (quittant le noyau après une transformation proton \rightarrow neutron + positon), beaucoup plus rares,
- les rayons *gamma* (γ), très pénétrants, qui sont des rayonnements électromagnétiques de très faible longueur d'onde (inférieure à 10^{-12} m).

Commentaire

2 La radioactivité est un phénomène physique et non chimique : le phénomène transforme un élément chimique (instable) en un autre élément chimique (plus stable) : il s'agit d'une *transmutation*.

Dans cette transformation, il y a conservation de la charge électrique et du nombre de nucléons.

Les rayons α et β caractérisent la radioactivité (perte ou transformation de nucléon, d'où transmutation) tandis que les γ les accompagnent souvent en évacuant l'excédent d'énergie du noyau résultant de la transformation.

Activité et becquerel

Lorsqu' un noyau se transforme par émission radioactive, on dit qu' il y a une désintégration.

Tous les éléments chimiques radioactifs ne se désintègrent pas au même rythme.

3 On appelle *activité* d'un échantillon de substance radioactive le nombre de désintégrations qui se produisent chaque seconde dans cet échantillon. Ce nombre dépend de la quantité et de la nature de la substance.

Cette activité se mesure en *becquerel* (Bq). Un becquerel signifie **une désintégration par seconde** (le becquerel est donc homogène à l'inverse d'un temps).

Décroissance radioactive

Loi différentielle

Puisque l'espèce instable se transforme par radioactivité en une autre espèce, son nombre d'atomes dans un échantillon diminue au cours du temps : soit $N(t)$ ce nombre.

Après un court instant dt , ce nombre change d'une petite variation dN : $N(t + dt) = N(t) + dN$. Puisque N diminue, on a $dN < 0$ et le nombre d'atomes qui se désintègrent est $-dN$.

Plus l'on augmente le nombre d'atomes considérés, plus l'on a de chances de voir des atomes se désintégrer : on constate expérimentalement que, **à chaque instant, le nombre d'atomes qui se transforment ($-dN$) est proportionnel au nombre N d'atomes présents.**

Le nombre de désintégrations constatées dépend aussi de la durée de mesure : **$-dN$ est proportionnel à dt .**

Enfin, le rythme de désintégration dépend de la substance considérée, d'où une **constante de proportionnalité λ qui caractérise la substance radioactive.**

Finalement, le nombre d'atomes qui se désintègrent est¹ :

$$-dN = \lambda \cdot N(t) \cdot dt$$

et la loi différentielle de décroissance radioactive est donc

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N(t) \quad (1).$$

Cette équation différentielle régit la décroissance radioactive.

Loi intégrée et demi-vie

L'équation différentielle (1) montre que la dérivée de la fonction $N(t)$ est proportionnelle à la fonction elle-même ; cette dernière est donc une exponentielle :

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2),$$

où N_0 est le nombre d'atomes dans l'échantillon à l'instant $t = 0$.

On voit que λ influe sur la vitesse de décroissance.

On appelle **demi-vie** la **durée $t_{1/2}$ au bout de laquelle une population de noyaux radioactifs est divisée par deux.**

Par définition, on a donc : $N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$ et, d'après (2) :

$N(t_{1/2}) = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}}$. En rapprochant ces deux égalités, après

¹ Sous cette forme, on voit que la proportionnalité par rapport au temps n'est valable que sur de courtes durées, puisque $N(t)$ varie en permanence.

simplification, il vient : $\frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}}$, d'où $2 = e^{\lambda t_{1/2}}$ et $\ln 2 = \lambda \cdot t_{1/2}$

et, finalement : $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$

1

Activité

L'activité, étant le nombre de désintégrations par seconde, est obtenue, à l'instant t , en divisant le nombre de désintégrations

observées ($-dN$) par la durée d'observation dt : $A = -\frac{dN}{dt}$. D'après la

loi différentielle de décroissance, elle est donc :

$$A = \lambda N(t) \quad (3).$$

Elle peut être exprimée de différentes façons, en remplaçant N par son expression exponentielle, par exemple, ou en remplaçant λ par son expression en fonction de la demi-vie.

L'égalité (3) permet aussi de calculer le nombre d'atomes présents (N) à partir de la connaissance de la substance (λ) et de la mesure de l'activité (A).

2

3