

Université Constantine 1 — Faculté des Sciences Exactes

Département de Chimie

Module : Structure de la Matière (Chimie I) | L1 Chimie | 2025/2026

Corrigé du Travaux Dirigés N° 3

Le noyau atomique — radioactivité et applications

Enseignante : Dr. ZERDOUM Radia

Ce corrigé propose une démarche détaillée pour chacun des exercices du TD 3. Les étapes de raisonnement, les formules utilisées et les calculs intermédiaires sont explicités afin de permettre une auto-correction et une révision efficaces.

Exercice 1 — Défaut de masse et énergie de liaison de ^4He **Rappel de cours**Défaut de masse : $\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_{\text{noyau}}$.Énergie de liaison : $E = \Delta m \cdot c^2$, ou directement $E(\text{MeV}) = \Delta m(u) \times 931,5$.La stabilité se juge sur E/A , énergie de liaison par nucléon.**Question 1 — Défaut de masse**

$$\Delta m = 2 \times 1,007276 + 2 \times 1,008665 - 4,001506 = 4,031882 - 4,001506$$

$$\Delta m = 0,030376 \text{ u}$$

$$\Delta m = 0,030376 \times 1,660539 \times 10^{-27} = 5,044 \times 10^{-29} \text{ kg}$$

Question 2 — Énergie de liaison

$$E = \Delta m \cdot c^2 = 5,044 \times 10^{-29} \times (3,00 \times 10^8)^2$$

$$E = 4,54 \times 10^{-12} \text{ J}$$

$$E = 0,030376 \times 931,5 = 28,3 \text{ MeV}$$

Question 3 — Énergie de liaison par nucléon

$$E/A = 28,3 / 4$$

$$E/A = 7,07 \text{ MeV par nucléon}$$

Cette valeur est élevée et proche du maximum de la courbe d'Aston ($\approx 8,8 \text{ MeV/nucléon}$ au voisinage du fer) : le noyau d'hélium est particulièrement stable, ce qui explique son abondance et son rôle de « brique » dans les réactions de fusion et les désintégrations α .

Exercice 2 — Vallée de stabilité

Isotope	Position par rapport à la vallée	Décroissance probable
^{12}C ($Z = 6$, $N = 6$)	Sur la vallée	Stable
^{14}C ($Z = 6$, $N = 8$)	Au-dessus (excès de neutrons)	β^-
^{235}U et ^{238}U ($Z = 92$)	Au-delà de la vallée ($Z > 83$)	α
^{22}Na ($Z = 11$, $N = 11$)	Au-dessous (excès de protons)	β^+ ou capture électronique
^{23}Na ($Z = 11$, $N = 12$)	Sur la vallée	Stable

Règle de lecture : un noyau situé au-dessus de la vallée convertit un neutron en proton (β^-) ; un noyau situé au-dessous convertit un proton en neutron (β^+ ou capture électronique) ; au-delà de $Z = 83$, l'émission α réduit simultanément A et Z .

Exercice 3 — Équations de désintégration

Rappel de cours

Les lois de Soddy imposent la conservation de A et de Z de part et d'autre de la flèche.

α : A – 4, Z – 2 ; β^- : A inchangé, Z + 1 ; β^+ : A inchangé, Z – 1.

- a) $^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{234}_{90}\text{Th} + ^4_2\text{He}$ — désintégration α
 b) $^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{N} + \beta^-$ (+ antineutrino) — désintégration β^-
 c) $^{22}_{11}\text{Na} \rightarrow ^{22}_{10}\text{Ne} + \beta^+$ (+ neutrino) — désintégration β^+
 d) $^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow ^{60}_{28}\text{Ni}^* + \beta^-$ (+ antineutrino) ; puis $^{60}_{28}\text{Ni}^* \rightarrow ^{60}_{28}\text{Ni} + \gamma$ — désintégration β^- suivie d'une désexcitation γ
 e) $^{40}_{19}\text{K} + e^- \rightarrow ^{40}_{18}\text{Ar}$ (+ neutrino) — capture électronique

L'émission γ n'est jamais une désintégration à part entière : elle accompagne le retour du noyau fils à son état fondamental, sans modifier ni A ni Z.

Exercice 4 — Famille radioactive de l'uranium 238

Question 1 — Nombre de désintégrations α et β^-

Seules les émissions α modifient A :

$$\Delta A = 238 - 206 = 32 \rightarrow n(\alpha) = 32 / 4 = 8$$

Chaque α diminue Z de 2, soit une variation de –16 ; or la variation totale requise vaut $Z(\text{Pb}) - Z(\text{U}) = 82 - 92 = -10$. Chaque β^- augmentant Z de 1 :

$$-16 + n(\beta^-) = -10 \rightarrow n(\beta^-) = 6$$

8 désintégrations α et 6 désintégrations β^-

Question 2 — Vérification

$$A : 238 - 8 \times 4 = 206 \quad \checkmark$$

$$Z : 92 - 8 \times 2 + 6 \times 1 = 92 - 16 + 6 = 82 \quad \checkmark$$

Exercice 5 — Tableau comparatif des rayonnements

Rayonnement	Nature	Charge	Pénétration	Exemple
α	Noyau d'hélium (2 p + 2 n)	+2e	Faible (feuille de papier)	^{238}U
β^-	Électron	–e	Moyenne (quelques mm d'aluminium)	^{14}C
β^+	Positron	+e	Moyenne (identique à β^-)	^{22}Na
γ	Photon (onde électromagnétique)	0	Forte (plomb ou béton épais)	^{60}Co

Le pouvoir de pénétration varie en sens inverse du pouvoir d'ionisation : les α , très ionisants, sont arrêtés par la peau mais dangereux en cas de contamination interne.

Exercice 6 — Loi de décroissance et activité

Rappel de cours

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} ; \lambda = \ln 2 / T ; A = \lambda \cdot N \text{ (activité en becquerels).}$$

Après n périodes, il reste $N_0 / 2^n$ noyaux.

Conversion préalable : $T = 30 \times 365,25 \times 24 \times 3600 \approx 9,467 \times 10^8 \text{ s}$.

Question 1 — Constante radioactive

$$\lambda = \ln 2 / T = 0,6931 / 9,467 \times 10^8$$

$$\lambda = 7,32 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$$

Question 2 — Noyaux restants

$$\text{Après 90 ans (3 périodes)} : N = N_0 / 2^3 = 8,0 \times 10^{20} / 8$$

$$N = 1,0 \times 10^{20} \text{ noyaux}$$

$$\text{Après 150 ans (5 périodes)} : N = N_0 / 2^5 = 8,0 \times 10^{20} / 32$$

$$N = 2,5 \times 10^{19} \text{ noyaux}$$

Question 3 — Activités

$$A_0 = \lambda N_0 = 7,32 \times 10^{-10} \times 8,0 \times 10^{20}$$

$$A_0 = 5,86 \times 10^{11} \text{ Bq}$$

$$\text{Après 60 ans (2 périodes)} : N = N_0 / 4 = 2,0 \times 10^{20} \rightarrow A = \lambda N$$

$$A = 1,46 \times 10^{11} \text{ Bq}$$

Question 4 — Temps au bout duquel il reste 1 %

$$N/N_0 = 0,01 = e^{(-\lambda t)} \rightarrow t = \ln(100) / \lambda = 4,605 / 7,32 \times 10^{-10} = 6,29 \times 10^9 \text{ s}$$

$$t \approx 199 \text{ ans, soit environ 6,6 périodes}$$

Exercice 7 — Datation au carbone 14**Question 1 — Constante radioactive**

$$\lambda = \ln 2 / 5730$$

$$\lambda = 1,21 \times 10^{-4} \text{ an}^{-1}$$

Question 2 — Âge du fragment

L'activité étant proportionnelle au nombre de noyaux : $A/A_0 = e^{(-\lambda t)}$, d'où :

$$t = -\ln(A/A_0) / \lambda = -\ln(2,1 / 13,6) / 1,21 \times 10^{-4}$$

$$= -\ln(0,1544) / 1,21 \times 10^{-4} = 1,869 / 1,21 \times 10^{-4}$$

$$t \approx 15\,450 \text{ ans}$$

Question 3 — Limites de la méthode

1. La méthode suppose que le taux de ^{14}C atmosphérique est resté constant ; en réalité il varie, ce qui impose une calibration (dendrochronologie).
2. Elle devient peu fiable au-delà d'environ 50 000 ans : l'activité résiduelle est trop faible pour être mesurée avec précision.
3. Elle est sensible à toute contamination de l'échantillon par du carbone récent.
4. Elle suppose que l'échange isotopique avec le milieu s'est arrêté net à la mort de l'organisme.

Exercice 8 — Courbe de décroissance du radon 222

La courbe attendue est une exponentielle décroissante $N(t)/N_0 = e^{(-\lambda t)}$, tracée de 0 à 20 jours, avec $\lambda = \ln 2 / 3,82 = 0,181 \text{ j}^{-1}$.

- à $t = T = 3,82 \text{ j}$: $N/N_0 = 0,5$
- à $t = 2T = 7,64 \text{ j}$: $N/N_0 = 0,25$
- à $t = 4T = 15,3 \text{ j}$: $N/N_0 = (1/2)^4 = 0,0625$

Il reste 6,25 % de l'échantillon initial au bout de 4 périodes.

Sur 20 jours, soit un peu plus de 5 périodes, la fraction restante tombe sous 3 % : c'est cette décroissance rapide qui explique le renouvellement continu du radon dans les caves à partir du radium du sous-sol.

Exercice 9 — Exposé en binôme

Pas de correction chiffrée : l'évaluation porte sur la clarté de l'exposé, l'exactitude scientifique du contenu et la participation au débat.

Annexe — Méthodes générales à retenir

1. Toute équation nucléaire se contrôle par la conservation de A et de Z (lois de Soddy).
2. $E(\text{MeV}) = \Delta m(u) \times 931,5$ évite le passage par les kilogrammes et par c^2 .
3. Pour un nombre entier de périodes, utiliser $N = N_0/2^n$; sinon, revenir à l'exponentielle.
4. Vérifier l'homogénéité des unités de temps : λ en s^{-1} pour une activité en becquerels, en an^{-1} pour une datation.
5. L'activité et le nombre de noyaux suivent la même loi de décroissance : $A/A_0 = N/N_0$.