Université A.Mira- Béjaia
Faculté de Technologie
Département de Technologie

Année universitaire 2026/2027

1ère Année **ST LMD**

Corrigé - Série de TD N°2

Exercice 1

Indication du nombre de masse, du nombre de protons, du nombre de neutrons et d'électrons, ainsi que la nature de chacune des espèces chimiques suivantes :

Elément	**A**	**Z**	**N = A – Z**	N^bre d'électrons $\bar{e} = Z - q$	**Nature**
$^{4}_{2}\mathbf{He}$	4	2	2	2	Atome neutre
$^{12}_{6}\mathbf{C}$	12	6	6	6	Atome neutre
$^{14}_{6}\mathbf{C}$	14	6	8	6	Atome neutre
$^{16}_{8}\mathbf{O}$	16	8	8	8	Atome neutre
$^{16}_{8}O^{2-}$	16	8	8	10	Ion (anion)
$^{24}_{12}Mg^{2+}$	24	12	12	10	Ion (cation)
$^{27}_{13}Al^{3+}$	27	13	14	10	Ion (cation)
$^{32}_{16}S^{2-}$	32	16	16	18	Ion (anion)
$^{127}_{53}I^{-}$	127	53	74	54	Ion (anion)
$^{23}_{11}\mathbf{Na}$	23	11	12	11	Atome neutre
$^{35}_{17}\mathbf{Cl}$	35	17	18	17	Atome neutre
$^{40}_{20}Ca^{2+}$	40	20	20	18	Ion (cation)

Exercice 2

1) Détermination des abondances relatives des deux autres isotopes ^{16}O et ^{18}O

La masse atomique moyenne correspond à la moyenne pondérée des masses des isotopes :

$$M_{moy} = \frac{\sum m_i x_i}{100} \quad \Leftrightarrow \quad M_{moy} = (m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3)\,/100$$

- x_1: abondance de $^{16}_{8}O$ avec $m_1 = 15{,}9949$ uma
- x_2: abondance de $^{17}_{8}O$ avec $m_2 = 16{,}9991$ uma
- x_3: abondance de $^{18}_{8}O$ avec $m_3 = 17{,}9992$ uma

Avec : $\sum x_i = 1 \quad \Leftrightarrow \quad x_1 + x_2 + x_3 = 1 \quad \Leftrightarrow \; x_1 = 1 - x_2 - x_3$

$x_1 = 1 - 0{,}00037 - x_3 \;\Leftrightarrow\; x_1 = 0{,}99963 - x_3$

En remplaçant par les valeurs numériques :

$$15{,}9994 = 15{,}9949\,x_1 + (16{,}9991 \times 0{,}00037) + 17{,}9992 x_3$$

$$15{,}9994 = 15{,}9949(0{,}99963 - x_3) + (16{,}9991 \times 0{,}00037) + 17{,}9992\,x_3$$

$$0{,}0042 = 2{,}0043\,x_3 \;\Leftrightarrow x_3 = \frac{0{,}0042}{2{,}0043} = 0{,}0021$$

$$x_3 = 0{,}0021 \quad \Leftrightarrow \quad x_3 = 0{,}21\%$$

On en déduit x_1 :

$$x_1 = 1 - (0{,}00037 + 0{,}0021)$$
$$x_1 = 0{,}99753 \quad \Leftrightarrow \quad x_1 = 99{,}75\%$$

2) Calcul de l'énergie de cohésion (liaison) par nucléon $\left(\frac{E}{A}\right)$ pour chaque isotope :

L'énergie de cohésion (liaison) du noyau E_{coh} est donnée par :

$$\mathbf{E_{coh} = \Delta m.C^2}$$

Avec : $\Delta m = [(Z.m_p + N.m_n) - m_{noyau}]$

$$E_{coh} = [(Z.m_p + N.m_n) - m_{noyau}] \,.\, C^2$$

✓ **Pour ^{16}O :**

$\Delta m = (8 \times 1{,}0076 + 8 \times 1{,}0086) - 15{,}9949 \quad \Leftrightarrow \quad$ **$\Delta m = 0{,}1347$ uma**

$\Delta m = 0{,}1347 \times 1{,}66\ 10^{-27}$ kg = **$2{,}236.10^{-28}$ kg**

$E_{coh} = \Delta m.C^2 \quad \Leftrightarrow \quad E_{coh} = 2{,}236 \times 10^{-28} \times (3.10^8)^2 =$ **$2{,}0124.10^{-11}$ J**

$E_{coh} = \frac{2{,}0124 \times 10^{-11}}{1{,}6 \times 10^{-13}} =$ **$125{,}78\ MeV$** **(ou bien : E_{coh} = Δm (uma) $\times$ 933,5= 125,74 MeV)**

$\frac{E}{A} = \frac{2{,}0124.10^{-11}}{16} =$ **$1{,}2578\,.\,10^{-12} J$/nucléon** ; $\frac{E}{A} = \frac{125{,}78}{16} =$ **$7{,}861$ MeV/nucléon**

On procède de la même méthode pour déterminer $\left(\frac{E}{A}\right)_{17_O}$ et $\left(\frac{E}{A}\right)_{18_O}$

✓ **Pour ^{17}O :**

$\Delta m = 0{,}1391$ uma $= 2{,}31.10^{-28}$ Kg ; $E = 2{,}08.10^{-11}$ J $= 129{,}9375$ MeV ;

$\frac{E}{A} = 1{,}223.10^{-12}$ J/nucléon $= 7{,}643$ MeV/nucleon

✓ **Pour ^{18}O :**

$\Delta m = 0{,}1476$ uma $= 2{,}45.10^{-28}$ Kg ; $E = 2{,}2051.10^{-11}$ J $= 137{,}8215$ MeV ;

$\frac{E}{A} = 1{,}225.10^{-12}$ J/nucléon $= 7{,}6567$ MeV/nucléon

Conclusion

$$\left(\frac{E}{A}\right)_{16_O} > \left(\frac{E}{A}\right)_{18_O} > \left(\frac{E}{A}\right)_{17_O}$$

L'isotope ^{16}O possède l'énergie de cohésion par nucléon la plus élevée, il est donc l'isotope le plus stable. Cette stabilité explique pourquoi il est le plus abondant dans la nature.

Exercice 3

I —1. Calcul des abondances relatives des isotopes ^{40}Ca et ^{44}Ca dans le calcium naturel

- x: abondance de $^{40}_{20}Ca$ avec $m_1 = 39{,}9626$ uma
- $y = 0{,}647\ \%$: abondance de $^{42}_{20}Ca$ avec $m_2 = 41{,}9586$ uma
- z: abondance de $^{44}_{20}Ca$ avec $m_3 = 43{,}9555$ uma

Étape 1 : Équation de la somme des abondances

$$x + y + z = 1$$
$$x + 0{,}00647 + z = 1$$

Donc :

$$\boxed{x + z = 0{,}99353} \qquad (1)$$

Étape 2 : Équation de la masse moyenne

$$m_{\text{moy}} = \sum_i x_i\, m_i$$

On obtient :

$$39{,}9626.x + 41{,}9586(0{,}00647) + 43{,}9555.z = 40{,}078$$

Ainsi :

$$\boxed{39{,}9626.x + 43{,}9555.z = 39{,}80653} \qquad (2)$$

Étape 3 : Résolution du système

D'après l'équation (1) :

$$x = 0{,}99353 - z$$

En remplaçant dans l'équation (2) :

$$39{,}9626(0{,}99353 - z) + 43{,}9555.z = 39{,}80653$$

Donc :

$$z = \frac{39{,}80653 - 39{,}7041}{3{,}9929}$$

$$z \approx 0{,}02567$$

L'abondance de $^{44}_{20}$Ca est donc :

$$\boxed{a(^{44}_{20}\text{Ca}) \approx 2{,}567\%}$$

Puis :

$$x = 0{,}99353 - 0{,}02567$$

$$\boxed{a(^{40}_{20}\text{Ca}) \approx 96{,}786\%}$$

2. Composition nucléaire de chaque isotope

Isotope	Protons Z	Neutrons N	Électrons de l'atome neutre
$^{40}_{20}$Ca	20	$40 - 20 = 20$	20
$^{42}_{20}$Ca	20	$42 - 20 = 22$	20
$^{44}_{20}$Ca	20	$44 - 20 = 24$	20

Les trois isotopes ont le même nombre de protons, mais des nombres de neutrons différents.

3. Calcul de l'énergie de liaison

L'énergie de liaison correspond à l'énergie nécessaire pour séparer complètement un noyau en protons et neutrons libres.

Formules à utiliser

Le défaut de masse est :

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_{\text{noyau}}$$

Or, les masses fournies dans l'énoncé sont des **masses atomiques**. Pour obtenir la masse du noyau, on retire la masse des Z électrons :

$$m_{\text{noyau}} = m_{\text{atome}} - Zm_e$$

On peut donc directement écrire :

$$\boxed{\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_{\text{atome}} + Zm_e}$$

Ensuite :

$$E_l = \Delta m\, c^2$$

Si le défaut de masse est exprimé en unités de masse atomique :

$$\boxed{E_l(\text{MeV}) = \Delta m(\text{u}) \times 931{,}5}$$

Et :

$$\boxed{E_l(\text{J}) = E_l(\text{MeV}) \times 1{,}6 \times 10^{-13}}$$

On utilise $m_p = 1{,}0073$ u, $m_n = 1{,}0087$ u, $m_e = 0{,}00055$ u et $Z = 20$.

a) Isotope $^{40}_{20}$Ca

Ici, $Z = 20$et $N = 20$.

La masse des nucléons séparés est :

$$20m_p + 20m_n = 20(1{,}0073) + 20(1{,}0087)$$

$$= 40{,}3200 \text{ u}$$

La masse du noyau est :

$$m_{\text{noyau}} = 39{,}9626 - 20(0{,}00055)$$

$$m_{\text{noyau}} = 39{,}9516 \text{ u}$$

Le défaut de masse vaut donc :

$$\Delta m = 40{,}3200 - 39{,}9516$$

$$\boxed{\Delta m = 0{,}3684 \text{ u}}$$

En MeV :

$$E_l = 0{,}3684 \times 931{,}5$$

$$\boxed{E_l \approx 343{,}14 \text{ MeV}}$$

En joules :

$$E_l = 343{,}14 \times 1{,}6 \times 10^{-13}$$

$$\boxed{E_l \approx 5{,}49 \times 10^{-11} \text{ J}}$$

b) Isotope $^{42}_{20}$Ca

Ici, $Z = 20$et $N = 22$.

Masse des nucléons séparés :

$$20m_p + 22m_n = 20(1,0073) + 22(1,0087)$$

$$= 42{,}3374 \text{ u}$$

Masse du noyau :

$$m_{\text{noyau}} = 41{,}9586 - 20(0,00055)$$

$$m_{\text{noyau}} = 41{,}9476 \text{ u}$$

Défaut de masse :

$$\Delta m = 42{,}3374 - 41{,}9476$$

$$\boxed{\Delta m = 0{,}3898 \text{ u}}$$

En MeV :

$$E_l = 0{,}3898 \times 931{,}5$$

$$\boxed{E_l \approx 363{,}13 \text{ MeV}}$$

En joules :

$$E_l = 363{,}13 \times 1{,}6 \times 10^{-13}$$

$$\boxed{E_l \approx 5{,}81 \times 10^{-11} \text{ J}}$$

c) Isotope $^{44}_{20}$Ca

Ici, $Z = 20$ et $N = 24$.

Masse des nucléons séparés :

$$20m_p + 24m_n = 20(1,0073) + 24(1,0087)$$

$$= 44{,}3548 \text{ u}$$

Masse du noyau :

$$m_{\text{noyau}} = 43{,}9555 - 20(0,00055)$$

$$m_{\text{noyau}} = 43{,}9445 \text{ u}$$

Défaut de masse :

$$\Delta m = 44{,}3548 - 43{,}9445$$

$$\boxed{\Delta m = 0{,}4103 \text{ u}}$$

En MeV :

$$E_l = 0{,}4103 \times 931{,}5$$

$$\boxed{E_l \approx 382{,}20 \text{ MeV}}$$

En joules :

$$E_l = 382{,}20 \times 1{,}6 \times 10^{-13}$$

$$\boxed{E_l \approx 6{,}12 \times 10^{-11} \text{ J}}$$

4. Ordre de stabilité des noyaux

Pour comparer la stabilité des noyaux, on calcule **l'énergie de liaison par nucléon** :

$$E_{\text{nucléon}} = \frac{E_l}{A}$$

Plus cette énergie est grande, plus les nucléons sont fortement liés en moyenne dans le noyau.

Pour $^{40}_{20}$Ca:

$$\frac{E_l}{A} = \frac{343{,}14}{40}$$

$$\boxed{\frac{E_l}{A} \approx 8{,}58 \text{ MeV/nucléon}}$$

Pour $^{42}_{20}$Ca:

$$\frac{E_l}{A} = \frac{363{,}13}{42}$$

$$\boxed{\frac{E_l}{A} \approx 8{,}65 \text{ MeV/nucléon}}$$

Pour $^{44}_{22}$Ca:

$$\frac{E_l}{A} = \frac{382{,}20}{44}$$

$$\boxed{\frac{E_l}{A} \approx 8{,}69 \text{ MeV/nucléon}}$$

Conclusion

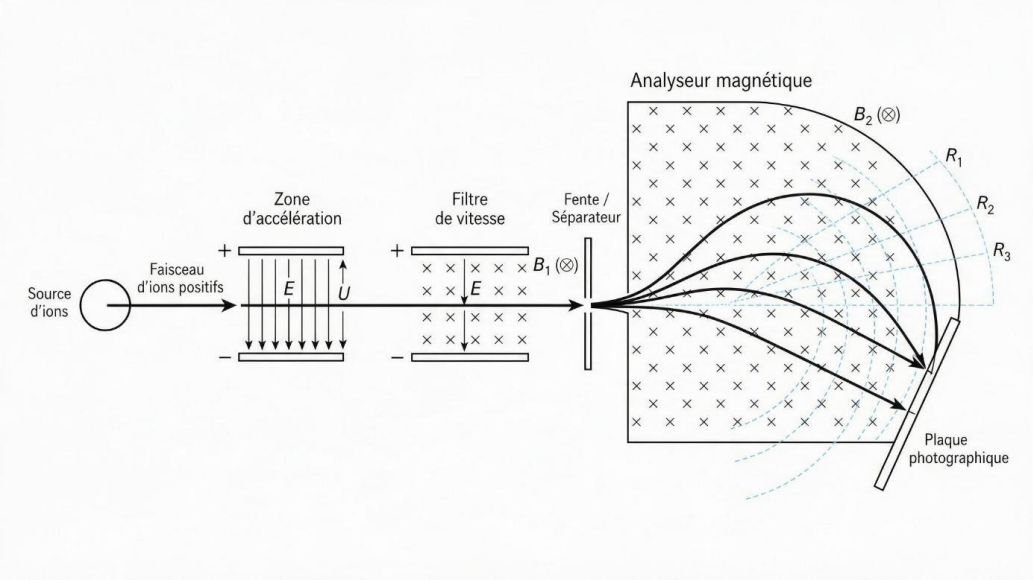
L'ordre de stabilité selon l'énergie de liaison par nucléon est :

$$\boxed{^{44}_{20}\text{Ca} > ^{42}_{20}\text{Ca} > ^{40}_{20}\text{Ca}}$$

L'isotope $^{44}_{20}$Ca possède la plus grande énergie de liaison par nucléon : ses nucléons sont donc les plus fortement liés en moyenne.

II — 1. Schéma du spectrographe de Bainbridge

Le spectrographe comprend une source d'ions, une zone d'accélération, un filtre de vitesse et un analyseur magnétique.



Dans le filtre de vitesse, les forces électrique et magnétique se compensent pour les ions qui passent sans déviation :

$$F_e = F_m$$

$$eE = eVB'$$

En simplifiant par e, on obtient :

$$\boxed{V = \frac{E}{B'}}$$

Dans l'analyseur, la force magnétique joue le rôle de force centripète :

$$eVB = \frac{mV^2}{r}$$

D'où :

$$\boxed{r = \frac{mV}{eB}}$$

2. Calcul de la vitesse des ions Ca^+

Les ions traversent le filtre sans déviation si les forces électrique et magnétique sont opposées et de même intensité. On utilise :

$$V = \frac{E}{B'}$$

En remplaçant par les valeurs :

$$V = \frac{8 \times 10^4}{0{,}40}$$

Donc :

$$\boxed{V = 2{,}0 \times 10^5 \text{ m/s}}$$

3. Rayon de courbure de chaque isotope

On utilise :

$$r = \frac{mV}{eB}$$

La masse de chaque ion est approximativement égale à celle de son noyau.

a) Pour $^{40}Ca^+$

Conversion de la masse en kilogrammes :

$$m_{40} = 40 \times 1{,}66 \times 10^{-27}$$

$$m_{40} = 6{,}64 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

Calcul du rayon :

$$r_{40} = \frac{6{,}64 \times 10^{-26} \times 2 \times 10^5}{1{,}6 \times 10^{-19} \times 0{,}50}$$

$$r_{40} = \frac{1{,}328 \times 10^{-20}}{8 \times 10^{-20}}$$

Ainsi :

$$\boxed{r_{40} = 0{,}166 \text{ m}}$$

b) Pour $^{44}Ca^{+}$

Conversion de la masse :

$$m_{44} = 44 \times 1{,}66 \times 10^{-27}$$

$$m_{44} = 7{,}304 \times 10^{-26}\ \text{kg}$$

Calcul du rayon :

$$r_{44} = \frac{7{,}304 \times 10^{-26} \times 2 \times 10^{5}}{1{,}6 \times 10^{-19} \times 0{,}50}$$

$$r_{44} = \frac{1{,}4608 \times 10^{-20}}{8 \times 10^{-20}}$$

Ainsi :

$$\boxed{r_{44} = 0{,}1826\ \text{m}}$$

Résultats

- Pour $^{40}Ca^{+}$: $r_{40} = 16{,}6$ cm.
- Pour $^{44}Ca^{+}$: $r_{44} = 18{,}26$ cm.

L'isotope le plus lourd possède le rayon de courbure le plus grand, puisque les deux ions ont la même charge et la même vitesse.

4. Distance entre les deux points d'impact

Les ions décrivent des trajectoires semi-circulaires. La distance entre les points d'impact sur la plaque est donc égale au double de la différence des rayons :

$$d = 2\,(r_{44} - r_{40})$$

En remplaçant :

$$d = 2(0{,}1826 - 0{,}166)$$

$$d = 2 \times 0{,}0166$$

On a alors :

$$\boxed{d = 0{,}0332\ \text{m}}$$

Soit :

$$\boxed{d = 3{,}32\ \text{cm}}$$

Université A.Mira- Béjaia Année universitaire 2026/2027
Faculté de Technologie
Département de Technologie 1ère Année **ST LMD**

Exercices suplimentaires

Exercice 2

On étudie les ions $^{6}Li^{2+}$ et $^{7}Li^{2+}$. On néglige la masse des électrons et on suppose que les ions entrent perpendiculairement au champ magnétique.

1. Expression du rayon de la trajectoire

Principe : la force magnétique joue le rôle de force centripète et impose une trajectoire circulaire.

La valeur de la force magnétique exercée sur un ion entrant perpendiculairement au champ magnétique est :

$$F_m = | q | vB$$

La force centripète nécessaire au mouvement circulaire est :

$$F_c = \frac{mv^2}{r}$$

En identifiant ces deux forces, on obtient :

$$| q | vB = \frac{mv^2}{r}$$

On simplifie par v, puis on isole r:

$$\boxed{r = \frac{mv}{| q | B}}$$

Conclusion : le rayon de la trajectoire est proportionnel à la masse de l'ion et à sa vitesse, et inversement proportionnel à la valeur de sa charge et à l'intensité du champ magnétique. Puisque les deux isotopes ont la même charge, la même vitesse et traversent le même champ magnétique, leurs rayons sont proportionnels à leurs masses.

2. Expression de la distance entre les deux points d'impact

Après avoir parcouru un demi-cercle, chaque ion atteint le détecteur à une distance de son point d'entrée égale au diamètre de sa trajectoire.

Pour le premier isotope :

$$D_1 = 2r_1$$

Pour le deuxième isotope :

$$D_2 = 2r_2$$

La distance entre les deux points d'impact est donc :

$$d = D_2 - D_1$$

En supposant que $r_2 > r_1$, on obtient :

$$\boxed{d = 2(r_2 - r_1)}$$

D'où :

$$\boxed{r_2 - r_1 = \frac{d}{2}}$$

Or, d'après la question 1 :

$$r_1 = \frac{m_1 v}{qB} \text{ et } r_2 = \frac{m_2 v}{qB}$$

Par conséquent :

$$d = 2\left(\frac{m_2 v}{qB} - \frac{m_1 v}{qB}\right)$$

On factorise :

$$\boxed{d = \frac{2v(m_2 - m_1)}{qB}}$$

3. Calcul de la vitesse v

Étape 1 : Calculer les masses des deux isotopes

Le lithium possède un numéro atomique $Z = 3$, donc son noyau contient 3 protons.
L'isotope ^{6}Li contient 3 protons et 3 neutrons. Sa masse est approximativement :

$$m_1 = 3m_p + 3m_n$$

$$m_1 = 3(1{,}00728) + 3(1{,}00866)$$

$$\boxed{m_1 = 6{,}04782 \text{ u}}$$

En kilogrammes :

$$m_1 = 6{,}04782 \times 1{,}6605 \times 10^{-27}$$

$$\boxed{m_1 \simeq 1{,}00424 \times 10^{-26} \text{ kg}}$$

L'isotope ^{7}Li contient 3 protons et 4 neutrons. Sa masse est :

$$m_2 = 3m_p + 4m_n$$

$$m_2 = 3(1{,}00728) + 4(1{,}00866)$$

$$\boxed{m_2 = 7{,}05648 \text{ u}}$$

En kilogrammes :

$$m_2 = 7{,}05648 \times 1{,}6605 \times 10^{-27}$$

$$\boxed{m_2 \simeq 1{,}17173 \times 10^{-26} \text{ kg}}$$

La différence des masses vaut donc :

$$\Delta m = m_2 - m_1$$

$$\Delta m = (7{,}05648 - 6{,}04782) \times 1{,}6605 \times 10^{-27}$$

$$\boxed{\Delta m \simeq 1{,}67488 \times 10^{-27} \text{ kg}}$$

Étape 2 : Déduire l'expression de la vitesse

Nous avons établi que :

$$d = \frac{2v(m_2 - m_1)}{qB}$$

En isolant v, on obtient :

$$\boxed{v = \frac{dqB}{2(m_2 - m_1)}}$$

Étape 3 : Application numérique

On utilise :

- $d = 2{,}0 \times 10^{-2}$ m
- $q = 3{,}20 \times 10^{-19}$ C
- $B = 0{,}4$ T
- $\Delta m = 1{,}67488 \times 10^{-27}$ kg

Ainsi :

$$v = \frac{2{,}0 \times 10^{-2} \times 3{,}20 \times 10^{-19} \times 0{,}4}{2 \times 1{,}67488 \times 10^{-27}}$$

$$v = \frac{2{,}56 \times 10^{-21}}{3{,}34976 \times 10^{-27}}$$

Finalement :

$$\boxed{v \simeq 7{,}64 \times 10^{5}\ \text{m s}^{-1}}$$

Les ions doivent entrer dans la région magnétique avec une vitesse d'environ $764\,000\ \text{m s}^{-1}$.

4. Calcul des rayons $r_1$et r_2

La relation obtenue à la première question est :

$$r = \frac{mv}{qB}$$

a) Rayon de la trajectoire de l'ion $^{6}Li^{2+}$

On utilise $m_1 = 1{,}00424 \times 10^{-26}$ kg.

$$r_1 = \frac{m_1 v}{qB}$$

En remplaçant par les valeurs numériques :

$$r_1 = \frac{1{,}00424 \times 10^{-26} \times 7{,}64 \times 10^{5}}{3{,}20 \times 10^{-19} \times 0{,}4}$$

$$r_1 \simeq 5{,}996 \times 10^{-2}\ \text{m}$$

Donc :

$$\boxed{r_1 \simeq 6{,}00\ \text{cm}}$$

b) Rayon de la trajectoire de l'ion $^{7}Li^{2+}$

On utilise $m_2 = 1{,}17173 \times 10^{-26}$ kg.

$$r_2 = \frac{m_2 v}{qB}$$

En remplaçant par les valeurs numériques :

$$r_2 = \frac{1{,}17173 \times 10^{-26} \times 7{,}64 \times 10^{5}}{3{,}20 \times 10^{-19} \times 0{,}4}$$

$$r_2 \simeq 6{,}996 \times 10^{-2}\ \text{m}$$

Donc :

$$\boxed{r_2 \simeq 7{,}00\ \text{cm}}$$

Vérification du résultat

La distance entre les deux points d'impact doit être égale à 2,0 cm.

Or :

$$d = 2(r_2 - r_1)$$

$$d = 2(7{,}00 - 6{,}00)$$

$$\boxed{d = 2{,}00\ \text{cm}}$$

La condition demandée est bien vérifiée.