Physique Chimie – Correction

Exercice 1 : Performance d'une athlète

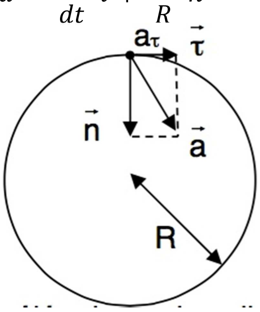
1. Étude du mouvement du boulet avant le lâcher du marteau par l'athlète

1.1. Par définition $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$, or au cours d'un mouvement circulaire le vecteur vitesse $\vec{v}$ voit sa direction changer continuellement ainsi $\frac{d\vec{v}}{dt} \neq \vec{0}$ et il existe un vecteur accélération.

1.2. Dans le cas d'un mouvement circulaire, le vecteur accélération est centripète (qui tend vers le centre), ainsi on élimine le schéma 4.

Utilisons la base de Frenet pour définir l'accélération dans le cas d'un mouvement circulaire :

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt}\,\vec{\tau} + \frac{v^2}{R}\,\vec{n}$$

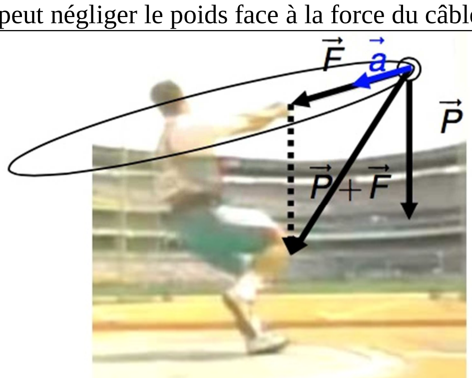
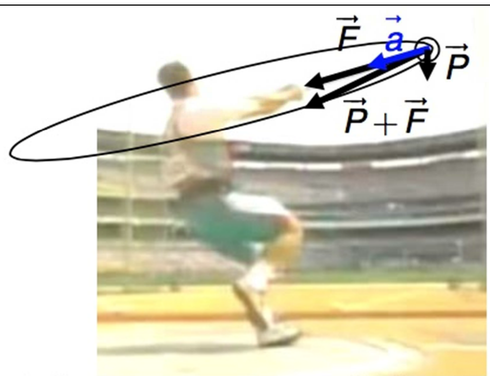


Si le mouvement est **accéléré** alors $\frac{dv}{dt} > 0$,

ainsi la coordonnée a_τ du vecteur accélération suivant le vecteur unitaire $\vec{\tau}$ est positive et $\vec{a}$ est orienté dans le sens de rotation.
Cette situation correspond au **schéma 3**.
Pour que le mouvement soit **circulaire uniforme**, il faut que le vecteur accélération soit radial (porté par le rayon du cercle car $a_\tau = \frac{dv}{dt}$ 0) et centripète. Cette situation est visible sur le **schéma 1**.

Remarque : On peut plus simplement utiliser : $\vec{a}\,.\,\vec{v} > 0$ *mouvement accéléré*
$\vec{a}.\vec{v} = 0$ *mouvement uniforme et* $\vec{a}.\vec{v} < 0$ *mouvement ralenti.*

1.3. D'après la seconde loi de Newton appliquée au boulet dans le référentiel terrestre supposé galiléen, on a :
$\vec{P} + \vec{F} = m\,\vec{a}$ où $\vec{F}$ est la force exercée par le câble sur le boulet.
$\vec{F}$ et $\vec{a}$ sont visiblement dans le même plan (pas forcément horizontal), c'est donc que
$\vec{F} + \vec{P} \approx \vec{F}$ soit pour les normes de vecteur : F très supérieure à P.
On peut négliger le poids face à la force du câble.

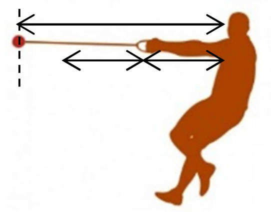
 Poids non négligeable face à la force du boulet alors $\vec{F} + \vec{P}$ n'est pas dans le même plan que $\vec{a}$.	 Plus F est grand face à P et plus $\vec{F} + \vec{P}$ tend à être dans le même plan que $\vec{a}$.

Les schémas ci-dessus ne représentent pas exactement la situation de l'énoncé de l'exercice car l'axe de rotation de l'athlète n'est pas vertical. Les schémas correspondent à la réalité du lancer.

La deuxième loi de Newton donne alors $\vec{F} = m\vec{a}$, en supposant le mouvement circulaire et uniforme alors a = $\frac{v^2}{R}$ et on obtient alors F = m. $\frac{v^2}{R}$.

Pour confirmer que le poids est négligeable devant la force exercée par le câble, exprimons le rapport $\frac{F}{P}$.

$$\frac{F}{P} = \frac{m.\frac{v^2}{R}}{m.g} = \frac{v^2}{g.R}$$



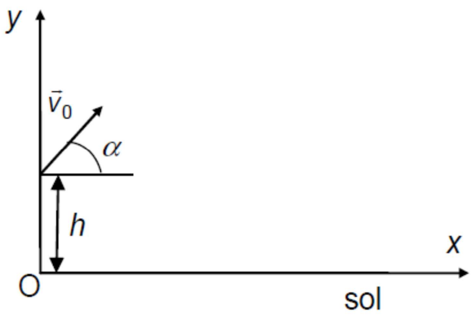
En observant le dessin du lanceur de marteau, on constate que le rayon a une longueur supérieure à deux bras, soit entre 2 et 3 m.
Posons R = 2,5 m.

$$\frac{F}{P} = \frac{26^2}{9,8 \times 2,5} = 28$$

Alors F = 28.P, on confirme que le poids est négligeable devant la force exercée par le câble.

2. Étude du mouvement du boulet après le lâcher du marteau par l'athlète

2.1. On étudie le système {boulet}, de masse m constante, dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Les actions dues à l'air étant négligées, le boulet n'est soumis qu'à son poids, $\vec{P} = m\vec{g}$.
La deuxième loi de Newton appliquée au boulet donne :



$$\vec{P} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{dm}{dt}\vec{v} + m\,\frac{d\vec{v}}{dt}$$

Or m = cte alors $\frac{dm}{dt} = 0$ donc $\frac{d\vec{p}}{dt} = m\vec{a}$

Soit $\vec{P} = m\vec{a}$

$m\vec{g} = m\vec{a}$

d'où : $\vec{a} = \vec{g}$.

En projection dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$, il vient : $\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases}$

On a : $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ soit $\vec{a}\begin{cases} a_x = \frac{dv_x}{dt} = 0 \\ a_y = \frac{dv_y}{dt} = -g \end{cases}$ donc $\vec{v}\begin{cases} v_x = C_1 \\ v_y = -g \cdot t + C_2 \end{cases}$

où C_1 et C_2 sont des constantes d'intégration qui dépendent des conditions initiales.

Or $\vec{v}(t=0) = \overrightarrow{v_0}$ avec $\overrightarrow{v_0}\begin{cases} v_{0x} = v_0.\cos\alpha \\ v_{0y} = v_0.\sin\alpha \end{cases}$ donc $\begin{cases} C_1 = v_0.\cos\alpha \\ 0 + C_2 = v_0.\sin\alpha \end{cases}$

$$\vec{v}\begin{cases} v_x = v_0.\cos\alpha \\ v_y = -g \cdot t + v_0.\sin\alpha \end{cases}$$

Et : $\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$ soit $\vec{v}\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v_0.\cos\alpha \\ \frac{dy}{dt} = -g\cdot t + v_0.\sin\alpha \end{cases}$ donc

$$\overrightarrow{OM}\begin{cases} x(t) = \left(v_0.\cos\alpha\right).t + C'_1 \\ y(t) = -\frac{1}{2}g\cdot t^2 + \left(v_0.\sin\alpha.\right)t + C'_2 \end{cases}$$

où C'_1 et C'_2 sont des constantes d'intégration.

Or $\overrightarrow{OM}(t=0)\begin{cases} x = 0 \\ y = h \end{cases}$ donc $\begin{cases} 0 + C'_1 = 0 \\ 0 + 0 + C'_2 = h \end{cases}$

Finalement : $\overrightarrow{OM}\begin{cases} x(t) = \left(v_0.\cos\alpha\right).t \\ y(t) = -\frac{1}{2}g\cdot t^2 + \left(v_0.\sin\alpha\right).t + h \end{cases}$

Pour déterminer l'équation de la trajectoire :
A partir de la première équation du système ci-dessus, on a une expression de t

$$t = \frac{x}{v_0\ \cos\alpha}$$

On remplace t par cette expression dans la seconde équation et on retrouve l'équation de la trajectoire du boulet donnée dans l'énoncé.

2.2. Il faut déterminer l'abscisse du boulet lorsqu'il touche le sol, soit résoudre

$$y = \frac{-gx^2}{2v_0^2\cos^2(\alpha)} + \tan(\alpha).x + h = 0$$

Avec $\alpha = 45°$, $v_0 = 26\ m.s^{-1}$, $h = 3,0\ m$, $g = 9,8\ m.s^{-2}$

$$\frac{-9,8x^2}{2\times 26^2\times\cos^2(45)} + \tan(45).x + 3,0 = 0$$

$-1,449704142\times10^{-2}\ x^2 + x + 3,0 = 0$ *(valeur de a stockée en mémoire)*

Polynôme du second degré du type $ax^2 + bx + c = 0$

$\Delta = b^2 - 4.a.c = 1^2 - (4\times(-1,449704142\times10^{-2}) \times 3,0) = 1,17396$

(valeur non arrondie stockée en mémoire)

Solutions : $x_1 = \frac{-b+\sqrt{\Delta}}{2a}$ et $x_2 = \frac{-b-\sqrt{\Delta}}{2a}$

$x_1 = \frac{-1+\sqrt{1,17}}{2\times(-1,4497\times10^{-2})} = -2,9$ m et $x_2 = \frac{-1-\sqrt{1,17}}{2\times(-1,4497\times10^{-2})} = 71,86$ m $= 72$ m

On ne retient que la solution positive, et avec deux chiffres significatifs $x_2 = 72$ m.
À l'aide du tableau, on en déduit que l'athlète serait classée à la 11ème place juste derrière Joanna Fiodorow qui a lancé le marteau à 72,37 m.

2.3. Les trois courbes montrent une différence au niveau de la date de touché du sol.
Déterminons cette date t_F pour laquelle $x(t_F) = x_2$.
$x(t_F) = (v_0 . \cos\alpha).t_F$

$$t_F = \frac{x(t_F)}{v_0.\cos\alpha}$$

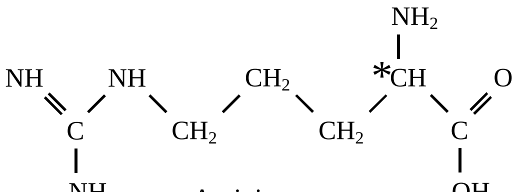
$t_F = \dfrac{71{,}86}{26 \times \cos 45}$ = 3,9 s. *(valeur non arrondie stockée en mémoire)*

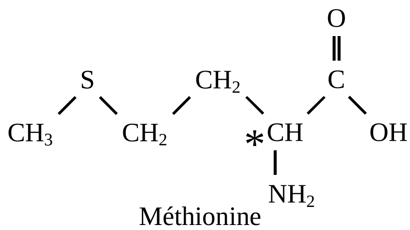
Seule la courbe E_{P2} convient.

3. Créatine et créatinine chez l'athlète

3.1.1. Étude des acides α-aminés nécessaires à la synthèse de la créatine

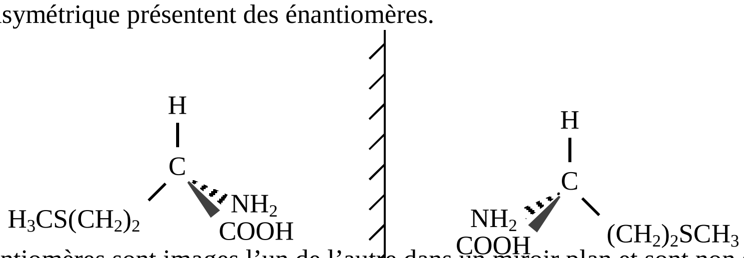
a. Tous les acides α-aminés possèdent le groupe caractéristique amino $-NH_2$ et sur l'atome de carbone voisin un groupe carboxyle –COOH.
b. Une molécule possédant un seul atome de carbone asymétrique C* possède un énantiomère.
Utilisons des formules semi-développées pour mieux repérer les C*.


Arginine


Méthionine

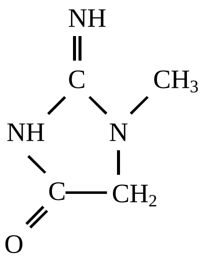
Parmi les molécules d'acides α-aminés citées dans le texte, l'arginine et la méthionine avec un seul atome de carbone asymétrique présentent des énantiomères.

c.



Deux énantiomères sont images l'un de l'autre dans un miroir plan et sont non superposables.

3.1.2. et **3.1.3.** Dessinons sa formule semi-développée pour trouver sa formule brute.



Formule brute : $C_4H_7N_3O$

3.2. Dosage du taux de créatinine chez l'athlète.

3.2.1. La phrase « L'intensité de la couleur obtenue est directement proportionnelle à la concentration de créatinine de l'échantillon. » est traduite par la loi de Beer-Lambert $A = k.c$
Le tube 1 sert de « blanc » dont l'absorbance sert de référence $A = 0$.
Le tube 2 contient de la créatinine à une concentration molaire C_2 inconnue et a une absorbance $A_2 = 0{,}71$
Le tube 3 contient de la créatinine à la concentration C_3 = 100 µmol.L^{-1} pour une absorbance de $A_3 = 0{,}62$.

Comme A = k.C, on a k = $\dfrac{A}{C} = \dfrac{A_2}{C_2} = \dfrac{A_3}{C_3}$ soit $C_2 = \dfrac{A_2.C_3}{A_3}$

$C_2 = \dfrac{0{,}71 \times 100}{0{,}62}$ = 1,1×10^2 µmol.L^{-1} = 1,1×10^{-4} mol.L^{-1} *(valeur stockée en mémoire)*

La concentration massique C_{2m} est liée à la concentration molaire C_2 par la relation $C_{2m} = C_2.M_{Créatinine.}$

$C_{2m} = C_2.\, M_{C_4H_7N_3O} = C_2.(4M(\text{C}) + 7M(\text{H}) + 3M(\text{N}) + M(\text{O}))$

$C_{2m} = 1{,}1\times10^{-4} \times 113 = 1{,}3\times10^{-2}$ g.L^{-1} si on conserve trois chiffres significatifs C_{2m} = 12,9 mg.L^{-1}

Cette valeur est légèrement supérieure à celle attendue pour le sérum sanguin chez la femme car elle est supérieure à 12 mg.L^{-1}.

3.2.2. La valeur du taux de créatinine dans le sang dépend de la masse musculaire de l'individu.
Comme il s'agit d'une athlète de forte masse musculaire, ce taux est plus élevé que celui d'une femme moins sportive.

Exercice 2 : Etude cinétique d'une réaction

1. __**La transformation étudiée**__

1.1.

- La fiole jaugée de volume V_S= 25,0 mL contient V_1 = 1,0 mL de 2-chloro-2-méthylpropane.

  Ce qui correspond à une quantité de matière $\mathbf{n_1} = \dfrac{\rho.V_1}{M}$ = 0,85x 1,0 / 92,0 = 9,2.10^{-3} mol

La concentration en 2-chloro-2-méthylpropane de la solution S est donc $C_S = n_1/V_S = 9{,}2.10^{-3} / (25{,}0.10^{-3})$ = *0,37 mol.L*$^{-1}$

- *Ensuite on a prélevé un volume* V_0 = *5,0 mL de solution S, soit une quantité* n_0 *de 2-chloro-2-méthylpropane :*

  $n_0 = C_s.V_0 = 0{,}37 \times 5{,}0.10^{-3} = \mathbf{1{,}8.10^{-3}}$ ***mol***

__Ou alors :__

- *On a prélevé un volume* V_0 = *5,0 mL de solution S, soit un volume cinq fois plus faible que celui de la fiole.*

  Donc $n_0 = \dfrac{n_1}{5} = \dfrac{\rho.V_1}{5M}.\mathbf{n_0} = \dfrac{0{,}85\times1{,}0}{5\times92{,}0} = \mathbf{1{,}8.10^{-3}}$ ***mol***

1.2. *Équation chimique*		$(CH_3)_3C\text{-}Cl_{(l)}$ +	$2\,H_2O_{(l)}$ →	$(CH_3)_3C\text{-}OH_{(l)}$ +	H_3O^+ +	$Cl^-_{(aq)}$
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)				
État initial	0	n_0	excès	**0**	***négligeable***	**0**
État intermédiaire	x	$\mathbf{n_0 - x}$	excès	$\boldsymbol{x}$	$\boldsymbol{x}$	$\boldsymbol{x}$
État final	X_f	$\mathbf{n_0 - x_f}$	excès	$\boldsymbol{X_f}$	$\boldsymbol{X_f}$	$\boldsymbol{X_f}$

D'après le tableau, à chaque instant : $[H_3O^+] = [Cl^-_{(aq)}] = \dfrac{x}{V}$ avec V volume total de la solution

Le 2-chloro-2-méthylpropane est le réactif limitant (puisque l'eau est en excès), donc $n_0 - x_f = 0$ *soit* $x_f = n_0$

1.3. Pour effectuer un suivi conductimétrique, il est nécessaire qu'au cours de la transformation la conductivité σ varie. C'est le cas ici puisqu'initialement le milieu réactionnel ne contient pas d'ion mais qu'au cours de la transformation, il en apparaît. En effet, au cours de la transformation, le volume V est constant, comme la quantité d'ions augmente, la concentration en ions augmente aussi d'où l'augmentation de la conductivité au cours du temps.

1.4. Conductivité du mélange : $\sigma = \lambda^0\left(H_3O^+\right).[H_3O^+] + \lambda^0\left(Cl^-\right).[Cl^-_{(aq)}]$

$$\sigma = \left(\lambda^0\left(H_3O^+\right)+\lambda^0\left(Cl^-\right)\right).[H_3O^+]$$

1.5. Comme $[H_3O^+] = \dfrac{x}{V}$, on obtient $\boxed{\sigma = \left(\lambda^0\left(H_3O^+\right)+\lambda^0\left(Cl^-\right)\right)\cdot\dfrac{x}{V}}$

1.6. $x_\infty = \dfrac{\sigma.V}{\left(\lambda^0\left(H_3O^+\right)+\lambda^0\left(Cl^-\right)\right)}$

Attention V exprimé en m^3 et V = 200,0 + 5,0 mL = 205,0 $\times 10^{-6}$ m^3

$x_\infty = \dfrac{0,374\times 205,0\times 10^{-6}}{(349,8+76,3)\times 10^{-4}}$ = **1,80×10^{-3} mol**

On a donc bien : x_∞ = n_0 = x_f

1.7. $\sigma_\infty = \left(\lambda^0\left(H_3O^+\right)+\lambda^0\left(Cl^-\right)\right)\cdot\dfrac{x_\infty}{V} = \left(\lambda^0\left(H_3O^+\right)+\lambda^0\left(Cl^-\right)\right)\cdot x_f/V$

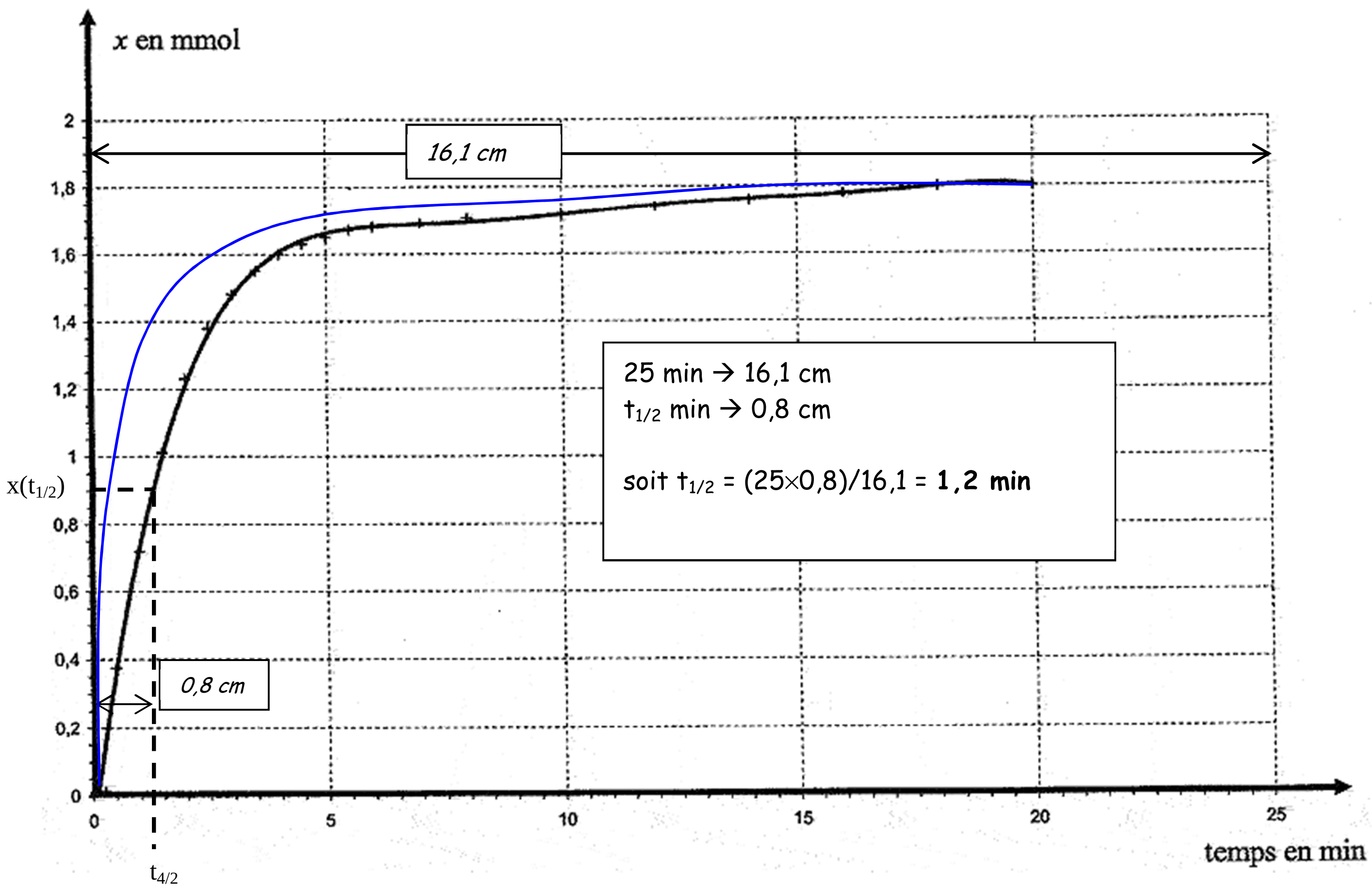
D'où : $\dfrac{\sigma}{\sigma_\infty} = \dfrac{x}{x_f}$ soit : $\boxed{x = \dfrac{\sigma}{\sigma_\infty}\ .\ x_f}$

1.8. Pour σ = 0,200 S.m^{-1}, $x = \dfrac{0,200}{0,374}\times 1,8\times 10^{-3}$ = **9,6×10^{-4} mol**

2. Exploitation des résultats

2.1. Le temps de demi-réaction est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale.

Ici x_f = n_0 donc pour t = $t_{1/2}$, on a $x(t_{1/2}) = \dfrac{n_0}{2}$ = 0,90 mmol.



2.2.2. La température est un facteur cinétique. Si elle augmente, alors la durée d'évolution du système diminue et l'avancement final est atteint plus rapidement, donc $\mathbf{t_{1/2}}$ **est plus faible**.

3. Spectroscopie RMN

- Spectre RMN 2-chloro-2-méthylpropane : **un singulet**
  Les 9 protons sont équivalents donc il n'y a qu'un seul signal.
  Il n'y a pas de proton sur le carbone voisin des groupes méthyles donc le signal est un singulet.
- Spectre RMN du 2-méthylpropan-2-ol : **deux singulets**
  Les 9 protons des groupes méthyles sont équivalents et n'ont pas de proton voisin = singulet
  Le proton du groupe O-H donne aussi un singulet

Exercice 3 OBLIGATOIRE : Communication chez les baleines

1. la profondeur du couloir de communication ;

Le document 1 nous apprend qu'il faut que la baleine soit dans une couche telle que la couche supérieure assure une plus grande célérité au son et que la couche inférieure conduise également plus rapidement le son.
La lecture du document 2, nous montre que c'est le cas pour une **profondeur de 1 à 1,2 km**.

2. la distance maximale entre deux baleines pour qu'elles puissent communiquer.

La baleine émet un son de fréquence moyenne égale à 4000 Hz, avec un niveau d'intensité sonore de 170 dB.

Pour un tel son, l'eau de mer possède un niveau d'absorption acoustique égal à 0,2 dB.km^{-1}.

Une autre baleine, située à une distance *d*, percevra ce son à condition que son niveau d'intensité sonore dépasse le seuil d'audibilité égal à 50 dB.

On cherche la distance *d* pour laquelle le niveau d'intensité sonore aura diminué de 170 dB à 50 dB, soit une perte de 120 dB.
Chaque kilomètre le niveau d'intensité sonore diminue de 0,2 dB.
Ainsi par proportionnalité, on a $d = \dfrac{120}{0{,}2} = \mathbf{6 \times 10^2}$ **km**.

Ce résultat est conforme avec l'introduction qui annonce que les messages peuvent être perçus à plusieurs centaines de kilomètres.

Exercice 3 SPECIALITE : le Capodastre

Question préalable :
Déterminer les paramètres physiques de la corde dont dépend sa fréquence de vibration et préciser le ou lesquels de ces paramètres restent fixes lors de l'utilisation d'un capodastre.

La relation du document 4 montre que la fréquence de vibration dépend de la **masse linéique** μ, de la **tension** T et de la **longueur** L de la corde.

Le capodastre n'intervient qu'au niveau du paramètre longueur de la corde, tous les autres paramètres restent fixes.

Problème :

Montrer que lorsqu'on place le capodastre à la troisième case, la corde n°1 joue à vide trois demi-tons au-dessus de celui joué sans capodastre.

Le document 2 nous apprend que la corde n°1 produit, sans capodastre, la note Mi_3 dont le document 3 nous donne la fréquence $f_{Mi3} = 329{,}63$ Hz.

Le document 3 nous apprend que la fréquence augmente d'un demi-ton lorsqu'elle est multipliée par $1{,}059 = 2^{1/12}$.
Si la corde produit des sons augmentés de trois demi-tons alors la fréquence a été multipliée par $(2^{1/12})^3$.

On peut calculer la fréquence f_{capo} de la corde n°1 avec le capodastre : $f_{capo} = (2^{1/12})^3 \times f_{Mi3}$
$f_{capo} = (2^{1/12})^3 \times 329{,}63 = 391{,}48$ Hz

À l'aide de la relation du document 4, déterminons la longueur de corde pour laquelle la corde n°1 produit la fréquence f_{capo}.

$$f_{capo} = \frac{1}{2L}.\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

donc $L = \dfrac{1}{2f_{capo}}.\sqrt{\dfrac{T}{\mu}}$

T et μ sont indiquées sur la pochette de cordes.

$L = \dfrac{1}{2 \times 391{,}48} \times \sqrt{\dfrac{74{,}85}{0{,}419 \times 10^{-3}}}$ = 0,5398 m = 54,0 cm.

Vérifions maintenant que cette longueur de corde est bien celle obtenue lorsque le capodastre est placé sur la 3ème case du manche. La longueur est mesurée, sur le document 1, entre le chevalet et la frette inférieure de la 3ème case.
On mesure 18,4 cm sur le schéma.
Utilisons l'échelle indiquée 6,8 cm schéma → 20 cm réels
18,4 cm schéma → L cm réels

Donc L = $\dfrac{20 \times 18{,}4}{6{,}8}$ = 54 cm

Nous avons bien montré que lorsqu'on place le capodastre à la troisième case, la corde n°1 joue à vide trois demi-tons au-dessus de celui joué sans capodastre.