EXERCICE I

L'acide butyrique, de formule semi développée $\mathbf{CH_3CH_2CH_2COOH}$, est connu pour son odeur désagréable de beurre rance. Sa réaction avec le méthanol ($\mathbf{CH_3OH}$) permet d'obtenir un composé **E**, dont l'odeur et le goût sont au contraire très agréables, d'où son utilisation dans l'industrie alimentaire ou la parfumerie.

I-1. Donner le nom systématique de l'acide butyrique.
I-2. Ecrire l'équation bilan de la réaction entre l'acide butyrique et le méthanol.
I-3. Donner le nom de la fonction chimique caractéristique du composé **E**. Nommer **E**.

On souhaite réaliser la synthèse du composé **E** ; pour cela, on dispose d'une masse $\boldsymbol{m_A = 330\ g}$ d'acide butyrique.

I-4. Calculer la masse de méthanol qu'il faut mettre en œuvre pour mener la réaction dans des conditions stoechiométriques.

L'acide butyrique et le méthanol sont introduits dans le réacteur et le mélange est porté à ébullition. Le volume total est $\mathbf{V = 400\ \boldsymbol{m}L}$.

Il est possible de suivre l'évolution de la réaction par le dosage de l'acide butyrique restant.
Pour ce faire, on réalise périodiquement des prélèvements de $\mathbf{1{,}00\ \boldsymbol{m}L}$ du mélange réactionnel. Chaque prélèvement est alors dilué dans de l'eau glacée, puis dosé par une solution de soude à $\mathbf{0{,}20\ \boldsymbol{mol}.L^{-1}}$.

I-5. Ecrire la réaction de dosage de l'acide butyrique par la soude.
I-6. Calculer la constante d'équilibre de la réaction de dosage.
I-7. Quel volume de soude faut-il verser pour doser l'acide du premier prélèvement à t = 0 ?

Au bout de 120 heures, le système n'évolue plus ; les dosages à la soude permettent de déterminer l'avancement de la réaction : $\boldsymbol{x_{max} = 2{,}50\ mol}$.

I-8. Calculer le rendement en produit **E** par rapport à la quantité de réactif de départ.

Il est recommandé, pour mener ce type de réaction, d'ajouter quelques millilitres d'acide sulfurique au mélange réactionnel.

I-9. Préciser le rôle de l'acide sulfurique dans la réaction chimique :

<u>Données</u> : M(H) = 1 $g.mol^{-1}$; M(C) = 12 $g.mol^{-1}$; M(O) = 16 $g.mol^{-1}$;
pKa (acide butyrique / butyrate) = 4,9 ; pKa (H_2O / HO^-) = 14

REPONSES A L'EXERCICE I

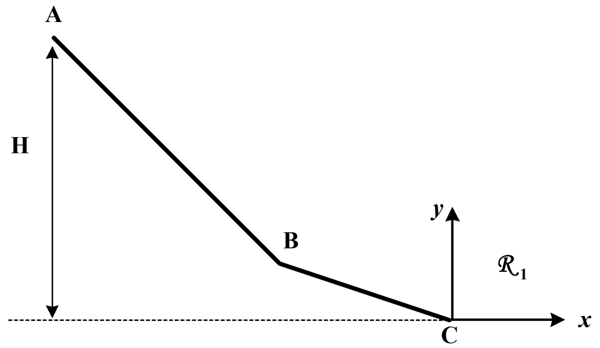
I-1.	Nom de l'acide butyrique : **acide butanoïque**
I-2.	Equation bilan : **$CH_3CH_2CH_2COOH + CH_3OH \rightarrow CH_3CH_2CH_2COOCH_3 + H_2O$**
I-3.	Nom de la fonction de **E** : **Ester** Nom de **E** : **butanoate de methyle**
I-4.	Masse de méthanol m_m : Expression littérale $m_m = M_m\, m_{acide} / M_{acide}$ Application numérique m_m = **120 *g***
I-5.	Réaction de dosage : **$CH_3CH_2CH_2COOH + OH^- \rightarrow CH_3CH_2CH_2COO^- + H_2O$**
I-6.	constante d'équilibre **K** : Expression littérale $K = \dfrac{K_a\left(CH_3(CH_2)_2COOH / CH_3(CH_2)_2COO^-\right)}{K_a\left(H_2O / OH^-\right)}$ Application numérique **K** = **$10^{5,1}$ = 126000**
I-7.	Volume de soude V_B : Expression littérale $V_B = \dfrac{n_{acide}}{400\, c_{soude}}$ Application numérique V_B = **0,047 L**
I-8.	Rendement : r = **67 %**
I-9.	❑ Obtenir un meilleur rendement en E ❑ Rendre la réaction moins explosive ❑ Rendre la réaction réversible ❑ Augmenter l'avancement maximal ❑ **Diminuer le temps de demi réaction** ❑ Empêcher la formation de produits secondaires ❑ Neutraliser l'acide butyrique ❑ Détruire le méthanol *(Cocher la réponse exacte)*

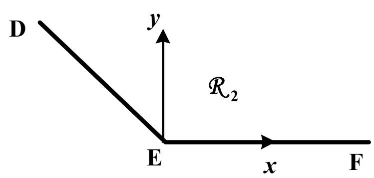
EXERCICE II

On considère un petit tremplin de saut à ski dont le profil est présenté sur la figure suivante. Il est techniquement constitué de trois zones :

- une zone linéaire **AB** dont l'angle α par rapport à l'horizontale est égal à **45°**,
- une zone circulaire de raccordement,
- une seconde zone linéaire **BC** dont l'angle β par rapport à l'horizontale est égal à **30°**.

Le point de sortie **C** du tremplin est situé à une hauteur **H** par rapport à la cabine de départ.
On supposera que le frottement des skis sur la piste du tremplin est négligeable et on néglige les frottements de l'air durant cette première phase du saut. Le skieur est considéré comme un objet ponctuel de masse $\boldsymbol{m} = \mathbf{75\ kg}$. On donne l'accélération de pesanteur $\boldsymbol{g} = \mathbf{9{,}80}\ \boldsymbol{m.s^{-1}}$.





<u>Partie A</u> : on étudie l'envol du skieur.

II-1. En appliquant la loi de conservation de l'énergie, donnez l'expression littérale du module de la vitesse $\mathbf{V_C}$ au point **C** .
II-2. Quelle doit être la hauteur **H** pour que $\mathbf{V_C} = \mathbf{14}\ \boldsymbol{m.s^{-1}}$?
II-3. Quel est l'angle de sortie lorsque le skieur s'élance du tremplin ?
II-4. Etablissez les équations horaires $\boldsymbol{x(t)}$ et $\boldsymbol{y(t)}$ du mouvement du skieur dans sa phase d'envol, dans le repère $\mathcal{R}_1(C,x,y)$ en fixant $\boldsymbol{t = 0}$ lorsque le skieur atteint le point **C**.
II-5. Donnez l'expression $\boldsymbol{y = f(x)}$ de la trajectoire du skieur.

<u>Partie B</u> :

Le skieur se réceptionne sur la partie **DE.** La zone d'arrêt **EF** comporte en surface des éléments qui permettent de ralentir le skieur. On supposera par ailleurs que le frottement de l'air n'est plus négligeable. On modélisera les effets du frottement par une force unique dont le module $\boldsymbol{f}$ est proportionnel à la vitesse du skieur. On appellera $\boldsymbol{k}$ le coefficient de proportionnalité.

On étudie le mouvement du skieur lorsqu'il a atteint la zone d'arrêt **EF**. On travaillera dans le repère $\mathcal{R}_2(E,x,y)$ en fixant $\boldsymbol{t=0}$ lorsque le skieur atteint le point **E**.
II-6. Etablissez l'équation différentielle en vitesse du mouvement du skieur sur la zone d'arrêt.

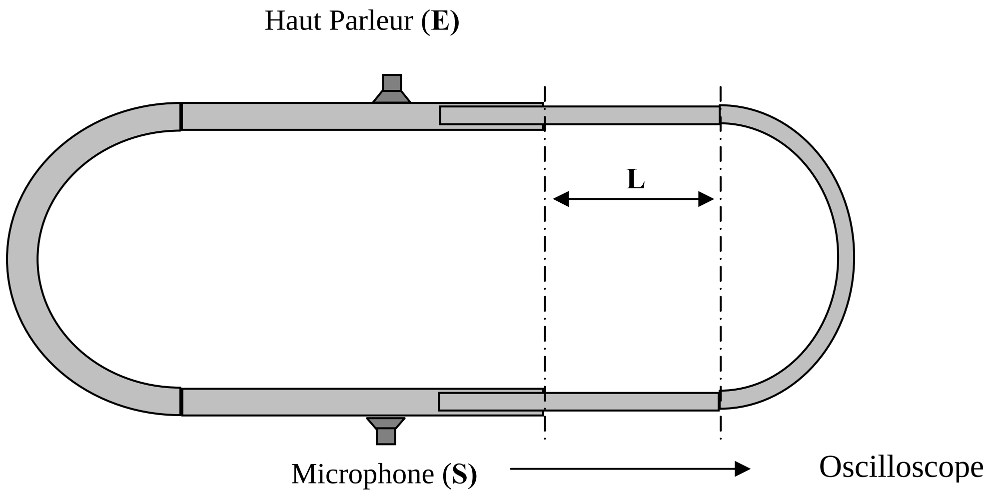
II-7. On vérifiera que la vitesse (dans cette portion de la piste) peut se mettre sous la forme : $v(t) = v_0 . e^{-\frac{t}{\tau}}$. On identifiera τ. Le skieur a-t-il une chance de s'arrêter si l'on tient compte de cette seule expression de la vitesse ? Pourquoi ?

REPONSES A L'EXERCICE II

II-1.	Expression littérale $V_C = \sqrt{2\, g\, H}$
II-2.	Hauteur **H** : Expression littérale **H** = $\frac{V_C^{\,2}}{2\, g}$ Application numérique **H = 10** ***m***
II-3.	Angle de sortie : **β = 30°**
II-4.	Equation horaire : $x = V_C \cos(\beta)\, t$ Equation horaire : $y = -0{,}5\, g\, t^2 - V_C \sin(\beta)\, t$
II-5.	Trajectoire : $y = -\frac{g\, x^2}{2\, V_C^{\,2} \cos^2\beta} - x \tan\beta$
II-6.	Equation différentielle en vitesse : $m\, \dot{v} = -k\, v$
II-7.	Vérification : $m\, \dot{v} = -m\, v_0 . e^{-\frac{t}{\tau}}$ et $-k\, v = -k\, v_0 . e^{-\frac{t}{\tau}}$ donc $\tau = \frac{m}{k}$ Analyse du freinage : **La vitesse sera nulle pour un temps infini. Le skieur ne s'arrêtera donc jamais.** **La modélisation du freinage n'est pas adaptée aux faibles vitesses.**

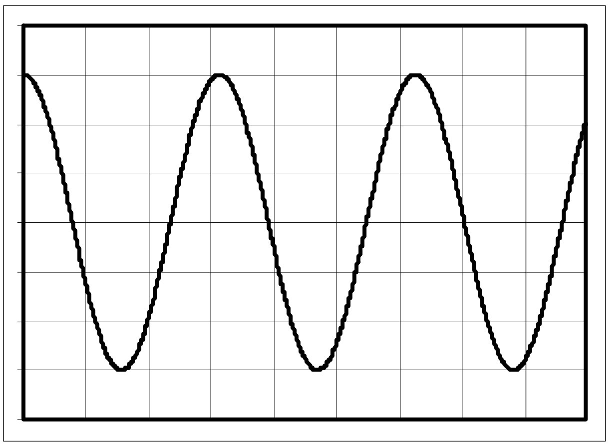
EXERCICE III

Le “trombone” de König (physicien allemand du 19$^{\text{ème}}$ siècle) est un dispositif permettant de mesurer des longueurs d’ondes acoustiques. On se propose d’utiliser ce dispositif afin de déterminer la célérité d’ondes acoustiques dans l’argon.



Un haut-parleur émet l’onde à l’entrée **E**. Un microphone placé à la sortie **S** permet de recueillir le signal après que l’onde s’est propagée dans les deux branches du “trombone”.
On appellera $\boldsymbol{d_1}$ la distance parcourue dans la branche fixe (partie gauche), et $\boldsymbol{d_2}$ la distance, réglable, parcourue par l’onde dans la branche mobile (partie droite).
Lorsque la partie mobile est glissée au maximum dans la partie fixe (**L = 0**), les distances sont égales dans les deux branches.

On réalise l’enregistrement suivant :



Base de temps : **100 µ*s* / *div***
Sensibilité : **1 V / *div***

III-1. Déterminer la période et la fréquence des ondes acoustiques utilisées.
III-2. De quel type d’ondes s’agit-il ?
III-3. A quelle condition sur **L** l’onde arrivant par la branche droite est-elle en phase avec l’onde arrivant par la branche gauche ?
On admet que les signaux observés correspondent à la somme des ondes qui se sont propagées dans les deux branches.
III-4. Qu’observe-t-on si les deux ondes arrivent en opposition de phase en S ?
III-5. Qu’observe-t-on si les deux ondes arrivent en S en phase ?

III-6. On fait maintenant varier la longueur **L** ; on observe qu'il faut faire varier **L** de **5,4 *cm*** entre deux positions où les ondes sont en phase. Déterminer la longueur d'onde des ondes utilisées.
III-7. En déduire la célérité des ondes utilisées dans cette étude.

REPONSES A L'EXERCICE III

III-1. Période **T**= **310 µ*s***	Fréquence ***f*** = **3200 H*z***
III-2. ❑sons aigus ❑sons graves ❑infrarouges ❑rayons X ❑ultraviolets ❑micro-ondes ❑ultrasons ❑infrasons ❑longitudinales ❑mécaniques ❑transversales ❑ progressives ❑stationnaires *(Cocher les réponses exactes)*	
III-3. Condition : **2 L = *k* λ avec *k* un nombre entier et λ la longueur d'onde**	
III-4. Ondes en opposition de phase en S : **le signal visualisé est plat : les ondes se sont annuler.**	
III-5. Ondes en phase en S : **sinusoïde à 3200 H*z* et d'amplitude 6 V**	
III-6. Longueur d'onde : **λ=2 L =10,8 *cm***	
III-7. Célérité ***c*** : Expression littérale $c = \lambda f$	Application numérique $c = 346\ m.s^{-1}$

EXERCICE IV

On étudie la formation d'hélium à partir de deutérium et de tritium ; cette réaction nucléaire libère un neutron.

IV-1. Equilibrer la réaction : $\mathbf{{}_{1}^{2}H + {}_{1}^{3}H \rightarrow {}_{Z}^{A}He + {}_{0}^{1}n + \gamma}$

IV-2. Comment appelle-t-on ce type de réaction nucléaire ?

IV-3. Comment peut-on qualifier les trois nucléides : deutérium, tritium et hydrogène ?

IV-4. Montrer que le système (hélium + neutron) est plus stable que le système (deutérium + tritium).

IV-5. Calculer l'énergie $\mathbf{E}_l$ libérée par cette réaction.

IV-6. Calculer l'énergie $\mathbf{e}_l$ libérée par ***kg*** de matière utilisée.

IV-7. Que représente $\boldsymbol{\gamma}$?

IV-8. En supposant que $\boldsymbol{\gamma}$ véhicule toute l'énergie libérée par la réaction, déterminer la fréquence et la longueur d'onde associées.

Données :

Particule	Deuterium	Tritium	Helium	Neutron
Masse (*u*)	2,01355	3,01550	4,00150	1,00866

$\boldsymbol{c = 2{,}998.10^{8}\ m.s^{-1}}$

$\boldsymbol{1\ u = 1{,}66054.10^{-27}\ kg}$

$\boldsymbol{N_A = 6{,}023.10^{23}\ mol^{-1}}$

$\boldsymbol{h = 6{,}626\ 10^{-34}\ J.s}$

REPONSES A L'EXERCICE IV

IV-1.	**A=** **4**	**Z=** **2**
IV-2.	Type de réaction : **fusion nucléaire**	
IV-3.	Qualificatif : **isotope**	
IV-4.	Stabilité : $\boldsymbol{m_{\mathrm{He}} + m_n = 5{,}01016\ u}$ $\boldsymbol{m_{\mathrm{D}} + m_T = 5{,}02905\ u}$ $\boldsymbol{\Delta m = -0{,}01889\ u}$ **donc** $\boldsymbol{\Delta m < 0}$ **Le système a donc gagné en stabilité**	
IV-5.	Energie $\mathbf{E}_l$: Expression littérale $\mathbf{E}_l = \boldsymbol{\Delta m\ c^2}$	Application numérique $\mathbf{E}_l = \mathbf{2{,}8\ \ 10^{-12}\ J}$
IV-6.	Energie $\mathbf{e}_l$ **:** Expression littérale $\mathbf{e}_l = \dfrac{\mathbf{E}_l}{m_{\mathrm{D}} + m_{\mathrm{T}}}$	Application numérique $\mathbf{e}_l = \mathbf{3{,}4\ 10^{14} J}$
IV-7.	γ : **rayon gamma : photon à très haute énergie**	
IV-8.	Fréquence $\boldsymbol{\nu}$: Expression littérale $\boldsymbol{\nu} = \dfrac{\mathbf{E}_l}{h}$ Longueur d'onde $\boldsymbol{\lambda}$: Expression littérale $\boldsymbol{\lambda} = \dfrac{c}{\upsilon}$	Application numérique $\boldsymbol{\nu} = \mathbf{4{,}2\ 10^{21}\ Hz}$ Application numérique $\boldsymbol{\lambda} = \mathbf{7{,}1\ 10^{-14}}\ \boldsymbol{m}$