

BACCALAURÉAT BLANC

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

PHYSIQUE-CHIMIE

-

Sujet 1

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

*L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.*

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 11 pages numérotées de 1 à 11.

L'annexe page 11 est à rendre avec la copie.

EXERCICE I - SYNTHÈSE D'UN ARÔME (10 points)

L'éthanoate de 3-méthylbutyle est une espèce chimique odorante présente notamment dans les pommes mûres. Son odeur agréable et sa faible toxicité permettent de l'utiliser comme arôme dans les bonbons. Cette espèce chimique appartient à la famille fonctionnelle des esters.

Cet exercice a pour objectif d'étudier dans un premier temps les espèces chimiques intervenant dans la synthèse de l'éthanoate de 3-méthylbutyle, puis d'étudier les conditions d'optimisation de cette synthèse.

Données :

- Données physico-chimiques de quelques espèces chimiques :

Nom de l'espèce chimique en nomenclature officielle	3-méthylbutan-1-ol	Acide éthanoïque	Éthanoate de 3-méthylbutyle	Eau	Cyclohexane
Formule brute	C ₅ H ₁₂ O	C ₂ H ₄ O ₂	C ₇ H ₁₄ O ₂	H ₂ O	C ₆ H ₁₄
Masse volumique (g·mL ⁻¹) à 25°C	0,81	1,05	0,87	1,00	0,78
Masse molaire (g·mol ⁻¹)	88,1	60,0	130,2	18,0	84,2
Solubilité dans l'eau à 25°C	Peu soluble	Très soluble	Très peu soluble		Très peu soluble

- Tableau de quelques bandes d'absorption infrarouge :

Liaison	C = C	C = O	C – H	O – H d'un acide carboxylique	O – H d'un alcool
Nombre d'onde (cm ⁻¹)	1 550 à 1 650	1 650 à 1 800	2 800 à 3 100	2 500 à 3 200	3 200 à 3 500

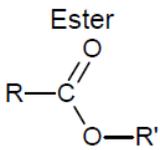
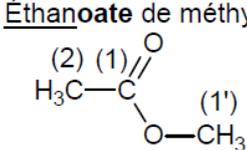
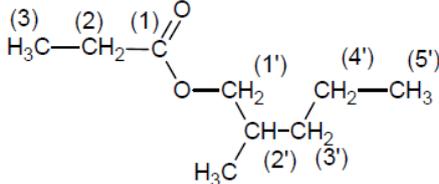
- Règles de nomenclature :

- Squelettes carbonés

Pour les hydrocarbures ramifiés, *la position* de la ramification sur la chaîne principale est indiquée par un chiffre et *le groupe* est indiquée par le préfixe. Des exemples de groupes sont donnés ci-dessous :

<i>Méthyl</i> -CH ₃	<i>Éthyl</i> -CH ₂ -CH ₃	<i>Propyl</i> -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃	<i>Butyl</i> -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃
-----------------------------------	---	---	---

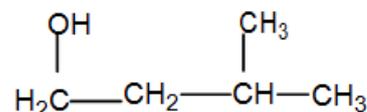
- Famille fonctionnelle des esters

Famille	Nom	Suffixe	Exemples de molécules	
	Alcanoate d'alkyle	« oate »	<p>Éthanoate de méthyle</p> 	<p>Propanoate de 2-méthylpentyle</p> 

1. Des réactifs aux produits de la synthèse

Pour réaliser la synthèse de l'éthanoate de 3-méthylbutyle au laboratoire, on utilise les deux réactifs suivants : l'acide éthanoïque et le 3-méthylbutan-1-ol.

La représentation semi-développée du 3-méthylbutan-1-ol est



1.1. Justifier le nom du 3-méthylbutan-1-ol.

1.2. Donner la représentation topologique du 3-méthylbutan-1-ol et entourer le groupe caractéristique de la molécule. Nommer la famille fonctionnelle correspondante.

1.3. On donne (figure 1) les spectres infrarouges des deux réactifs. Identifier, en justifiant, le spectre correspondant au 3-méthylbutan-1-ol.

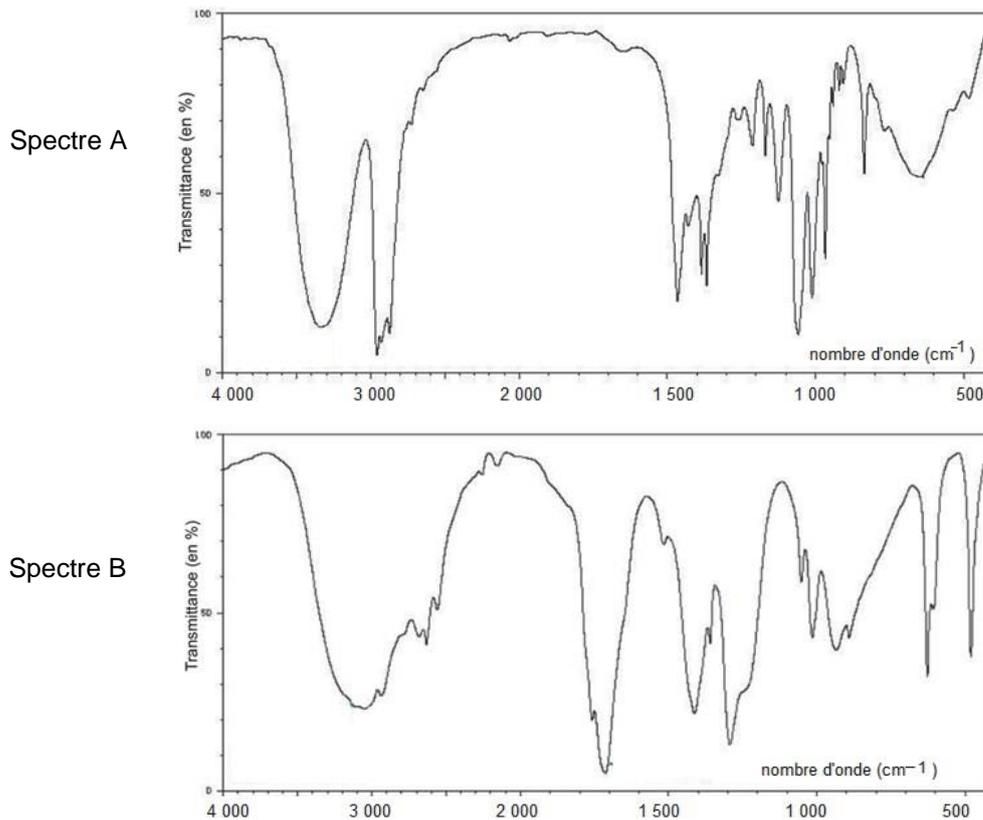


Figure 1. Spectres infrarouges des deux réactifs de la synthèse

1.4. Représenter la formule semi-développée de l'éthanoate de 3-méthylbutyle en exploitant les règles de nomenclature fournies.

1.5. L'acide éthanoïque est un acide faible que l'on retrouve notamment dans le vinaigre et qui lui donne son odeur caractéristique.

1.5.1. Donner la représentation de Lewis de l'acide éthanoïque. Justifier le caractère acide de cette molécule.

1.5.2. On notera HA l'acide éthanoïque et A⁻ sa base conjuguée. Rappeler l'expression de la constante d'acidité du couple HA / A⁻.

Donnée: La valeur du pK_A du couple HA / A⁻ est égale à 4,8.

1.5.3. Calculer, à partir de la relation précédente, le rapport $\frac{[A^-]_{\text{éq}}}{[AH]_{\text{éq}}}$ dans un vinaigre blanc dont la valeur du pH est égale à 2,4. En déduire l'espèce prédominante.

1.5.4. Tracer le diagramme de prédominance du couple HA / A⁻. A l'aide du diagramme de prédominance, vérifier que l'espèce prédominante pour ce vinaigre de pH égal à 2,4 est en accord avec la réponse précédente.

2. Optimisation de la synthèse au laboratoire de l'éthanoate de 3-méthylbutyle

La synthèse de l'éthanoate de 3-méthylbutyle est une transformation lente et non totale.

Protocole de la synthèse :

Verser dans un ballon un volume V_1 de 3-méthylbutan-1-ol, une masse m_2 d'acide éthanoïque et un volume V_3 d'acide sulfurique concentré.

Comme indiqué sur la figure 2, le ballon, surmonté d'un réfrigérant à air, est placé dans un bain-marie maintenant la température constante.

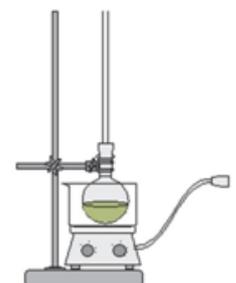


Figure 2. Schéma du montage expérimental

Pour montrer l'influence de certaines conditions expérimentales sur cette synthèse, quatre expériences sont réalisées. Le tableau ci-après présente les résultats expérimentaux pour quatre conditions différentes :

	Expérience 1	Expérience 2	Expérience 3	Expérience 4
Température (°C)	30	30	60	60
Volume initial V_1 de 3-méthylbutan-1-ol (mL)	12,0	12,0	12,0	36,0
Masse initiale m_2 d'acide éthanoïque (g)	6,62	6,62	6,62	6,62
Volume V_3 d'acide sulfurique (mL)	0	0,5	0,5	0,5
Ordre de grandeur du temps de demi-réaction	Plusieurs mois	Plusieurs heures	Une dizaine de minutes	Inférieur à une dizaine de minutes

- 2.1. Ecrire à l'aide des formules brutes, l'équation de la réaction modélisant la synthèse de l'éthanoate de 3-méthylbutyle, sachant qu'une autre espèce chimique à identifier est aussi produite. Justifier.
- 2.2. En exploitant les résultats expérimentaux, indiquer les conditions expérimentales permettant d'optimiser la cinétique de cette synthèse.

Détermination expérimentale du rendement de la synthèse de l'expérience 3.

- 2.3. Déterminer les quantités de matière des réactifs dans le mélange initial de l'expérience 3 et donner un qualificatif à ce mélange initial.
- 2.4. La masse d'éthanoate de 3-méthylbutyle obtenue en fin de réaction est de $m_3 = 6,20$ g. Déterminer le rendement de la synthèse dans l'expérience 3. Commenter.

Détermination expérimentale du rendement de la synthèse de l'expérience 4.

À la fin de la synthèse, on sépare la phase aqueuse de la phase organique formée dans le ballon. Cette phase aqueuse contient l'acide éthanoïque qui n'a pas réagi et l'acide sulfurique. Ces deux acides sont responsables de l'acidité totale de la solution.

On réalise un titrage acido-basique de cette phase aqueuse, avec comme solution titrante une solution aqueuse d'hydroxyde de potassium ($K^+_{(aq)}$; $HO^-_{(aq)}$) de concentration $C_B = 1,0$ mol.L⁻¹. Ce titrage est suivi par pH-métrie et les courbes $pH = f(V_B)$ et $\frac{dpH}{dV} = f(V_B)$ sont représentées à la figure 3.

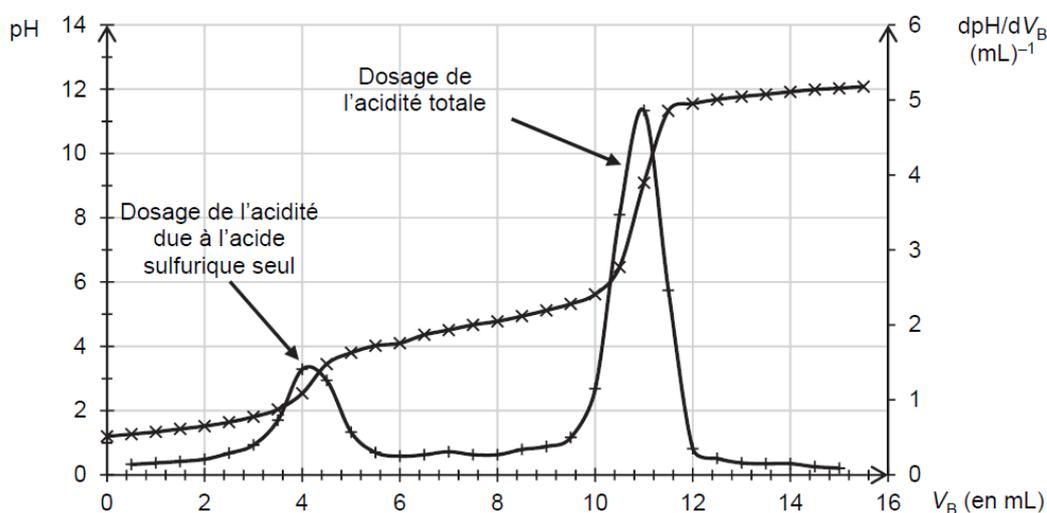


Figure 3. Courbes expérimentales obtenues lors du titrage de la phase aqueuse obtenue à l'issue de l'expérience 4

- 2.5. Ecrire l'équation de la réaction support du titrage entre l'acide éthanoïque et l'ion hydroxyde.
- 2.6. Déterminer le volume de solution d'hydroxyde de potassium nécessaire pour titrer l'acide éthanoïque.
- 2.7. En déduire la quantité de matière d'acide éthanoïque restant à la fin de la synthèse dans l'expérience 4.
- 2.8. Déterminer la quantité de matière d'ester formé et calculer le rendement de la synthèse dans l'expérience 4. En déduire un moyen d'optimiser le rendement de cette synthèse.
- 2.9. Proposer une autre méthode permettant d'optimiser le rendement de la synthèse.

EXERCICE II - DÉCOLLAGE DE LA FUSÉE ARIANE 5 (5 points)

La propulsion de la fusée Ariane 5 est assurée par :

- un étage principal cryotechnique (EPC) constitué du moteur Vulcain, de puissance transmise à la fusée de l'ordre de 10MW en moyenne au cours des deux premières secondes du décollage ;
- deux boosters (étages d'accélération à poudre EAP) qui contribuent à environ 90% de la puissance totale transmise à la fusée au début du décollage.

Le but de cet exercice est de vérifier certaines des caractéristiques de la fusée Ariane 5 à partir d'une chronophotographie (figure 2 et en annexe) de son décollage.



Figure 1. Représentation d'un modèle de la fusée Ariane 5 d'après CNES.fr

Données:

- intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$
- débit massique d'éjection de gaz du moteur Vulcain : 270 kg.s^{-1}
- débit massique d'éjection de gaz de chaque booster : $1,8 \times 10^3 \text{ kg.s}^{-1}$
- caractéristiques des différentes fusées Ariane:

Fusée	Ariane 1	Ariane 2	Ariane 3	Ariane 4	Ariane 5
Masse audécollage (en tonne)	210	219	234	243 à 480	750 à 780
Poussée* (en kN)	2500	2700	2700	2700 à 5400	12000 à 13000
Hauteur de la fusée (en m)	47	49	49	59	52

*La poussée, qui s'exprime en kilonewton(kN), est une action qui s'exerce sur la fusée. C'est l'action de réaction des gaz éjectés au cours de la combustion du carburant. Au décollage, cette action est modélisée par une force verticale et orientée vers le haut.

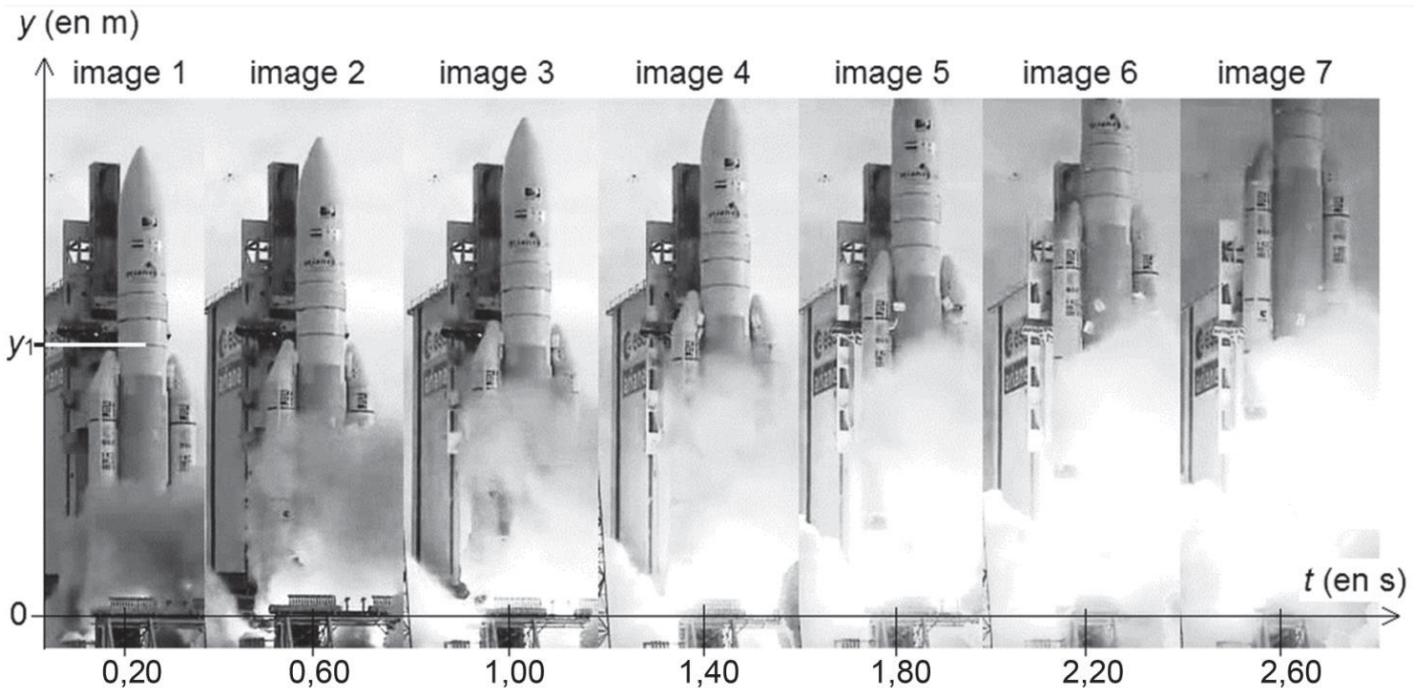


Figure 2. Chronophotographie du début du décollage d'Ariane 5

Pour faciliter les mesures, les différentes images de la fusée ont été décalées horizontalement les unes par rapport aux autres.

L'étude de cette chronophotographie donne les résultats suivants. L'axe vertical a pour origine la base de la fusée.

Image	t (s)	y (m)	v_y ($m \cdot s^{-1}$)
1	0,20	$y_1 = 30,1$	
2	0,60	31,5	v_2
3	1,00	33,3	6,8
4	1,40	36,9	9,6
5	1,80	y_5	12
6	2,20	46,5	15
7	2,60	52,9	

Figure 3. Détermination expérimentale de la position et de la vitesse de la fusée

L'image 1 de la figure 2 précise l'endroit de la fusée qui sert à repérer son mouvement vertical. Son ordonnée sur l'axe des y est notée y_1 .

Estimation de la poussée

1. Calculer la masse des gaz éjectés pendant la durée de l'étude, soit 2,40 s. La comparer à la masse au décollage de la fusée. Commenter.

On considère dans la suite de l'exercice que la masse totale de la fusée est constante pendant la durée de l'étude.

2. Estimer, à l'aide de la figure 2, la valeur de y_5 . Détailler la démarche en utilisant la figure 2 de l'annexe.

On donne en figure 4 et **en annexe** le graphe représentant l'évolution de la vitesse de la fusée au cours du temps.

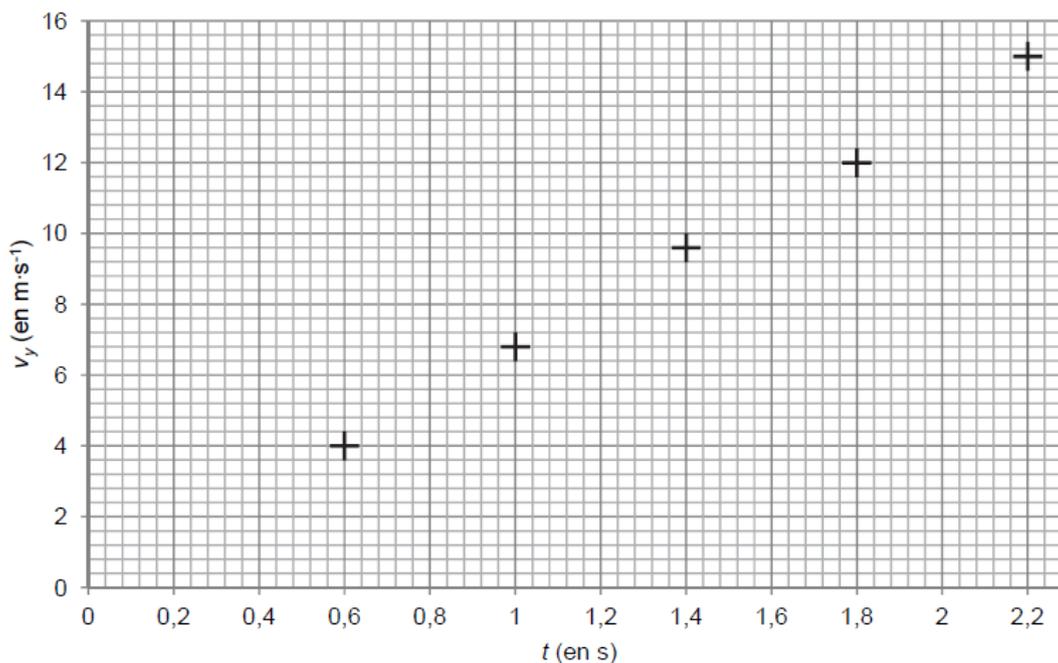


Figure 4. Évolution de la valeur de la vitesse de la fusée au cours du temps

3. Estimer, à l'aide du tableau de la figure 3, la valeur de v_2 . Détailler la démarche et vérifier que ce résultat est cohérent avec le graphe de la figure 4 (figure fournie aussi en annexe).
4. Montrer que la valeur de l'accélération de la fusée pendant la durée de l'étude est proche de $7 m \cdot s^{-2}$.
5. Préciser, en justifiant, la direction et le sens du vecteur accélération de la fusée.

6. Choisir parmi les propositions de la figure ci-dessous, le schéma compatible avec le décollage de la fusée. Justifier.

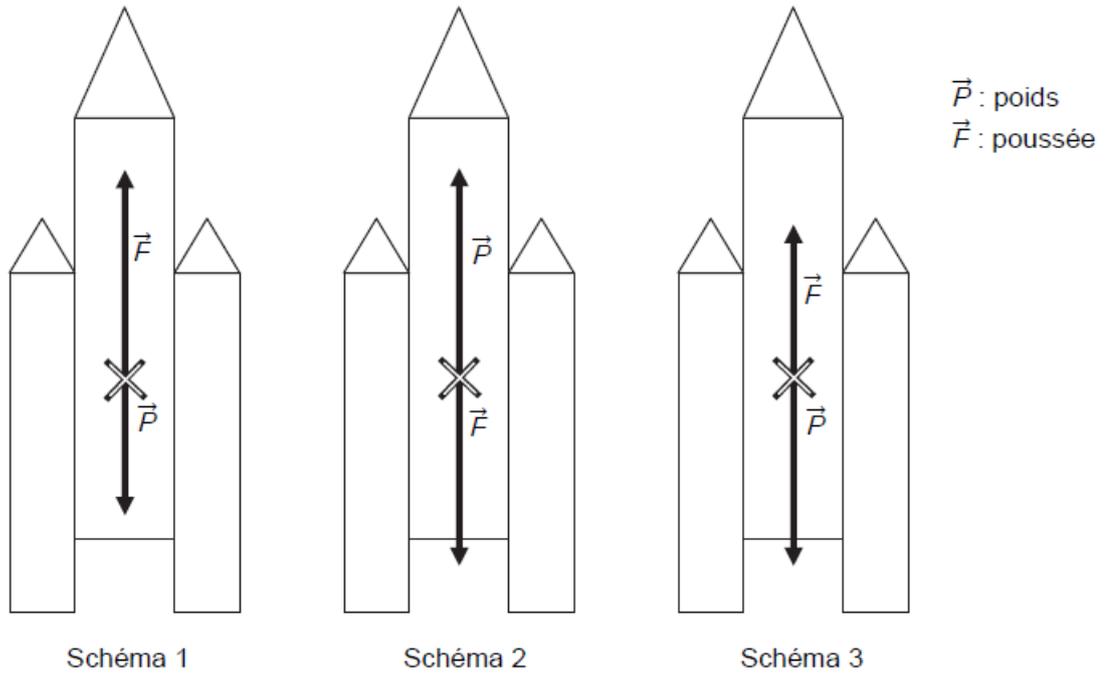


Figure 5. Propositions de représentation des forces s'appliquant sur la fusée qui vient de quitter le sol

7. A partir des résultats précédents, estimer la valeur de la force de poussée. Vérifier la cohérence de ce résultat avec les données

EXERCICE III - ETUDE D'UN SYSTEME DE PRODUCTION SONORE (5 points)

Un animateur d'une manifestation sportive utilise un microphone relié à une enceinte acoustique par l'intermédiaire d'un amplificateur de puissance.

A- Le microphone

Le microphone utilisé est un transducteur électroacoustique. Il permet de convertir un signal acoustique en un signal électrique.

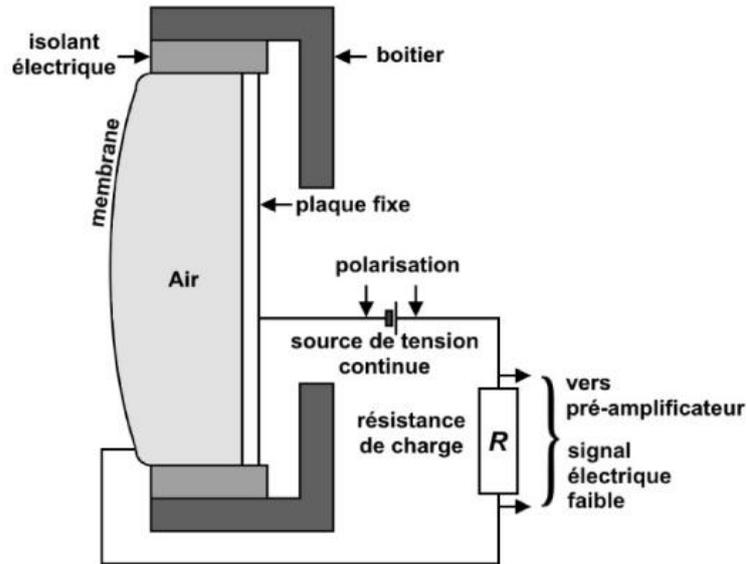
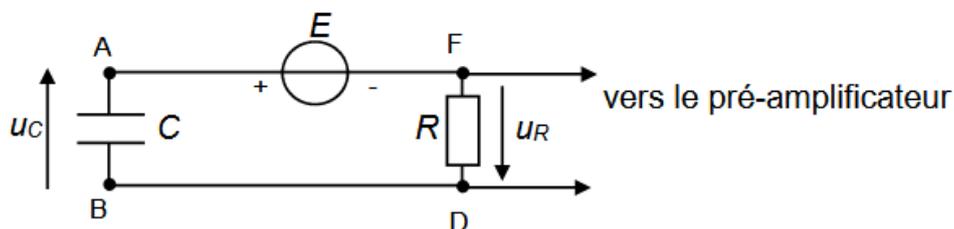


Figure 1. Schéma de principe du microphone

Le condensateur présent dans le microphone est formé de deux armatures ; la première est constituée d'une membrane mobile en plastique recouverte d'une fine pellicule métallique, la seconde est constituée d'une plaque métallique fixe. Lorsque le microphone ne capte pas de son, la distance entre les deux armatures est de l'ordre de 15 à 25 μm .

En outre, pour fonctionner, le condensateur doit être chargé ; on insère donc une source de tension continue qui n'a pas d'effet sur le signal électrique de sortie envoyé vers le pré-amplificateur.

On modélise alors le microphone par le circuit électrique suivant :



Tension continue délivrée par la source idéale : $E = 48 \text{ V}$

Résistance du conducteur ohmique de charge : $R = 100 \times 10^6 \Omega$

Capacité du condensateur : C

Pour fonctionner, le condensateur doit rester chargé. On étudie la phase de charge, le microphone ne captant pas de son.

1. Etablir la relation entre la tension E aux bornes de la source de tension idéale, la tension $u_c(t)$ aux bornes du condensateur et la tension $u_R(t)$ aux bornes du conducteur ohmique.
2. Montrer que l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_c(t)$ lors de la charge est de la forme :

$$\frac{du_c(t)}{dt} = -\frac{1}{RC}u_c(t) + \frac{E}{RC}$$

Grâce à un dispositif approprié, on mesure la tension $u_c(t)$ aux bornes du condensateur lors de sa charge. On obtient la courbe suivante.

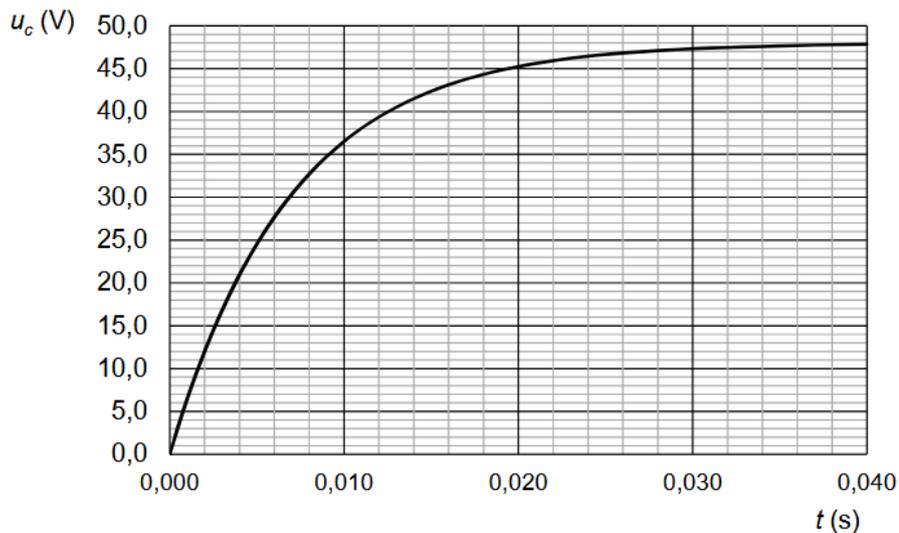


Figure 2. Evolution temporelle de la tension aux bornes du condensateur

Cette courbe peut être modélisée par une des trois fonctions mathématiques proposées ci-dessous :

Fonction 1 : $u_c(t) = E \times (1 - e^{-\frac{t}{R \times C}})$

Fonction 2 : $u_c(t) = E \times e^{-\frac{t}{R \times C}}$

Fonction 3 : $u_c(t) = E \times (1 - e^{-\frac{t}{R \times C}})$

3. En exploitant la courbe, indiquer par un raisonnement argumenté la fonction qui modélise la charge du condensateur.
4. Montrer que la fonction retenue est bien solution de l'équation différentielle établie à la question 2.

La capacité C d'un condensateur plan constitué de deux armatures métalliques de surface S en regard l'une de l'autre, séparées d'une distance d , est donnée par la relation $C = \frac{\epsilon \times S}{d}$ avec ϵ la permittivité de l'air entre les deux armatures du condensateur.

Pour le microphone étudié, le produit de la permittivité de l'air par la surface est : $\epsilon \times S = 1,4 \times 10^{-15}$ F.m.

5. En exploitant la courbe et en explicitant le raisonnement, déterminer la valeur de la distance d séparant les deux armatures quand le microphone fonctionne mais qu'il ne capte pas de son.

Sous l'effet des ondes sonores émises par l'animateur, la membrane se déplace en entraînant une modification de la distance entre les deux armatures du condensateur. La tension de sortie envoyée vers le pré-amplificateur est alors l'image des ondes sonores captées par le microphone.

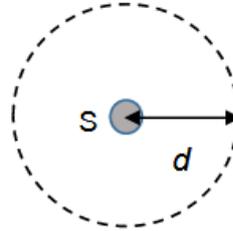
6. Justifier par un raisonnement détaillé l'évolution de la capacité du condensateur lorsque la distance séparant les deux armatures diminue.

B- L'enceinte

Une source S , émettant des ondes sonores de puissance P , est isotrope si elle émet la même quantité d'énergie dans toutes les directions. L'intensité sonore mesurée, notée I , dépend alors de la distance d à la source selon la relation :

$$I = \frac{P}{4\pi \times d^2}$$

avec I en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$; P en W et d en m .



Le niveau d'intensité sonore, noté L , est lié à l'intensité sonore I :

$$L = 10 \times \log \frac{I}{I_0} \quad \text{ou} \quad I = I_0 \times 10^{L/10}$$

avec L exprimé en dB , I en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ et $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Le microphone est relié, par l'intermédiaire d'un amplificateur de puissance, à une enceinte.

L'intensité sonore mesurée à $1,0 \text{ m}$ devant l'enceinte vaut : $I_1 = 3,2 \times 10^{-3} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

7. Montrer que la puissance P sonore fournie par l'enceinte est égale à $4,0 \cdot 10^{-2} \text{ W}$.

Des barrières de sécurité entourent l'enceinte à $3,0 \text{ m}$ de celle-ci, pour éviter que les spectateurs de la manifestation en soient trop proches.

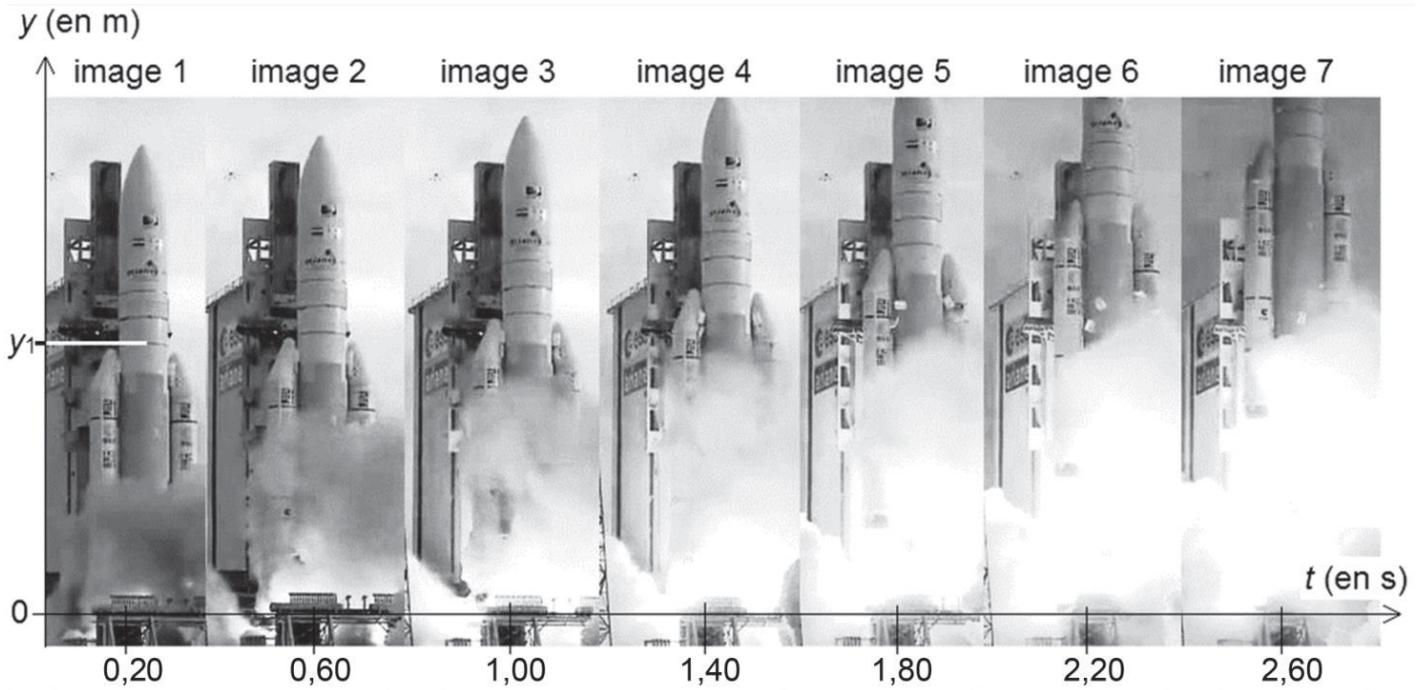
La législation européenne indique les durées limites d'exposition journalière à ne pas dépasser à certains niveaux d'intensité sonore pour ne pas engendrer des traumatismes irréversibles :

L (dB)	86	92	95	101	107
Durée limite d'exposition	2 h/jour	30 min/jour	15 min/jour	4 min/jour	1 min/jour

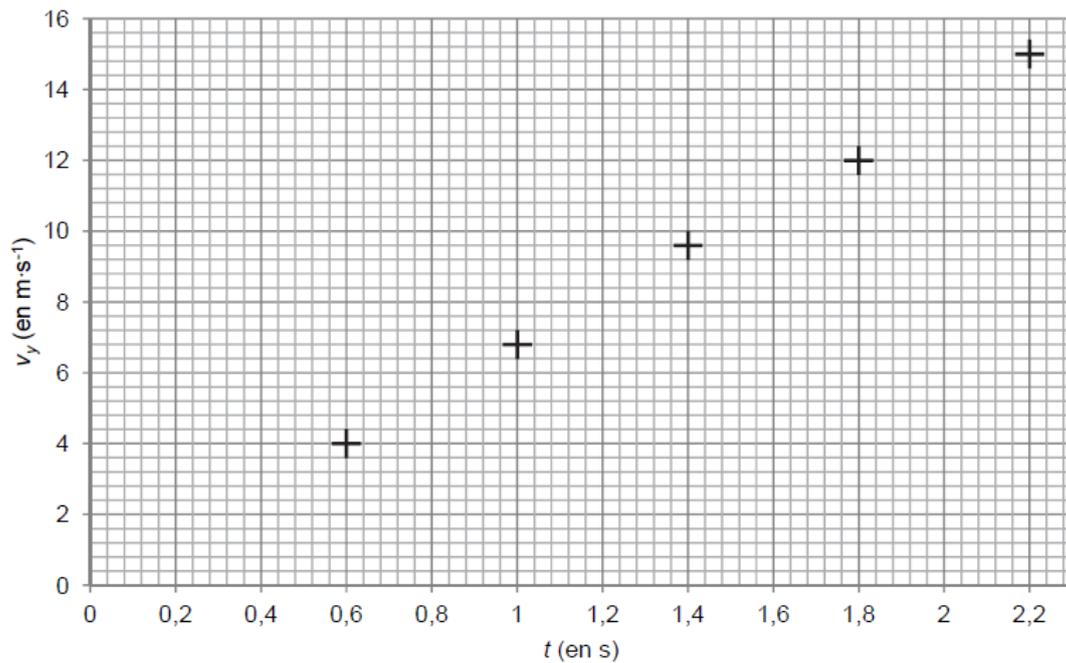
8. Sachant que la manifestation sportive dure environ deux heures, indiquer, par un raisonnement quantitatif, si la distance de sécurité entre les barrières et l'enceinte est suffisante pour assurer une sécurité sonore pour les spectateurs.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée. De plus le candidat devra apporter un regard critique au résultat trouvé.

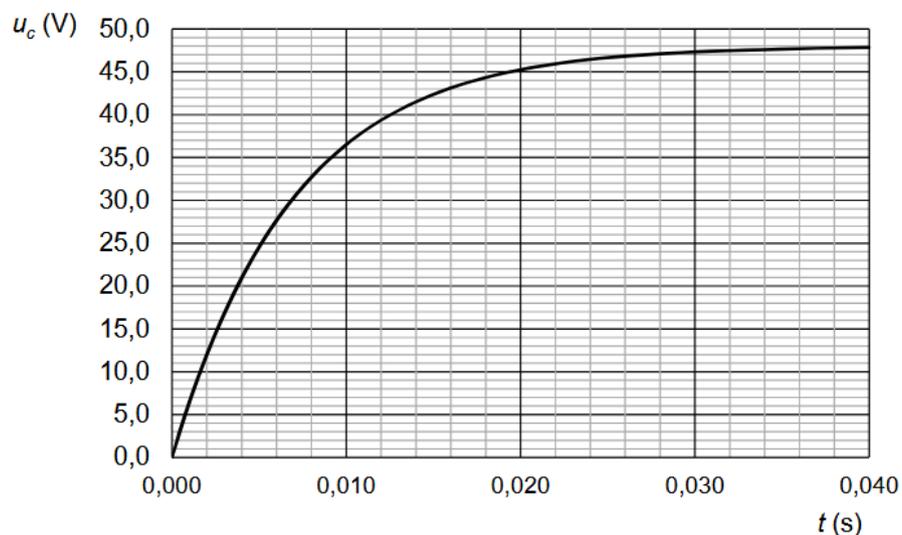
ANNEXE (EXERCICE II) (À remettre avec la copie)



EXERCICE II - Figure 2. Chronophotographie du début du décollage d'Ariane 5



EXERCICE II - Figure 4. Évolution de la valeur de la vitesse de la fusée au cours du temps



EXERCICE III - Figure 2. Evolution temporelle de la tension aux bornes du condensateur