# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

**SESSION 2026**

# PHYSIQUE-CHIMIE

# JOUR 2

Durée de l'épreuve : 3 h 30
Coefficient : 16

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

Dès que le sujet est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13 avec 3 exercices indépendants.

**L'annexe page 13/13 est à rendre <u>impérativement</u>**
**avec la copie, même non complétée.**

**Le candidat traite les 3 exercices.**

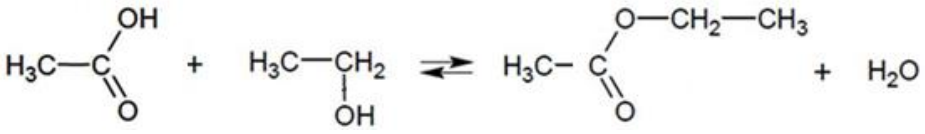
*Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies.*

## EXERCICE I – ÉTUDE DE L'ESTÉRIFICATION-HYDROLYSE (9 points)

Les esters sont des espèces chimiques souvent caractérisées par une odeur particulière. On les utilise en tant qu'arômes dans l'industrie agroalimentaire ainsi qu'en parfumerie.

Un ester est obtenu en faisant réagir un acide carboxylique avec un alcool. Il se forme alors l'ester et de l'eau. Cette transformation n'est pas totale et conduit à un état d'équilibre du système.

Dans ce problème, on étudie la synthèse de l'éthanoate d'éthyle qui est un ester à l'odeur fruitée, dite de « bonbon anglais ». Au laboratoire, il est synthétisé en faisant réagir l'acide éthanoïque et l'éthanol. La transformation chimique mise en jeu est appelée estérification. L'équation chimique modélisant cette transformation chimique s'écrit :



**Données à 25 °C :**

| | Acide éthanoïque $C_2H_4O_2$ | Éthanol $C_2H_6O$ | Éthanoate d'éthyle $C_4H_8O_2$ |
|---|---|---|---|
| Masse volumique ($g \cdot mL^{-1}$) | 1,05 | 0,79 | 0,93 |
| Masse molaire ($g \cdot moL^{-1}$) | 60,0 | 46,1 | 88,1 |
| Température d'ébullition $T_{éb}$ (°C) | 118,0 | 78,4 | 77,1 |
| Solubilité dans l'eau | Très grande | Très grande | Faible |
| Solubilité dans l'eau salée | Très grande | Très grande | Quasi nulle |

### Partie A - Les espèces chimiques mises en jeu dans l'estérification

L'éthanoate d'éthyle possède plusieurs isomères qui sont également des esters.

1. Représenter la formule topologique de l'un d'entre eux.

2. Représenter la formule de Lewis de l'acide éthanoïque.

L'acide éthanoïque est un acide faible dans la théorie de Brönsted.

3. En représentant l'acide éthanoïque par AH, écrire l'équation de la réaction de l'acide éthanoïque avec l'eau.

## Partie B - Étude d'un protocole de synthèse de l'éthanoate d'éthyle

Une estérification est réalisée au laboratoire en utilisant un montage de chauffage à reflux. Le système chimique initial contient 0,050 mol d'acide éthanoïque et 0,050 mol d'éthanol auxquelles on ajoute une goutte d'acide sulfurique concentré.

**4.** L'acide sulfurique est utilisé comme catalyseur. Définir ce terme.

**5.** Déterminer les volumes d'acide éthanoïque et d'éthanol purs à prélever pour réaliser le protocole.

**6.** Parmi les montages suivants, identifier celui qui correspond au dispositif de chauffage à reflux utilisé dans le protocole (**Figure 1**).

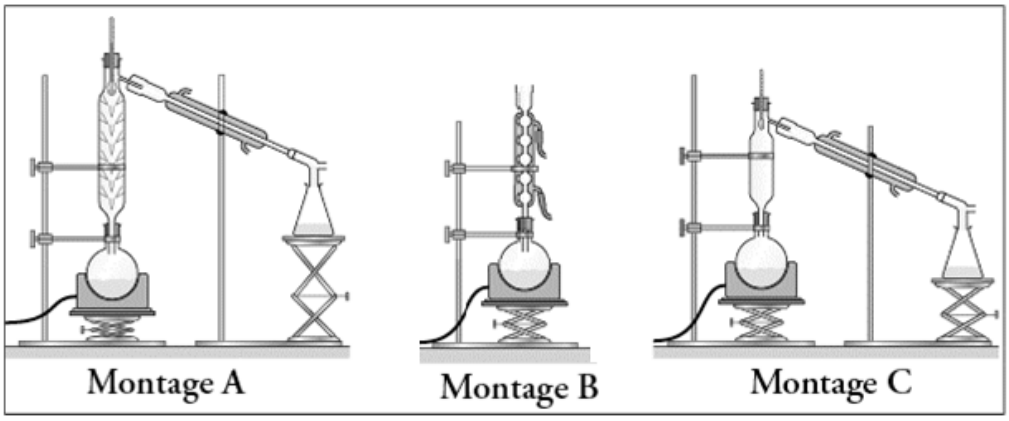



**Figure 1 -** Schémas de montages expérimentaux

Dans cette voie de synthèse, compte tenu de l'état d'équilibre du système, le rendement final de l'estérification ne peut pas dépasser 66 %.

**7.** Déterminer la valeur de l'avancement final $x_f$.

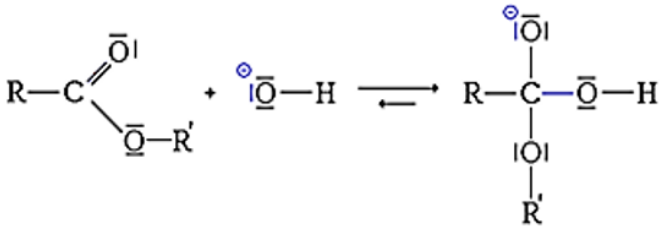
**8.** Déduire de la question précédente les quantités de matière des réactifs et des produits dans l'état l'équilibre du système en complétant le tableau d'avancement de la réaction d'estérification sur l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE page 13/13.**

**9.** Déterminer la masse d'éthanoate d'éthyle que l'on peut espérer obtenir en fin de synthèse.

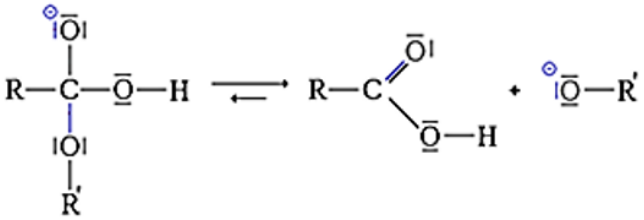
## Partie C - Étude de l'hydrolyse basique de l'éthanoate d'éthyle

Un ester peut être hydrolysé en milieu basique par les ions hydroxyde. La transformation est alors considérée comme totale, mais elle est lente. À l'échelle microscopique, la réaction est modélisée par une succession de trois actes élémentaires représ entés en **Figure 2 :**

**Acte élémentaire 1**



**Acte élémentaire 2**



**Acte élémentaire 3**

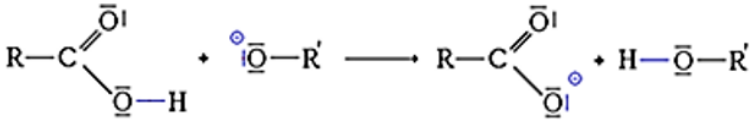


**Figure 2 -** Mécanisme réactionnel de l'hydrolyse basique d'un ester

**10.** Établir l'équation de la réaction d'hydrolyse basique modélisée par le mécanisme donné en **Figure 2.**

**11.** Compléter sur l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE page 13/13** les actes élémentaires du mécanisme en représentant, à l'aide de flèches courbes, le mouvement des électrons.

**12.** Choisir, en justifiant, la nature de la réaction d'hydrolyse basique parmi les propositions suivantes : addition, élimination, substitution.

On fait réagir 1,00 mL d'éthanoate d'éthyle pur avec une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration $C_0 = 5{,}0\times10^{-3}$ mol·L$^{-1}$.
Le volume total $V$ du mélange réactionnel est $V = 100$ mL

**13.** Montrer que les ions hydroxyde constituent le réactif limitant de la transformation étudiée.

Afin de réaliser le suivi cinétique de la transformation, on détermine la concentration d'ions hydroxyde restants [$HO^-$] à différents instants grâce à un suivi conductimétrique. La représentation graphique de l'évolution de la concentration en ions hydroxyde restants [$HO^-$] en fonction du temps est tracée sur la **Figure 3** ci-après.

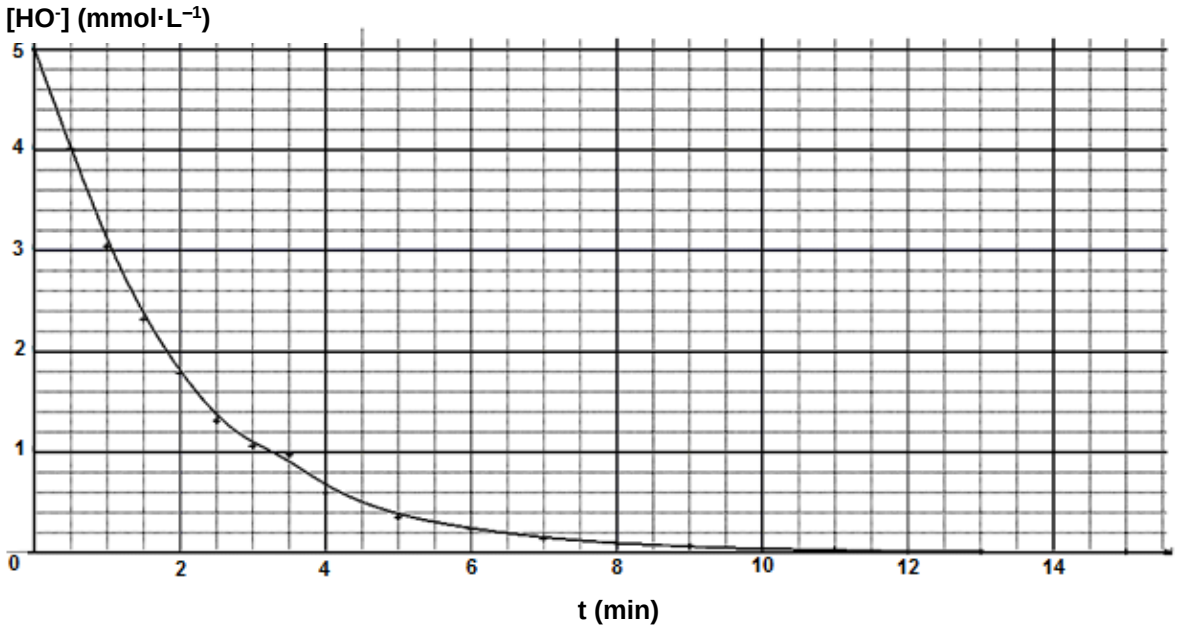



**Figure 3 -** Évolution de la concentration en ions hydroxyde restants [$HO^-$] en fonction du temps

**14.** Préciser en justifiant, si la représentation graphique de l'évolution de la concentration en ions hydroxyde restants [$HO^-$] en fonction du temps (**Figure 3**) rend compte des deux caractéristiques de l'hydrolyse en milieu basique : transformation lente et totale.

**15.** Définir le temps de demi-réaction puis déterminer sa valeur pour la transformation étudiée.

**16.** Donner l'expression de la vitesse volumique de disparition des ions hydroxyde en fonction de [$HO^-$].

**17.** Expliquer comment et pourquoi la vitesse volumique de disparition des ions hydroxyde évolue au cours du temps.

## EXERCICE II : Supercondensateur dans les voitures de sport (6 points)

Dans les voitures de sport, type *hypercars* ou Formule 1, la part d'énergie électrique représente environ 30% de la puissance totale motrice, tandis que le moteur thermique fournit les 70% restants. Les voitures utilisent un système qui permet la récupération d'énergie électrique au freinage, via un circuit muni d'un supercondensateur, appelé MGU-K.

### Partie A – Supercondensateur

**Donnée :**

- Capacité $C$ du supercondensateur étudié ici : $C$ = 165 F

**1.** Justifier le qualificatif « supercondensateur ».

Dans une étude de 2012[1], Lars Seim s'intéresse aux performances de ce supercondensateur. Un processus d'autodécharge à long terme limite leurs performances.

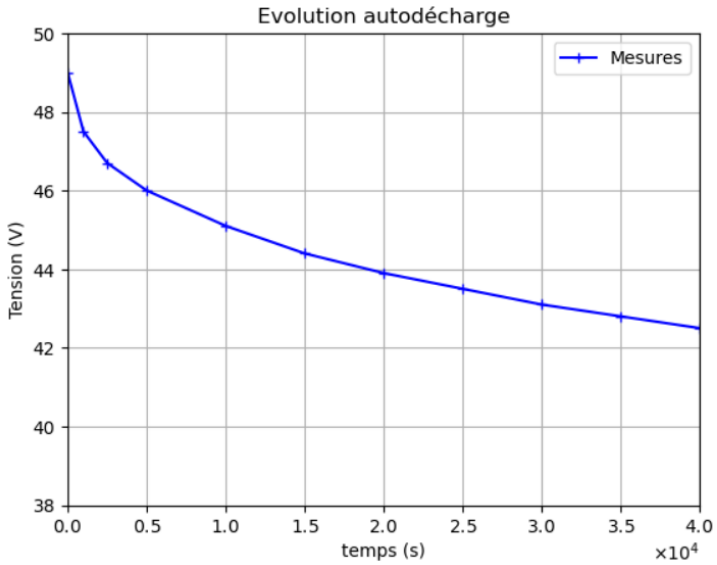



**Figure 1 –** Autodécharge du supercondensateur étudié

On souhaite étudier cette décharge pour savoir si elle peut être modélisée par un circuit RC en série, où $R$ est la résistance de fuite lors de l'auto décharge et $C$ la capacité du supercondensateur.

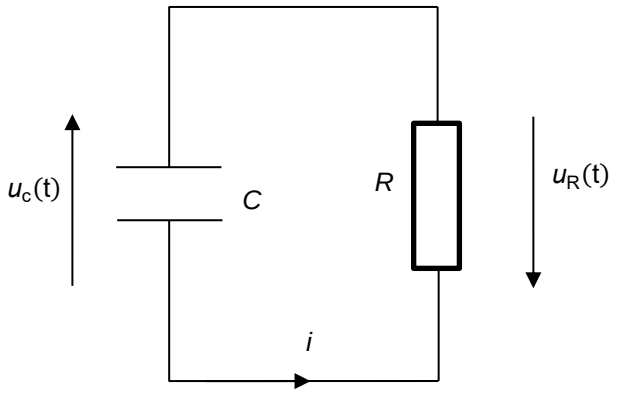



**Figure 2 –** Schéma électrique de l'autodécharge du supercondensateur étudié

[1] Seim, L.H., "Modeling, Control and Experimental Testing of a Supercapacitor/Battery Hybrid System: Passive and Semi-Active Topologies," Department of Mathematical Sciences and Technology, Norwegian University of Life Sciences, 2012.

Soit un condensateur initialement chargé à une tension $E$.

2. Établir l'équation différentielle de la décharge dans le circuit présenté en **figure 2** :

$$\frac{du_c(t)}{dt} + \frac{u_c(t)}{RC} = 0$$

3. Vérifier que la fonction qui s'écrit $u_c(t) = E\,e^{\left(-\frac{t}{\tau}\right)}$ est solution de l'équation différentielle établie à la question précédente, avec $\tau$, constante à exprimer en fonction de la résistance $R$ et de la capacité $C$.

4. Donner un sens physique à $\tau$.

L'étude propose une modélisation de l'évolution de la tension aux bornes du condensateur par la fonction de la forme : $u_c(t) = 45{,}65\ \ e^{\left(-1{,}838\cdot10^{-6}\ t\right)}$.

5. Calculer $\tau$.

6. Vérifier que la résistance de fuite $R$ est de 3,30 kΩ.

On souhaite vérifier cette modélisation avec un programme en langage Python dont on donne un extrait **figure 3** ci-dessous :

```
…
5  t = np.arange (0, 4e4, 1e2)            #liste de temps, de 0 à 40 000, par pas de 100.
6  u_mod = 45.65*np.exp(1.838e-6*t)       #expression du modèle.
7  plt.plot(t, u_mod, "g--", label='Modelisation')    #tracé de la courbe modèle.
…
```

**Figure 3 –** Extrait du code Python

La courbe de modélisation générée par le code est superposée à la **figure 1**, dans la **figure 4**.

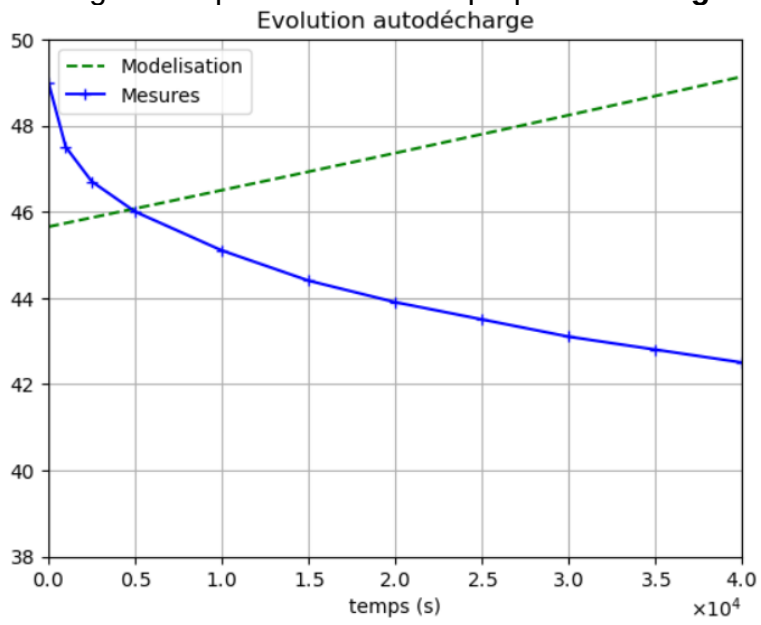



**Figure 4 –** Modélisation de l'autodécharge du supercondensateur étudié

7. Identifier l'erreur dans le code python et recopier la ligne en la corrigeant.

Le code corrigé donne la **figure 5** en sortie.

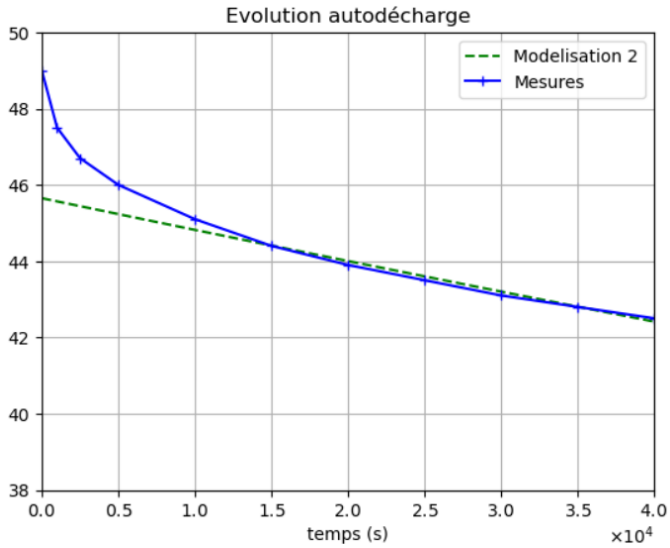



**Figure 5 –** Modélisation corrigée de l'autodécharge du supercondensateur étudié

**8.** Justifier que la courbe modèle apparaisse comme une droite.

**9.** Commenter la validité du modèle RC en série pour l'étude de l'autodécharge du supercondensateur.

## Partie B – Application à la voiture de sport

En connectant des batteries et des condensateurs en parallèle, Lars Seim obtient un système de stockage d'énergie hybride (SSEH) qui réduit significativement les pertes électriques et les variations de tension. Ce système SSEH est monté sur une voiture de sport[2]. La charge du supercondensateur dans ce système se fait lors des phases de freinage.
On mesure la charge du supercondensateur pendant une décélération de 200 km·h$^{-1}$ à 0 km·h$^{-1}$ en 5,0 s.
La voiture se déplace dans une seule direction, selon un axe (Ox) avec une vitesse $v_x$. Le pilote appuie sur les freins pour stopper complètement la voiture. La vitesse $v_x$ au cours du temps $t$ est mesurée, **figure 6**.

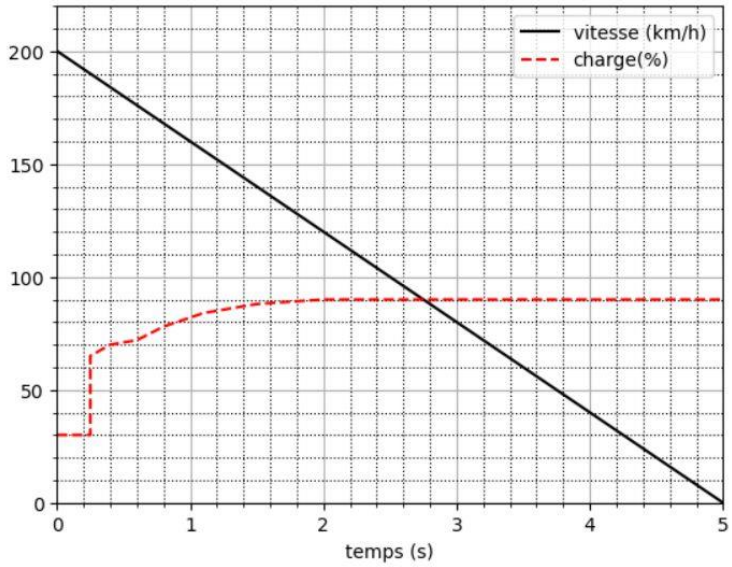



**Figure 6 –** Vitesse au cours du temps

[2] Franceschi, Alessandro, et al. "Modeling and Control of Hybrid Energy Storage Systems on a Hybrid Super Sports Car." *SAE International Journal of Electrified Vehicles*, vol. 12, no. 2, 2023, pp. 201–28. *JSTOR*, https://www.jstor.org/stable/27349034.

**10.** La vitesse peut s'écrire $v_x(t) = \alpha t + \beta$. En s'appuyant sur la **figure 6**, déterminer les valeurs de $\alpha$ et $\beta$ en unités du système international.

**11.** Qualifier le mouvement.

Le rapport entre l'énergie cinétique de la voiture à l'instant *t* et son énergie cinétique totale initiale, exprimé en pourcentage, a été calculé grâce aux mesures de vitesse à l'aide d'un programme python. On a, de même, déterminé le rapport entre l'énergie emmagasinée dans le supercondensateur à l'instant t et l'énergie maximale stockée pendant le freinage.
Un extrait du code est donné sur la **figure 7** et les tracés des évolutions de ces deux pourcentages en fonction du temps sont représentés sur la **figure 8.**

| | |
|---|---|
| …<br>5<br>… | Ec=0.5*m*(v/3.6)**2 |

**Figure 7 –** Extrait du code.

**12.** Justifier l'écriture de la ligne 5 du code.

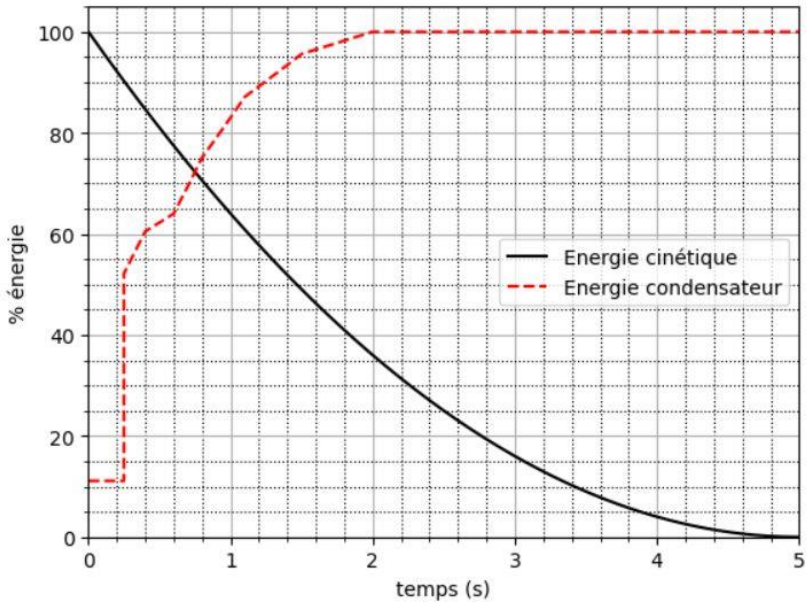



**Figure 8 –** Pourcentages des énergies mises en jeu.

Le système MGU-K, utilisé en Formule 1, convertit environ les deux tiers de l'énergie cinétique transformée au freinage en énergie électrique utilisable.

**13.** Montrer, à l'aide de la **figure 8,** que cette affirmation est correcte lorsque le supercondensateur est entièrement chargé.

## EXERCICE III – Quelques éléments d'étude de l'avion de chasse Rafale (5 points)

Le Rafale est le premier avion de combat à avoir été conçu dès l'origine pour opérer aussi bien depuis la terre que depuis un porte-avion. La base de Mont-de-Marsan située dans les Landes de Gascogne héberge plusieurs escadrons dotés de ces appareils.
*Cet exercice est constitué de deux parties indépendantes.*

- *Dans la première partie, on s'intéresse aux nuisances sonores provoquées par le Rafale.*
- *Dans une seconde partie, on cherche à déterminer la vitesse de l'avion en vol.*

### Partie A - Nuisances sonores des avions Rafale sur la base de Mont-de-Marsan

**Données :**

- L'intensité sonore de référence : $I_0 = 1{,}0 \cdot 10^{-12}$ W·m$^{-2}$.
- Le niveau d'intensité sonore de l'avion de chasse Rafale au décollage : $L_1 = 130$ dB à la distance $d_1$ de 100 m.
- On suppose que le son se propage de façon isotrope dans toutes les directions. Dans ce modèle, l'intensité sonore $I$ (en W·m$^{-2}$) à une distance $d$ (en m) de la source est reliée à la puissance sonore $P$ (en W) de cette source par la relation : $I = \frac{P}{4\pi d^2}$.
- Relations mathématiques pour les logarithmes décimaux :

  $\log(ab) = \log a + \log b$ et $\log\left(\frac{a}{b}\right) = \log a - \log b$.

| **Niveau d'intensité sonore** | Entre 60 dB et 85 dB | Entre 85 dB et 105 dB | > 105 dB |
|---|---|---|---|
| **Risques** | Fatigue, stress, troubles multiples si exposition chronique. | Pertes auditives à moyen / long terme si exposition chronique. | Surdité, acouphènes : immédiat / court terme |

**Tableau 1 –** Risques en fonction du niveau d'intensité sonore

**1.** Justifier la nécessité d'une protection auditive individuelle pour les militaires qui travaillent à moins de 100 m du décollage d'un Rafale.

**2.** Calculer l'intensité sonore $I_1$ de l'avion de chasse Rafale au décollage à la distance $d_1$ de 100 m de celui-ci.

**3.** Montrer que la puissance sonore $P$, à 100 m d'un avion Rafale qui décolle de la base de Mont de Marsan, vaut environ $P = 1{,}3 \cdot 10^6$ W.

La **Figure 1** présente la carte des environs de la base aérienne B 118 de Mont de Marsan.

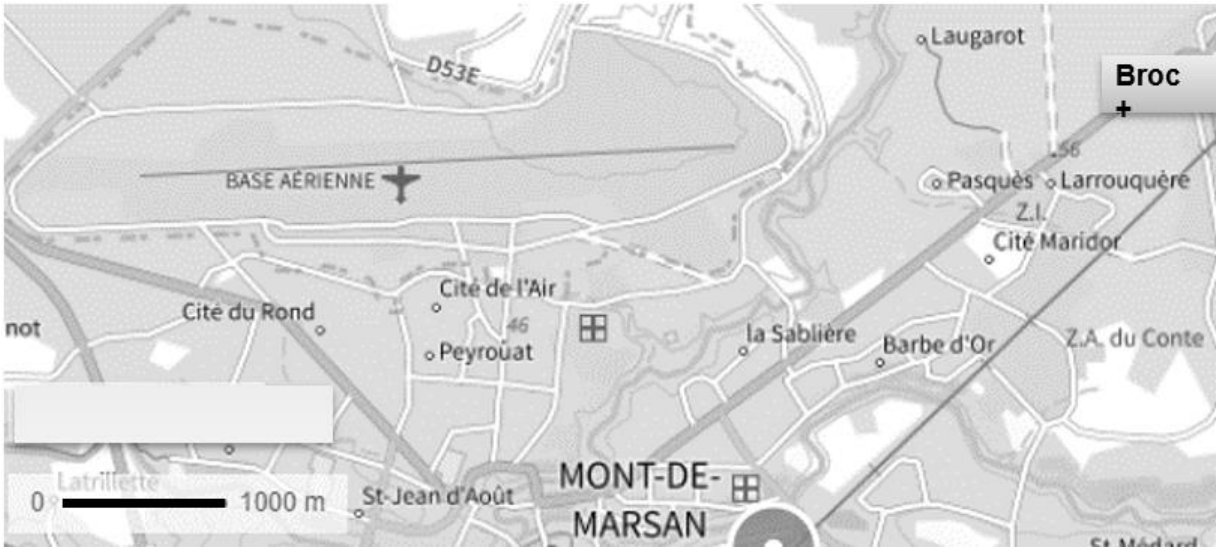



**Figure 1 -** Carte à proximité de la B118 (source Géoportail)

On considère maintenant un habitant du quartier Broc. L'origine du bruit choisie est située au milieu du fuselage de l'avion dessiné sur la piste de la base militaire de Mont de Marsan représentée sur la **Figure 1**.

**4.** Estimer les risques encourus par un habitant de Broc.

*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.*

## Partie B - Mesure de la vitesse d'approche

Dans l'aviation, la valeur de la vitesse est exprimée en nœuds (*knot* en anglais, kt en abrégé).

Sur un Rafale, la mesure de la vitesse est réalisée à l'aide d'une sonde Pitot fixée sur l'avion. Il s'agit d'un tube percé d'un petit trou qui, par une mesure de la différence de pressions entre deux points situés à deux endroits différents du tube, permet d'obtenir la vitesse de l'écoulement de l'air $v_B$ autour des ailes de l'appareil, qui correspond à la vitesse de l'avion.

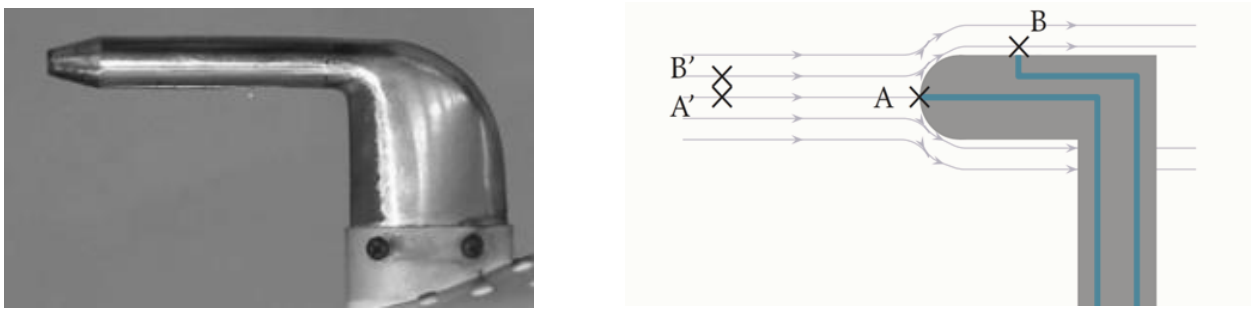



**Figure 2 –** Photo (gauche) et schéma de fonctionnement d'un tube de Pitot (droite)

**Données :**

- Compte-tenu du diamètre du tube de Pitot et du fait que le fluide considéré est l'air, la relation de Bernoulli entre deux points 1 et 2 d'une même ligne de courant s'écrit :

$$P_1+\rho\frac{v_1^2}{2} = P_2+\rho\frac{v_2^2}{2}$$

- $P$ : la pression au point d'étude exprimée en Pa ;
- $\rho$ : la masse volumique du fluide, ici de l'air, $\rho = 1{,}3\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ;
- $v$ : la vitesse de l'écoulement du fluide au point d'étude ;
- $1{,}0\ \text{kt} = 1{,}852\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

La vitesse de l'écoulement du fluide au point A est nulle.

**5.** En appliquant la relation de Bernoulli entre les points A et A', vérifier que la vitesse $v_{A'}$ au point A' a pour expression :

$$v_{A'} = \sqrt{2\ \frac{P_A - P_{A'}}{\rho}}$$

Pour la situation décrite, on démontre qu'on a les relations suivantes
$v_{A'} = v_{B'} = v_B$ et $P_{A'} = P_{B'} = P_B$.

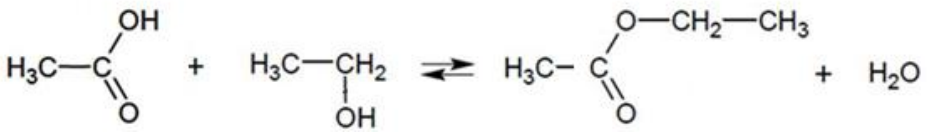
La différence de pression mesurée par la sonde Pitot au moment de l'atterrissage est
$P_A - P_B = 2\ 340$ Pa.

**6.** Vérifier que la valeur calculée de la vitesse d'atterrissage pour le Rafale est compatible avec la valeur $v_{att}=(120 \pm 5)$ kt.

# ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE
# (même non complétée)

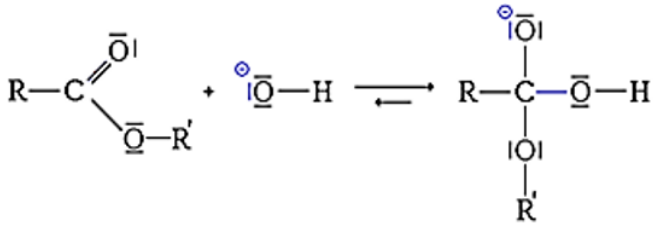
## EXERCICE I – Étude de l'équilibre estérification-hydrolyse

Question 8. Tableau d'avancement

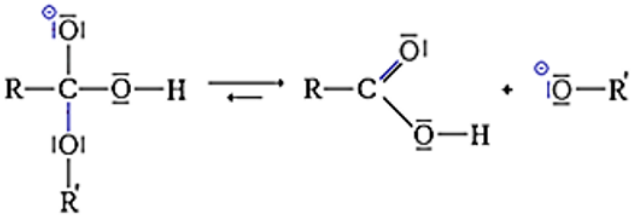
| **Équation de réaction** | |  | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Avancement (mol) | | | | |
| **État initial** | $x = 0$ | | | | |
| **État intermédiaire** | $x$ | | | | |
| **État final** | $x = x_f$ | | | | |

Question 11. Mécanisme réactionnel

**Acte élémentaire 1**



**Acte élémentaire 2**



**Acte élémentaire 3**

