

**BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE  
ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE  
SPÉCIALITÉ**

**SESSION 2024**

**SCIENCES ET TECHNOLOGIES  
DE LABORATOIRE**

**Sciences physiques et chimiques  
en laboratoire**

**Jeudi 20 juin 2024**

**Durée de l'épreuve : 3 heures**

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 document vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce document comporte 14 pages numérotées de 1/14 à 14/14 dans la version originale et **48 pages numérotées de 1/48 à 48/48 dans la version en caractères agrandis.**

**Les pages agrandies 45 à 48 sont à rendre avec la copie.**

**Le candidat traite obligatoirement les 4 parties proposées dans l'ordre de son choix.**

# Fabrication de savons artisanaux

Ce sujet, composé de 4 parties indépendantes, aborde les différentes étapes de la fabrication de savons artisanaux.

## Barème

**Partie A** : Étude de la transformation de saponification ..... 4 points

- Synthèses chimiques
- Mécanismes réactionnels

**Partie B** : Contrôle qualité des réactifs de la transformation de saponification ..... 8 points

- Solubilité
- Conductivité

**Partie C : Préparation de la pâte de savon**

et moulage ..... 4 points

– Échangeurs, chaudières et transferts

thermiques

– Ondes mécaniques et électromagnétiques

**Partie D : Contrôle du remplissage**

du moule ..... 4 points

– Ondes mécaniques et électromagnétiques

– Analyse et contrôle des flux d'informations

---

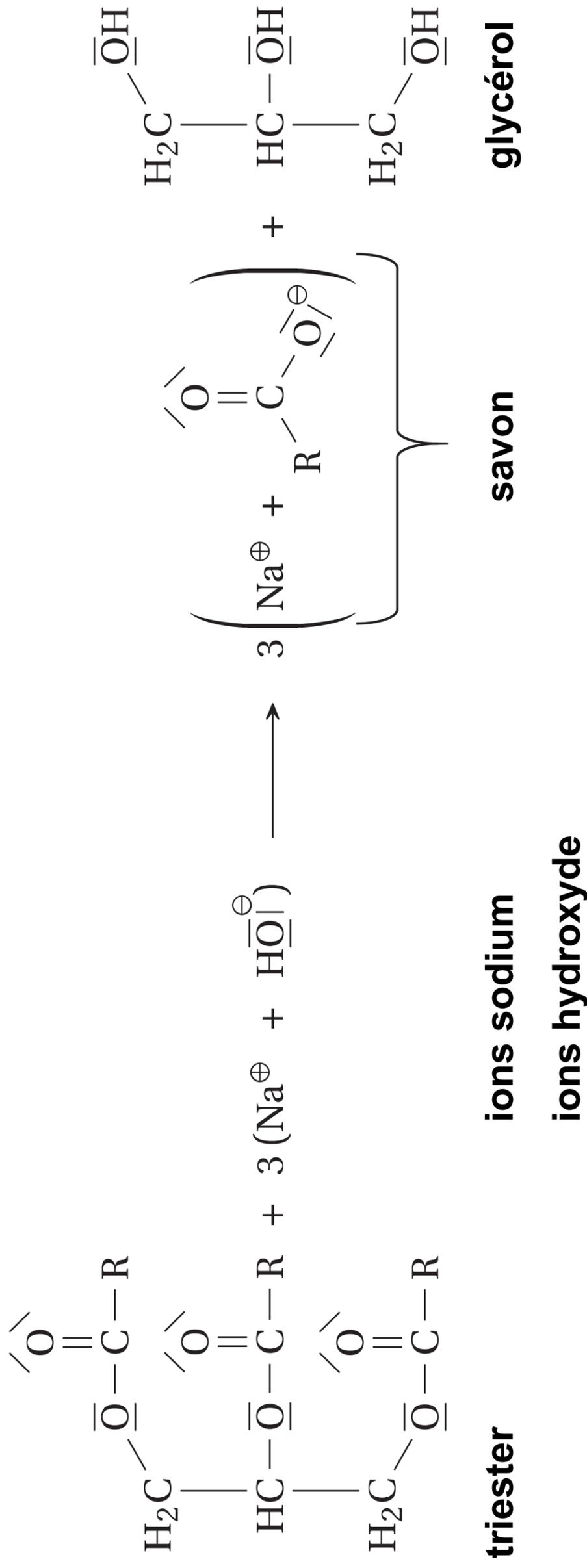
# **PARTIE A - Étude de la transformation de saponification**

---

Sous l'action d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium concentrée, appelée « lessive de soude », les triesters contenus dans l'huile végétale se fragmentent : il se forme des ions carboxylate (qui permettront l'obtention du savon) et du glycérol.

Cette transformation s'appelle une saponification.

## Document 1 : équation de la réaction de saponification



**A.1.** Entourer, sur le **DOCUMENT-RÉPONSE à rendre avec la copie**, les groupes caractéristiques des molécules de triester et de glycérol et nommer les fonctions chimiques correspondantes.

Le mécanisme réactionnel de la saponification est donné dans le **DOCUMENT-RÉPONSE à rendre avec la copie**.

**A.2.** Identifier le nom du type de réaction (addition, substitution, élimination, acide/base) correspondant à l'étape n°1 du mécanisme réactionnel.

**A.3.** Compléter les étapes n°1 et n°2 du mécanisme réactionnel en ajoutant les flèches courbes modélisant le déplacement des doublets d'électrons sur le **DOCUMENT-RÉPONSE** à rendre avec la copie.

On réalise une saponification avec une masse  $m_1 = 100,0$  g du triester et un excès d'hydroxyde de sodium en solution aqueuse.

## Données :

- masse molaire du triester :  $M_1 = 884 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;
- masse molaire du savon :  $M_2 = 304 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**A.4.** Calculer la valeur de la quantité de matière  $n_1$  du triester introduit dans le mélange réactionnel.

On suppose que la transformation chimique de saponification est totale.

**A.5.** En déduire que la quantité de matière maximale de savon formé vaut

$$n_{\max} = 0,339 \text{ mol.}$$

**A.6.** À la fin de la transformation, on obtient une masse  $m_2 = 76,4 \text{ g}$  de savon. Calculer la valeur du rendement de la synthèse.

---

## **PARTIE B - Contrôle qualité des réactifs de la transformation de saponification**

---

La « lessive de soude » est une solution aqueuse très concentrée d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$ ) préparée à partir d'un solide blanc d'hydroxyde de sodium.

**Document 2** : danger de l'hydroxyde de sodium



Extrait de la FDS de l'hydroxyde de sodium  
(NaOH) :

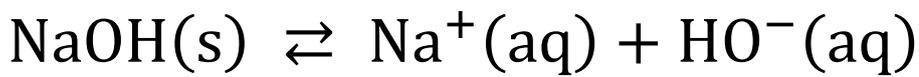
**Danger** : H314 - Provoque de graves brûlures  
de la peau et de graves lésions des yeux.

La gravité des lésions dépend de la quantité  
appliquée, de la concentration de la solution et  
du temps de contact.

## **Préparation de la solution aqueuse de « lessive de soude »**

**B.1.** En exploitant le document 2, nommer les  
équipements de protection individuelle  
nécessaires pour manipuler une « lessive de  
soude » en toute sécurité.

**B.2.** L'équation qui modélise la dissolution de l'hydroxyde de sodium dans l'eau est :



Donner l'expression du produit de solubilité  $K_S$  associé à cette équation de dissolution.

**B.3.** Sachant que le produit de solubilité de l'hydroxyde de sodium  $\text{NaOH(s)}$  est  $K_S = 742,6$  à  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , exprimer sa solubilité  $s$  en fonction de  $K_S$  puis calculer sa valeur.

## **Contrôle qualité de la solution**

On dispose d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium « lessive de soude »  $S_0$  dont on souhaite vérifier la concentration en quantité de matière d'hydroxyde de sodium  $C_0$ .

On dilue 25 fois la solution  $S_0$  pour obtenir la solution  $S_B$  que l'on dose par titrage.

**B.4.** On souhaite préparer un volume de 500,0 mL de la solution  $S_B$ . La verrerie à disposition est la suivante :

- pipettes jaugées de 5,0 mL, 10,0 mL et 20,0 mL ;
- fioles jaugées de 100,0 mL, 200,0 mL et 500,0 mL.

Choisir, en justifiant, les deux instruments de verrerie permettant de préparer la solution  $S_B$ .

On réalise un titrage conductimétrique d'un volume  $V_B = 20,0 \text{ mL}$  de solution  $S_B$  par une solution aqueuse d'acide chlorhydrique  $S_A$  ( $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ ) de concentration en quantité de matière  $C_A = 5,00 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . La courbe de suivi conductimétrique est représentée sur **le DOCUMENT-RÉPONSE à rendre avec la copie.**

L'équation de la réaction support du titrage est :

$$\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\ell)$$

**B.5.** Compléter les légendes numérotées de 1 à 4 sur le schéma du dispositif de titrage conductimétrique sur **le DOCUMENT-RÉPONSE à rendre avec la copie.**

## B.6. Définir l'équivalence d'un titrage.

### Données :

– conductivités molaires ioniques à 25 °C :

Ion	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HO <sup>-</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
$\lambda^\circ$ (en mS · m <sup>2</sup> · mol <sup>-1</sup> )	5,01	7,63	19,9	35,0

– la conductivité  $\sigma$  d'une solution s'exprime à partir de la loi de Kohlrausch :

$$\sigma = \sum_i \lambda_i^\circ \times [X_i]$$

où  $[X_i]$  désigne la concentration en quantité de matière d'une espèce chimique ionique  $X_i$  et  $\lambda_i^\circ$  la conductivité molaire ionique de cette espèce.

**B.7.** Interpréter le changement de pente observé sur la courbe de suivi conductimétrique fournie dans **le DOCUMENT-RÉPONSE à rendre avec la copie** en s'appuyant sur les données.

**B.8.** Déterminer la valeur  $V_E$  du volume versé à l'équivalence du titrage, à l'aide d'une construction graphique sur **le DOCUMENT-RÉPONSE à rendre avec la copie**.

**B.9.** Déterminer la valeur de la concentration en quantité de matière d'hydroxyde de sodium de la solution  $S_0$ .

Ce titrage a été réalisé 9 fois. Les 9 mesures ont donné les résultats suivants :

– valeur moyenne de la concentration :

$$\bar{C}_0 = 8,73 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} ;$$

– valeur de l'écart-type expérimental :

$$\sigma_{n-1} = 0,094 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

**Document 3** : compatibilité du résultat d'une mesure avec une valeur de référence

– Calcul d'une incertitude-type  $u(\bar{X})$  sur la moyenne  $\bar{X}$  d'une série de mesure :

$$u(\bar{X}) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{N}}$$

où  $\sigma_{n-1}$  est l'écart-type expérimental et N le nombre de valeurs mesurées.

– Calcul de l'écart normalisé :  $z = \frac{|\bar{X} - X_{\text{référence}}|}{u(\bar{X})}$

Lorsque  $z < 2$ , on considère que le résultat de la mesure est compatible avec la valeur de référence.

Lorsque  $z \geq 2$ , on considère que le résultat de la mesure n'est pas compatible avec la valeur de référence.

**B.10.** Déterminer la valeur de l'incertitude-type  $u(\overline{C}_0)$  sur la concentration en quantité de matière d'hydroxyde de sodium  $C_0$  de la solution  $S_0$ .

**B.11.** En déduire si la valeur de  $\overline{C}_0$  est compatible avec la valeur de référence, qui vaut  $8,75 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Conclure sur la qualité de la « lessive de soude ».

---

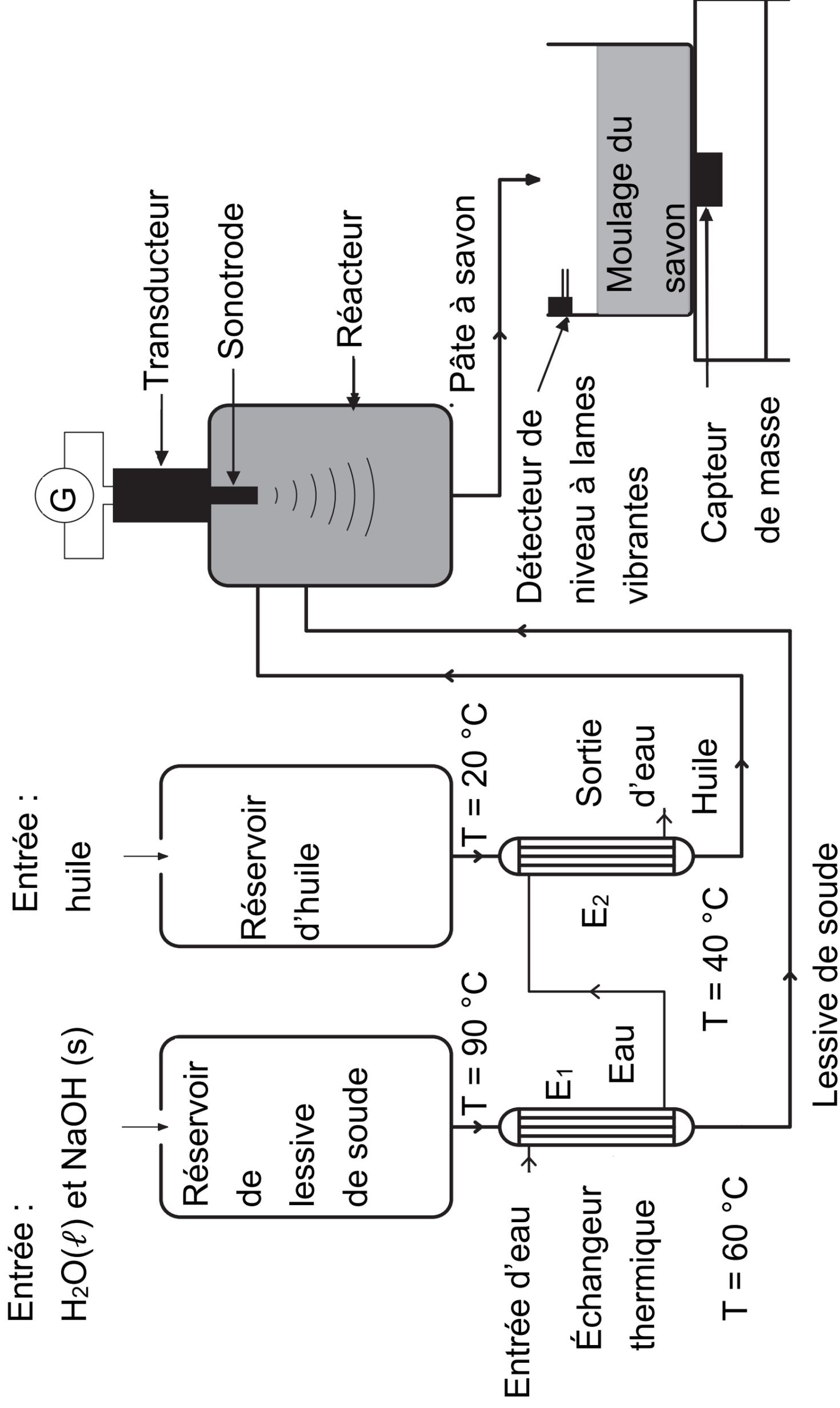
## **PARTIE C - Préparation de la pâte à savon et moulage**

---

On s'intéresse à une installation industrielle de fabrication du savon. Le dispositif est schématisé dans le document 4.

La transformation de saponification entre les huiles et la « lessive de soude » est effectuée dans un réacteur, dans lequel une sonotrode génère des ondes ultrasonores.

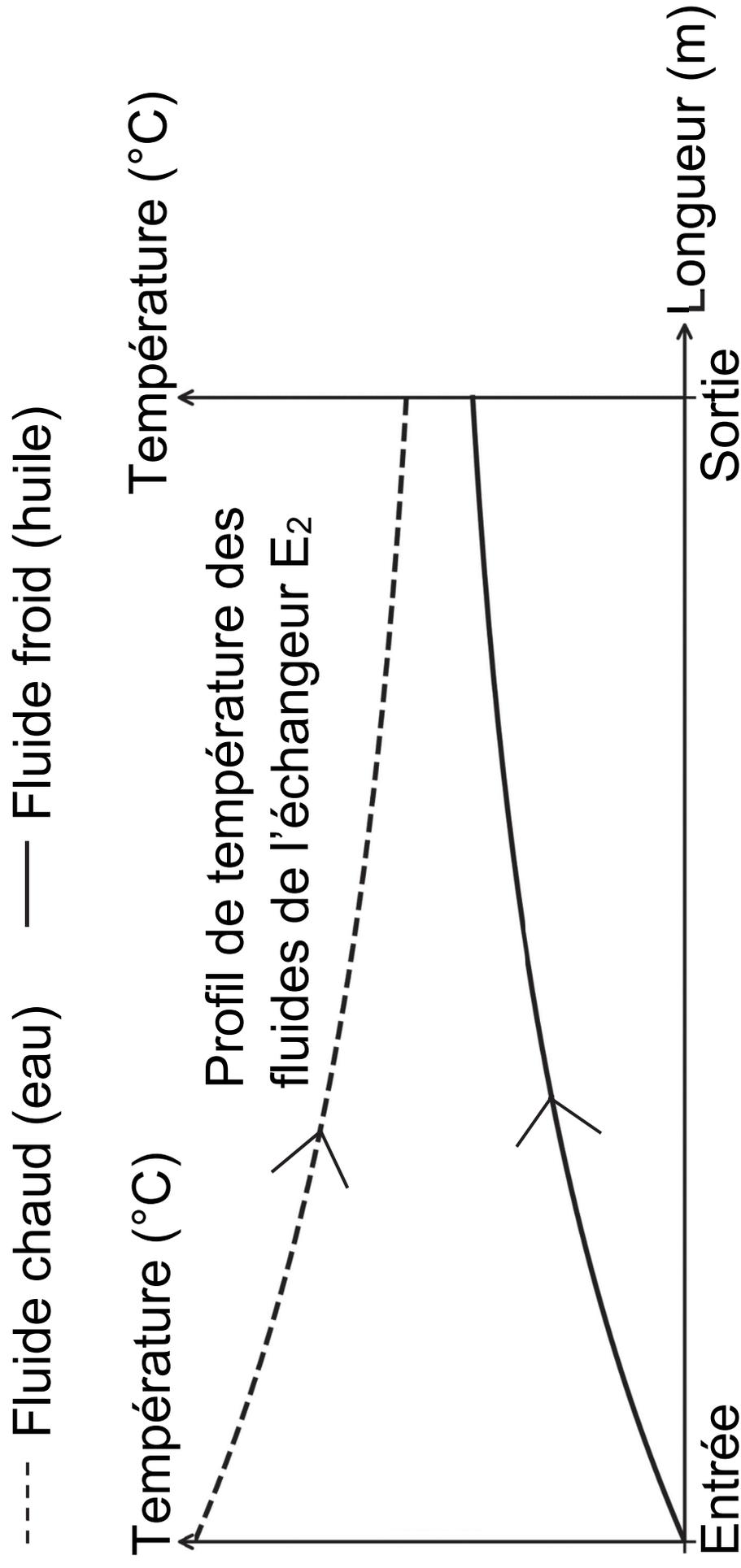
**Document 4** : schéma du montage utilisé pour la fabrication de la pâte à savon



## **Contrôle de la température des réactifs**

La lessive de soude et l'huile ont des températures initiales très différentes. Deux échangeurs thermiques permettent de diminuer cet écart avant introduction dans le réacteur. Un circuit d'eau unique permet de refroidir la « lessive de soude » dans l'échangeur E<sub>1</sub> puis de réchauffer l'huile dans l'échangeur E<sub>2</sub>. La caractéristique de l'échangeur E<sub>2</sub> est donnée dans le document 5.

## Document 5 : caractéristique de l'échangeur E<sub>2</sub>



Puissance thermique transférée dans

l'échangeur :  $P_2 = U \times S \times \Delta\theta_{m2}$ ,

où :

–  $\Delta\theta_{m2} = 19 \text{ °C}$  est l'écart de température moyen entre les deux fluides ;

–  $S = 1,0 \text{ m}^2$  est la surface d'échange ;

–  $U = 1200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$  est le coefficient global d'échange.

*D'après <https://energie.wallonie.be/fr/differents-types-d-echangeurs-de-chaleurs.html?IDC=8049&IDD=97759>*

**C.1.** Indiquer si l'échangeur thermique  $E_2$  fonctionne à co-courant ou à contre-courant, en justifiant la réponse.

La puissance transférée dans l'échangeur  $E_1$  vaut  $P_1 = 28 \text{ kW}$ . On note  $P_2$  la puissance transférée dans l'échangeur  $E_2$ . Pour envisager un circuit d'eau unique, il faut que  $P_1 < P_2$ .

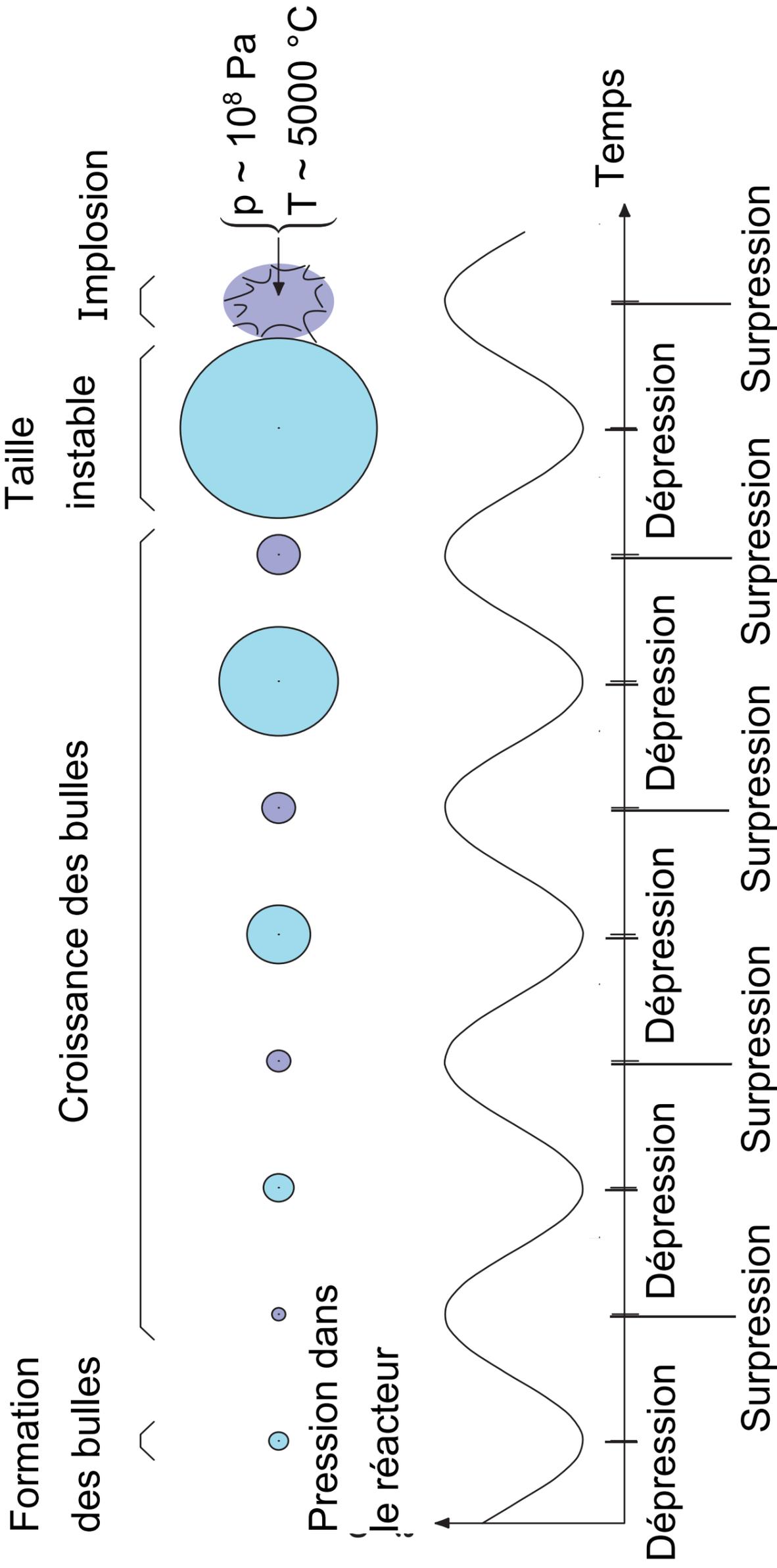
**C.2.** Calculer la valeur de la puissance  $P_2$  et conclure.

## **Transformation chimique au sein du réacteur**

**Document 6** : formation et évolution d'une bulle soumise aux ultrasons

La sonotrode génère des ondes ultrasonores qui se propagent dans le milieu réactionnel.

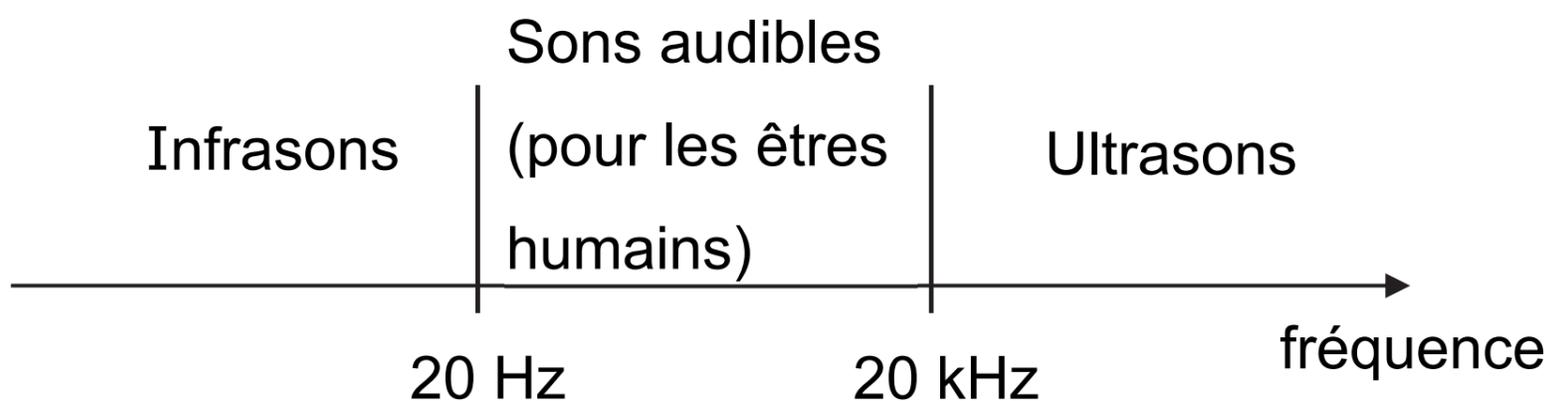
Le phénomène de cavitation acoustique se produit : il y a formation, croissance et implosion de bulles de gaz dans le milieu. La brusque implosion de ces bulles de gaz de quelques micromètres de diamètre est accompagnée d'effets locaux très intenses, notamment l'augmentation de la température.



D'après : <https://www.rhizomex.com/rhizomex-veut-valoriser-les-plantes-invasives-2-2/>

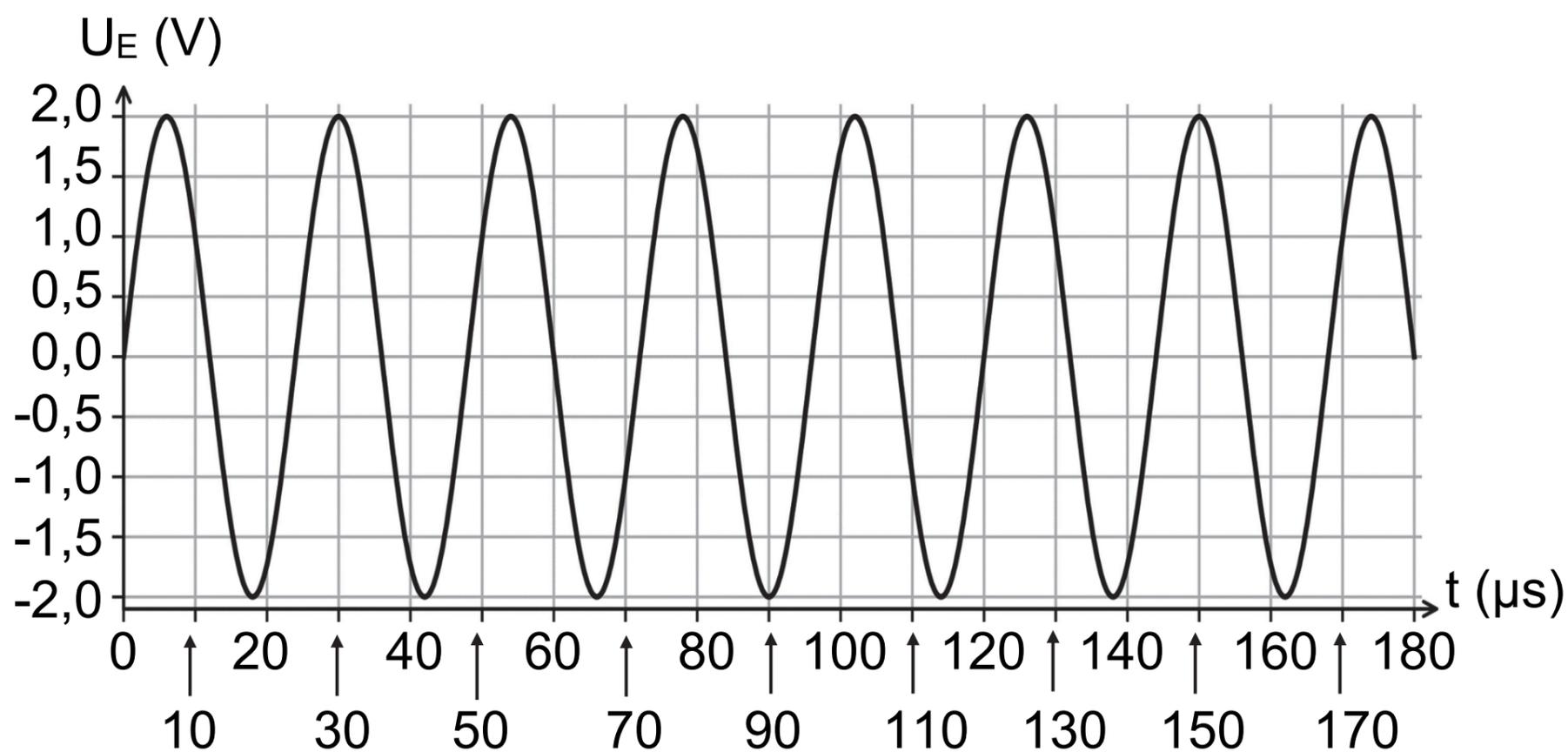
**C.3.** Déterminer l'intérêt de la cavitation acoustique sur la cinétique de la réaction de saponification en s'appuyant sur le document 6.

**Document 7 :** domaines de fréquence des ondes sonores



**Document 8 :** tension aux bornes de la sonotrode

L'évolution au cours du temps de la tension  $U_E$  aux bornes de la sonotrode est représentée ci-dessous. Cette tension électrique a la même fréquence que les ondes générées par la sonotrode.



**C.4.** Justifier que la sonotrode émet bien des ondes ultrasonores, ce qui permettra le phénomène de cavitation.

## **Moulage de la pâte à savon**

Une fois la transformation de saponification terminée, la pâte de savon est déversée dans un moule de volume  $V = 0,040 \text{ m}^3$ .

**C.5.** Montrer qu'un débit volumique

$Q_v = 1,3 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  est nécessaire pour remplir le moule en 5,0 minutes.

On rappelle que l'aire d'une section circulaire d'un tuyau de diamètre  $D$  a pour expression

$$S = \frac{\pi \times D^2}{4}.$$

**C.6.** En déduire la valeur du diamètre  $D$  de la section circulaire que doit avoir la canalisation de vidage du réacteur pour que la vitesse d'écoulement  $v$  soit égale à  $0,20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

---

## **PARTIE D - Contrôle du remplissage du moule**

---

On s'intéresse à deux procédés de contrôle du remplissage du moule : un détecteur de niveau à lames vibrantes et un capteur de masse contrôlé par un microcontrôleur.

### **Détecteur de niveau à lames vibrantes**

**Document 9** : principe de fonctionnement d'un détecteur du niveau d'un fluide à lames vibrantes



Le dispositif est constitué de deux lames métalliques placées au-dessus du fluide dont on cherche à détecter le niveau.

Le moteur du dispositif est réglé de telle sorte que les lames métalliques vibrent à leur fréquence de résonance.

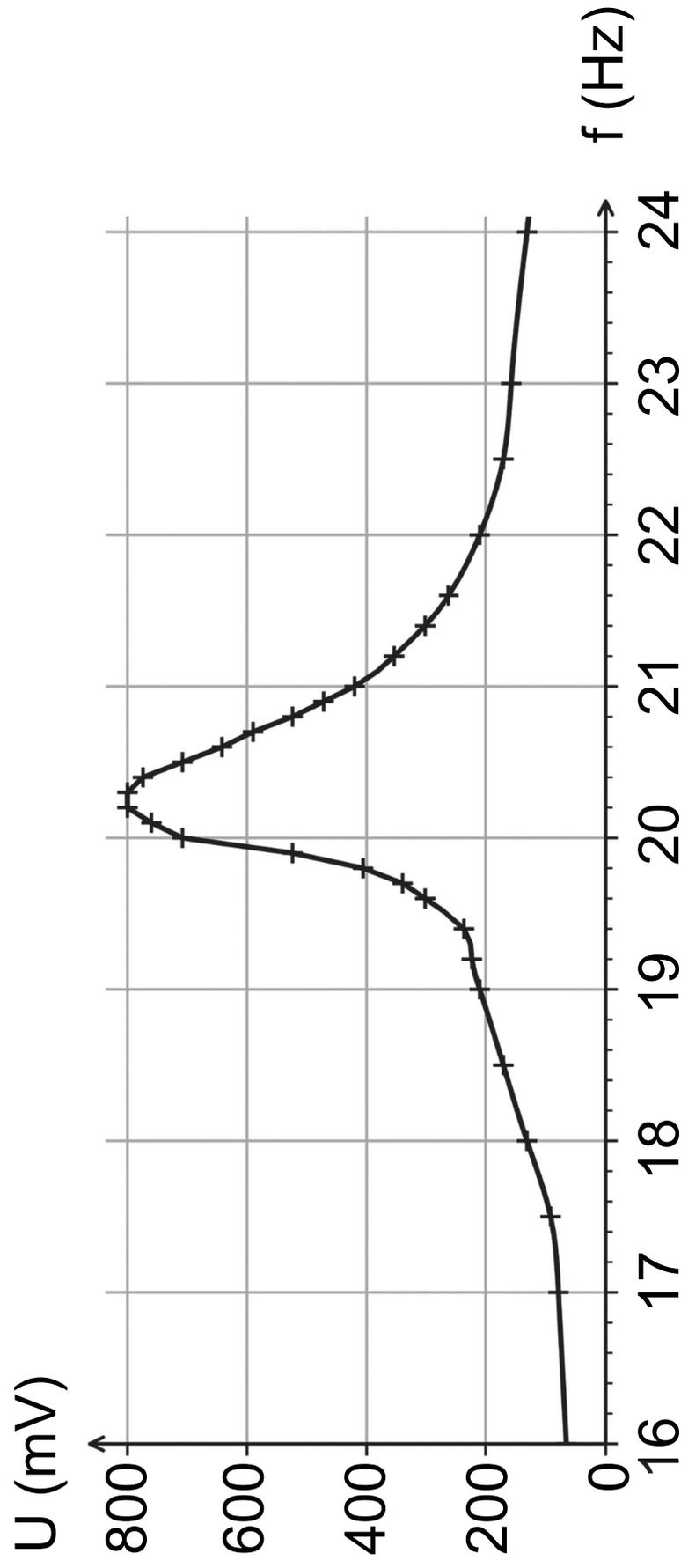
Lorsque le niveau du fluide atteint les lames, leur vibration est amortie.

*D'après [https://fr.wikiversity.org/wiki/Capteur/Capteurs\\_de\\_niveau](https://fr.wikiversity.org/wiki/Capteur/Capteurs_de_niveau)*

Pour utiliser un détecteur de niveau à lames vibrantes, il faut déterminer au préalable la fréquence de résonance des lames.

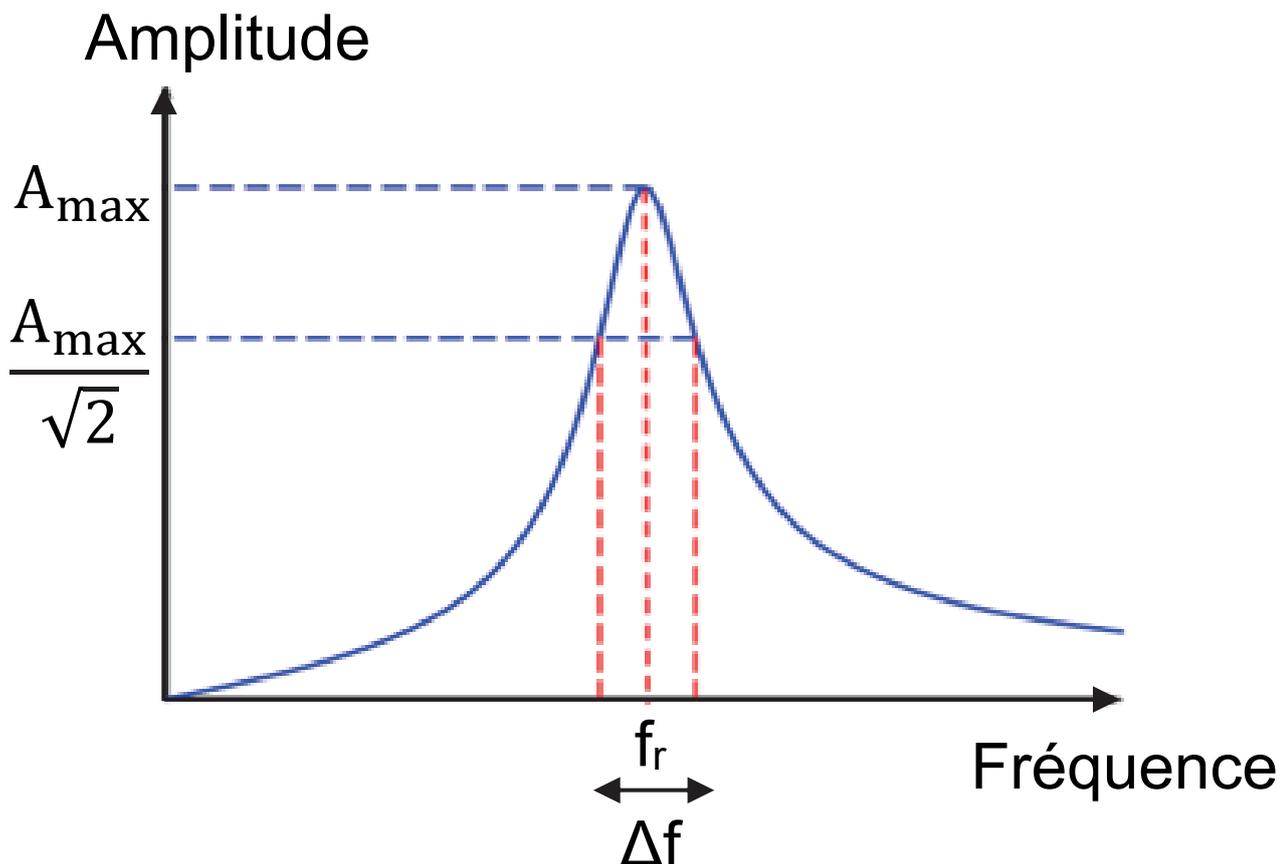
On étudie en laboratoire les vibrations d'une lame métallique en régime d'oscillations forcées afin de déterminer sa fréquence de résonance. Le dispositif permet de mesurer une tension électrique qui traduit l'amplitude des oscillations de la lame, représentée dans le document 10.

**Document 10** : tension électrique mesurée en fonction de la fréquence d'oscillation de la lame



**D.1.** À l'aide du document 10, déterminer la valeur de la fréquence de résonance  $f_r$  de la lame étudiée.

**Document 11** : facteur de qualité d'une résonance



Le facteur de qualité est un nombre sans dimension qui caractérise la résonance d'un oscillateur.

Il est défini par :  $Q = \frac{f_r}{\Delta f}$  avec :

- $Q$  le facteur de qualité (sans unité) ;
- $f_r$  la fréquence de résonance (en Hz) ;
- $\Delta f$  l'intervalle de fréquences entre lesquelles l'amplitude est supérieure à  $\frac{A_{\max}}{\sqrt{2}}$ ,  $A_{\max}$  étant l'amplitude à la résonance.

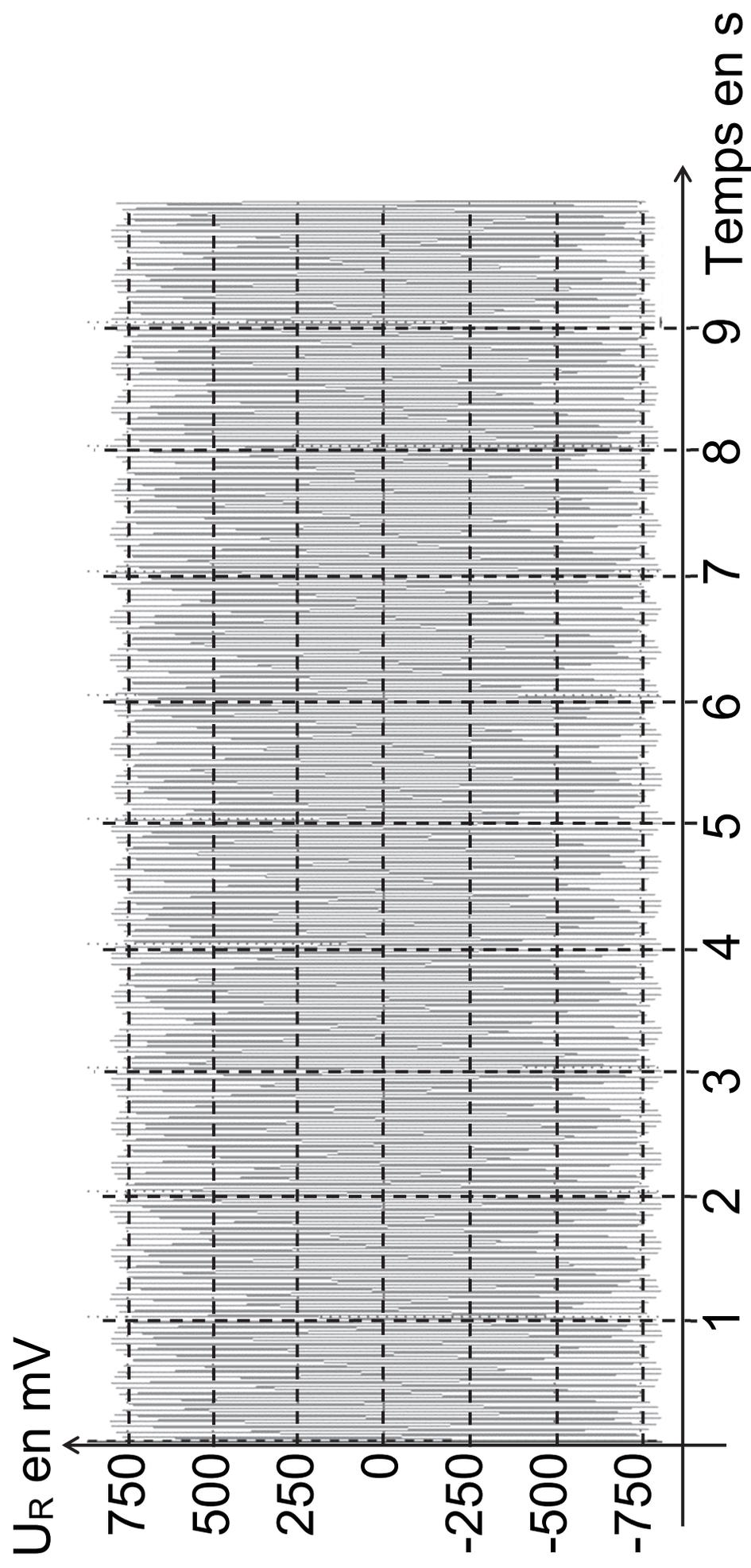
**D.2.** Déterminer la valeur du facteur de qualité  $Q$  de la résonance de la lame étudiée.

## **Document 12 : Vibrations de la lame au cours du temps.**

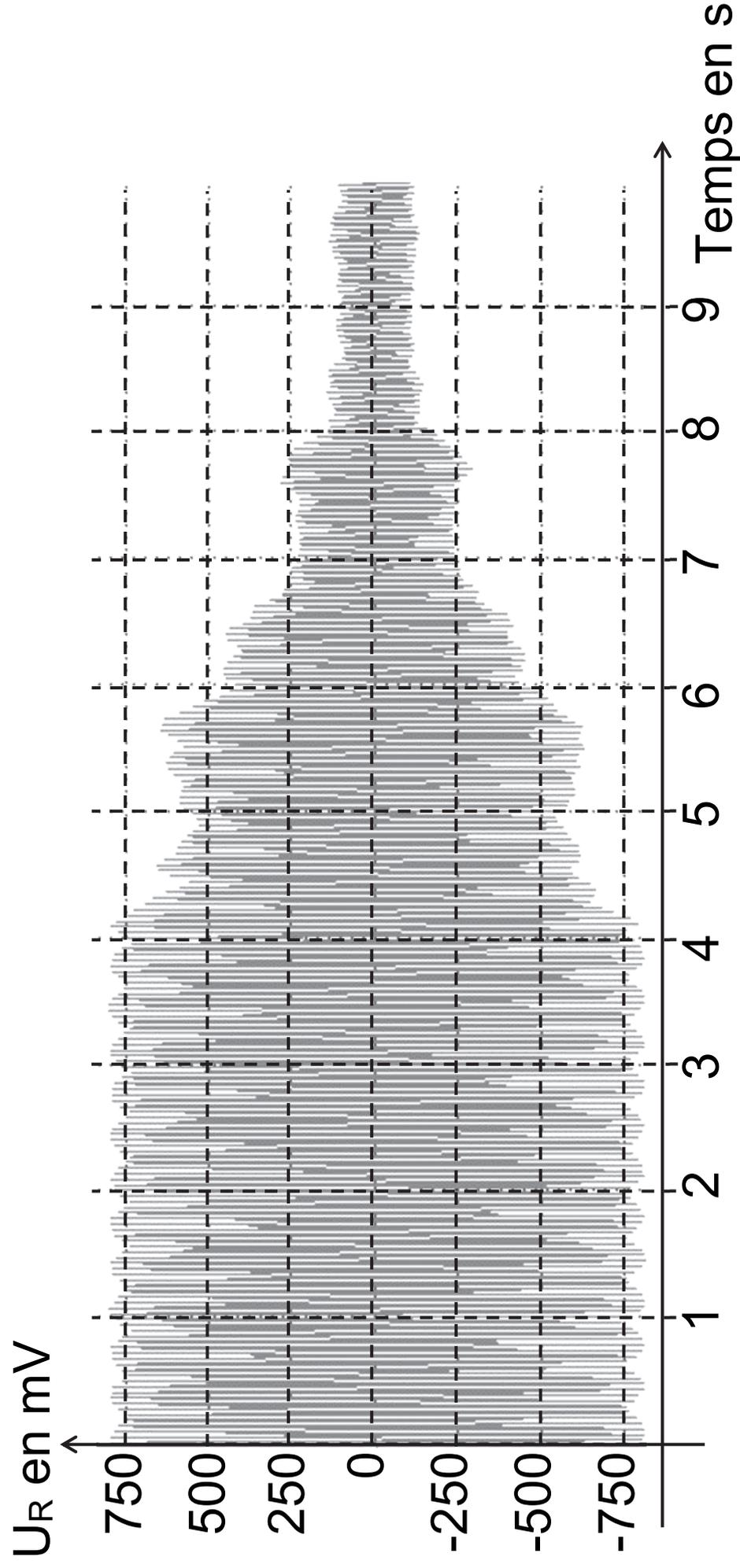
Les deux enregistrements pages agrandies suivantes ont été réalisés à la fréquence de résonance de la lame.

La tension mesurée  $U_R$  traduit le mouvement d'oscillation de la lame au cours du temps.

– **Enregistrement n°1** : lame qui n'est pas en contact avec le fluide



– Enregistrement n°2 : lame qui entre en contact avec le fluide



Lorsque la lame vibrante entre en contact avec le fluide, ses oscillations sont amorties.

**D.3.** Indiquer comment cet amortissement s'observe sur l'enregistrement n°2 du document 12.

**D.4.** Préciser comment évolue la valeur du facteur de qualité  $Q$  lors du contact de la lame avec le fluide.

## **Capteur de masse contrôlé par un microcontrôleur**

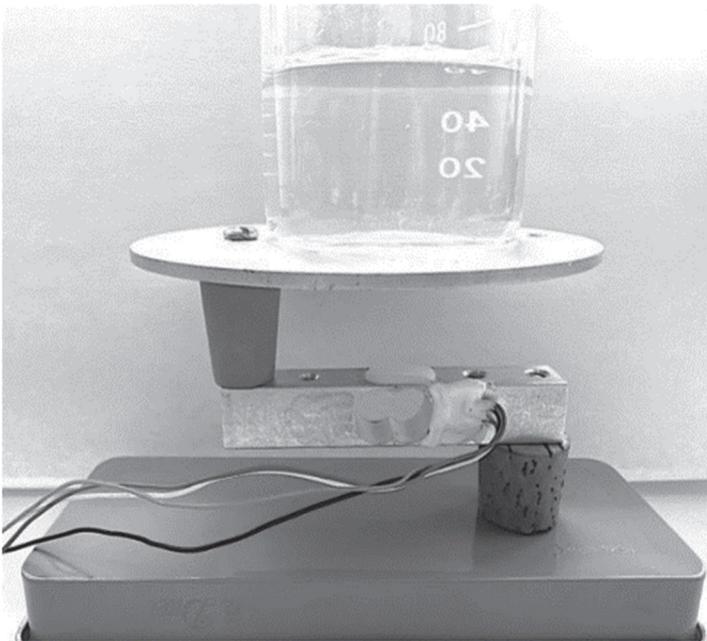
Pour contrôler le non-débordement du moule, un capteur de masse est placé sous celui-ci.

Lorsque la masse de savon dépasse une valeur limite, une DEL (diode électroluminescente) rouge reliée au microcontrôleur s'allume.

Le montage expérimental est décrit dans le document 13.

# Document 13 : capteur de masse avec module HX711

## Photo du dispositif

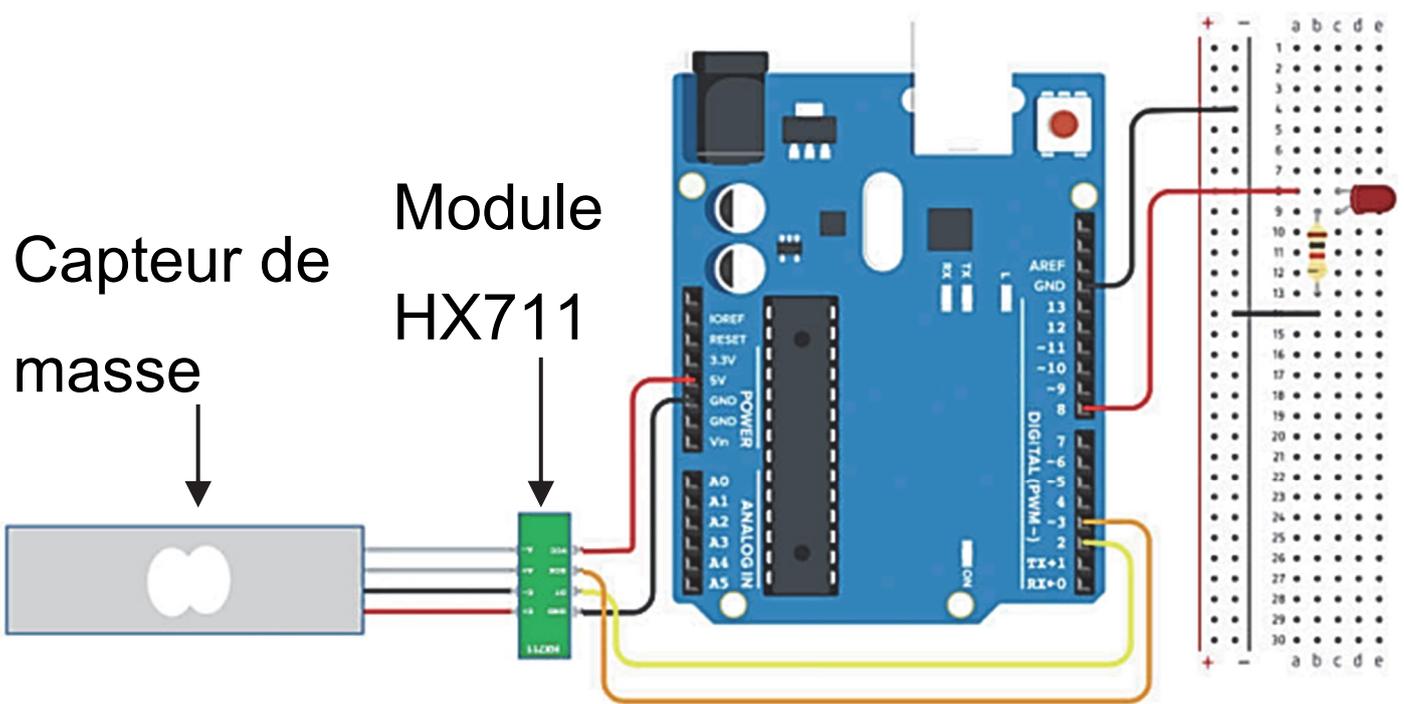


Le capteur est relié à un module (module HX711) qui permet de convertir et d'amplifier les signaux analogiques du capteur de masse en un signal numérique transféré au microcontrôleur.

La partie principale du module est un convertisseur analogique-numérique (CAN) 24 bits.

Certaines caractéristiques du module HX711 données par le fournisseur sont les suivantes :

- plage de conversion :  $[-40 \text{ mV}, +40 \text{ mV}]$  ;
- résolution de conversion A/D : 24 bits.



Le quantum d'un CAN s'exprime par la relation :

$$q = \frac{\Delta U}{2^N - 1}$$

avec : N le nombre de bits ;

$\Delta U$  la plage de conversion ;

q le quantum.

**D.5.** Calculer la valeur du quantum du CAN utilisé dans le capteur du document 13.

Un programme permettant d'allumer la DEL est téléversé dans le microcontrôleur.

Un extrait de ce programme est donné pages agrandies suivantes dans le document 14.

## Document 14 : extrait du programme téléversé dans le microcontrôleur

```
1 [...]
2 void loop() {
3     // Fonction loop() appelée en boucle
4     // tant que le microcontrôleur est
5     // alimenté.
6     masse = balance.get_units(10); // Cette fonction renvoie la valeur
7     // moyenne de 10 mesures effectuées
8     // par le capteur // et l'affecte à
9     // la valeur de la masse.
10    Serial.print(masse);
11    Serial.println(" g");
12    if (.....) { // À compléter
13        digitalWrite(8, HIGH); // Broche 8 alimentée.
14    } else {
15        digitalWrite(8, LOW); // Broche 8 non alimentée.
```

```
16 | }  
17 | delay(1000);  
18 | }  
19 |
```

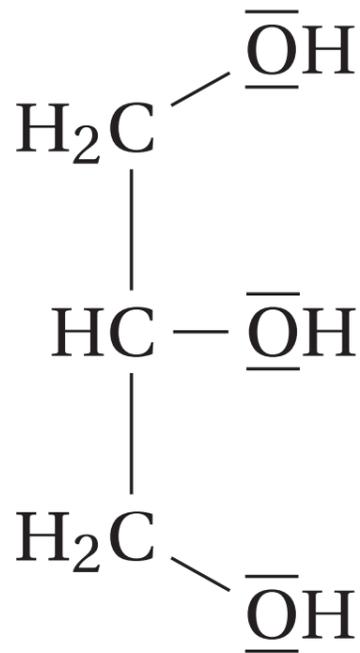
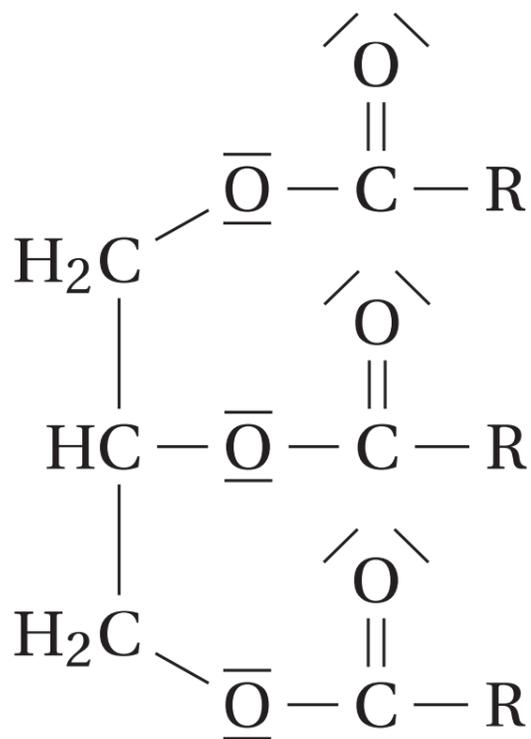
**D.6.** À l'aide des documents 13 et 14, indiquer quelle ligne du programme permet d'allumer la DEL.

**D.7.** Sur la copie, réécrire la ligne 12 du programme du document 14 en la complétant pour que la DEL s'allume à partir d'une masse d'une valeur de 200 g.

Question A.1.

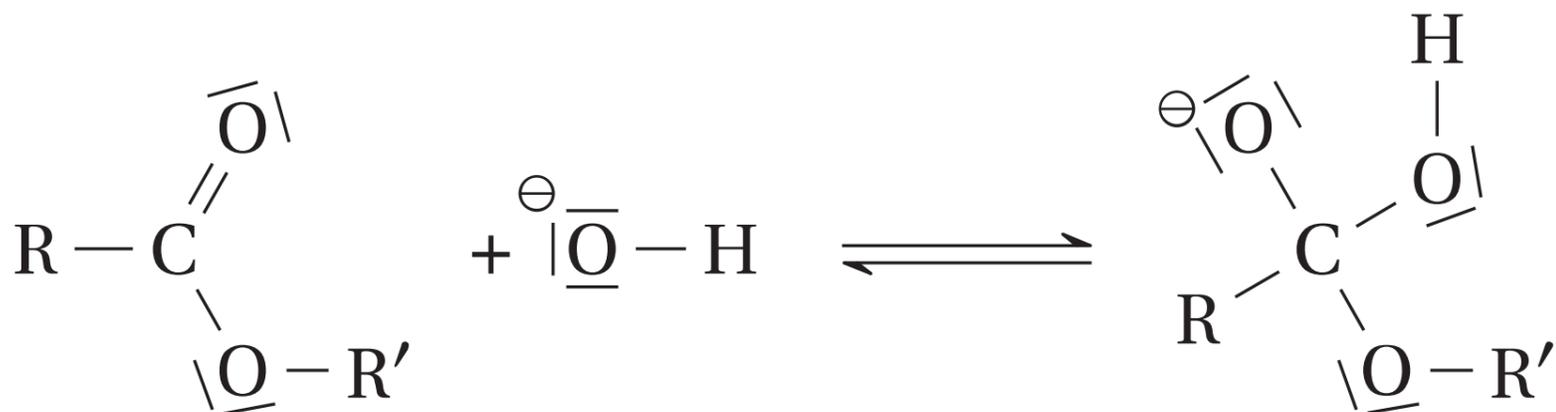
Triester

Glycérol



Question A.3. Mécanisme réactionnel de la saponification

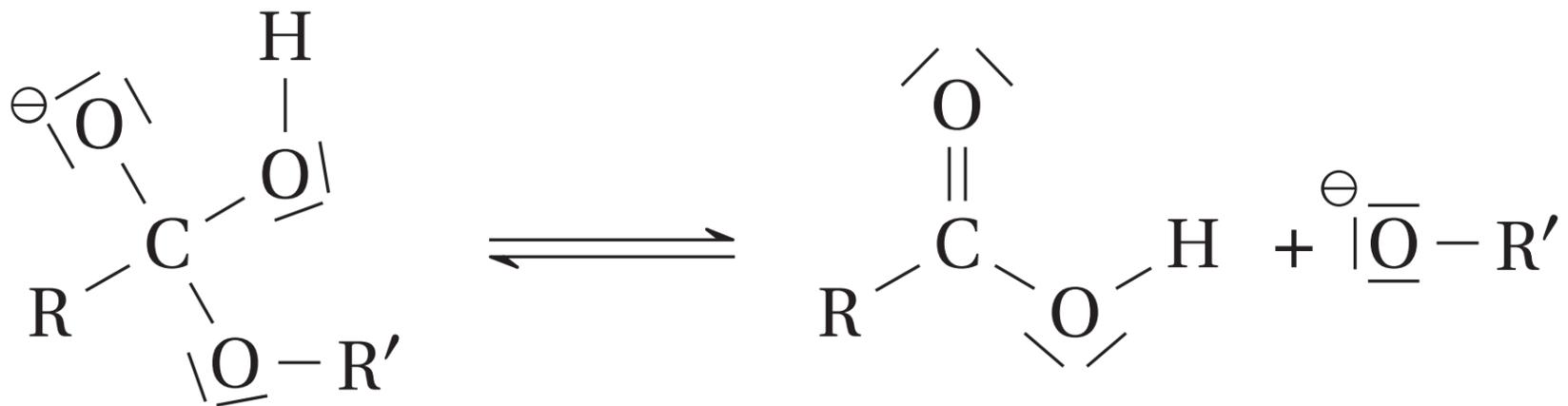
– Étape n°1 :



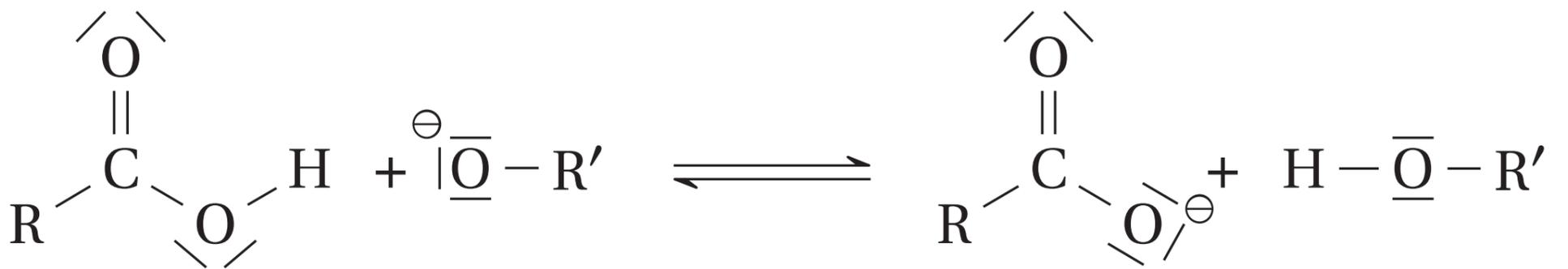


# DOCUMENT-RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE

– Étape n°2 :



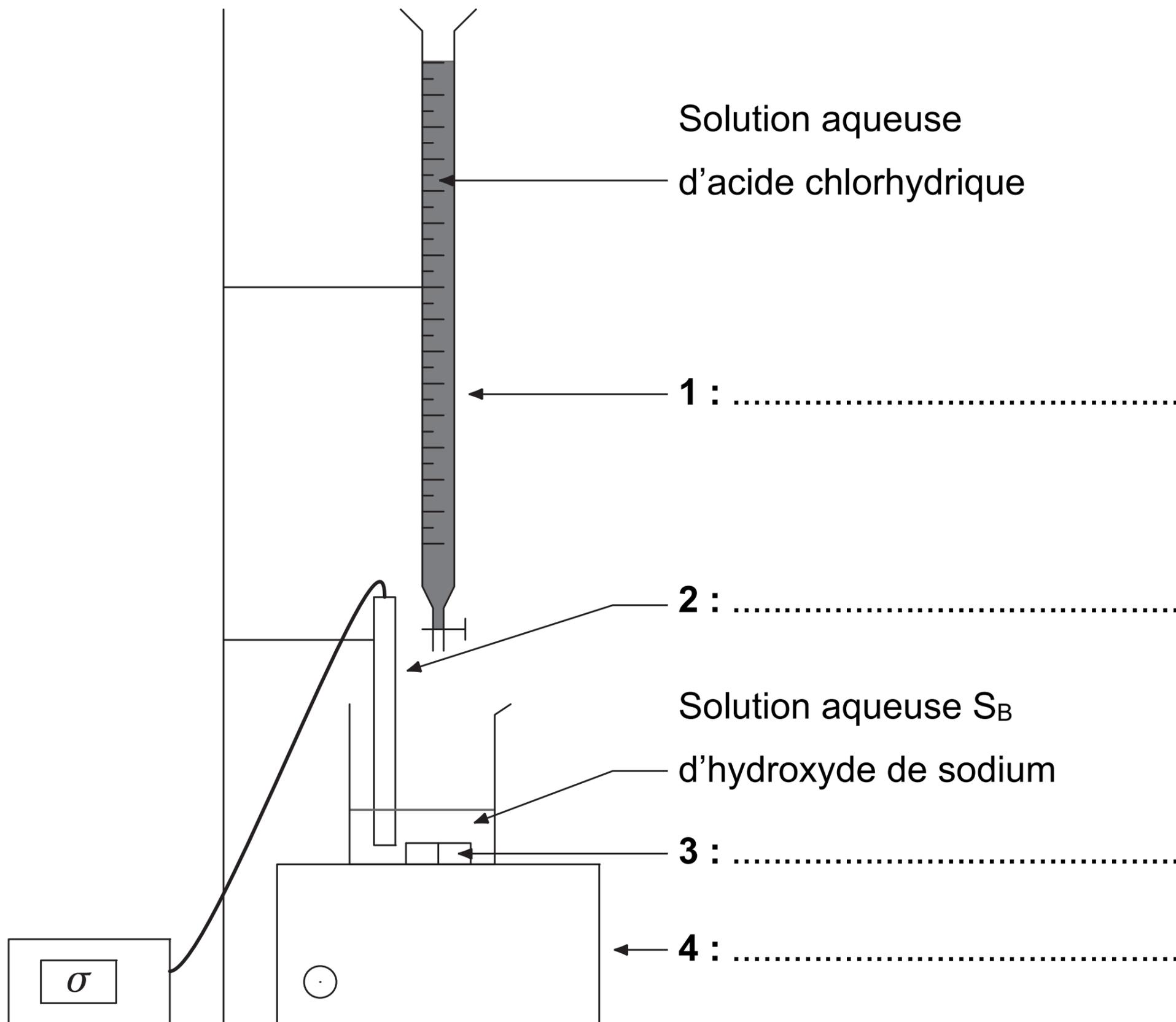
– Étape n°3 :





# DOCUMENT-RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE

## Question B.5. Schéma du dispositif de titrage conductimétrique





Questions B.7 et B.8.

Courbe de titrage conductimétrique de la solution aqueuse  $S_B$  d'hydroxyde de sodium diluée

