

SESSION FEVRIER 2018

PHYSIQUE – CHIMIE

Série S

DUREE DE L'EPREUVE : 3h 30 – COEFFICIENT : 6

L'épreuve comporte 3 exercices

L'USAGE DE LA CALCULATRICE EST AUTORISÉ

1. **PARTICULARITÉ DES ONDES (10 pts)**
2. **LES OCÉANS (5 pts)**
3. **UN VIN PÉTILLANT (5 pts)**

Ce sujet comporte 10 pages.

EXERCICE I – PARTICULARITÉ DES ONDES (10 pts)

Les deux parties A et B sont indépendantes.

Partie A : EFFET DOPPLER

Christian Doppler, savant autrichien, propose en 1842 une explication de la modification de la fréquence du son perçu par un observateur immobile lorsque la source sonore est en mouvement.

On se propose de présenter ici l'effet Doppler puis de l'illustrer au travers d'une application.

1. Mouvement relatif d'une source sonore et d'un détecteur

Nous nous intéressons dans un premier temps au changement de fréquence associé au mouvement relatif d'une source sonore S et d'un détecteur placé au point M (figure 1). Le référentiel d'étude est le référentiel terrestre dans lequel le détecteur est immobile. Une source S émet des « bips » sonores à intervalles de temps réguliers dont la période d'émission est notée T_0 . Le signal sonore se propage à la célérité v_{son} par rapport au référentiel terrestre.

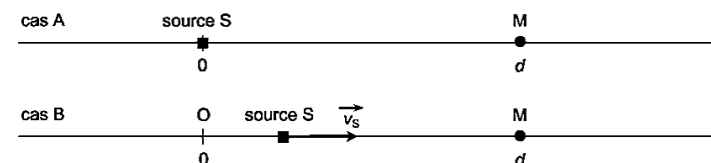


Figure 1. Schéma représentant une source sonore immobile (cas A), puis en mouvement (cas B).

1.1. Cas A : la source S est immobile en $x = 0$ et le détecteur M, situé à la distance d , perçoit chaque bip sonore avec un retard lié à la durée de propagation du signal.

1.1.1. Définir par une phrase, en utilisant l'expression « bips sonores », la fréquence f_0 de ce signal périodique.

1.1.2. Comparer la période temporelle T des bips sonores perçus par le détecteur à la période d'émission T_0 .

1.2. Cas B : la source S, initialement en $x = 0$, se déplace à une vitesse constante v_s suivant l'axe Ox en direction du détecteur immobile. La vitesse v_s est inférieure à la célérité v_{son} . On suppose que la source reste à gauche du détecteur.

Le détecteur perçoit alors les différents bips séparés d'une durée : $T' = T_0 \left(1 - \frac{v_s}{v_{son}} \right)$

Indiquer si la fréquence f' des bips perçus par le détecteur est inférieure ou supérieure à la fréquence f_0 avec laquelle les bips sont émis par la source S. Justifier.

2. Détermination de la vitesse d'un hélicoptère par effet Doppler

On s'intéresse à un son émis par un hélicoptère et perçu par un observateur immobile. La valeur de la fréquence de l'onde sonore émise par l'hélicoptère est $f_0 = 8,1 \times 10^2$ Hz.

On se place dans le référentiel terrestre pour toute la suite de cette partie.

Les portions de cercles des figures 2 et 3 page suivante donnent les maxima d'amplitude de l'onde sonore à un instant donné. Le point A schématise l'hélicoptère. Dans le cas de la figure 2, l'hélicoptère est immobile. Dans le cas de la figure 3, il se déplace à vitesse constante le long de l'axe et vers l'observateur placé au point O. La célérité du son dans l'air est indépendante de sa fréquence.

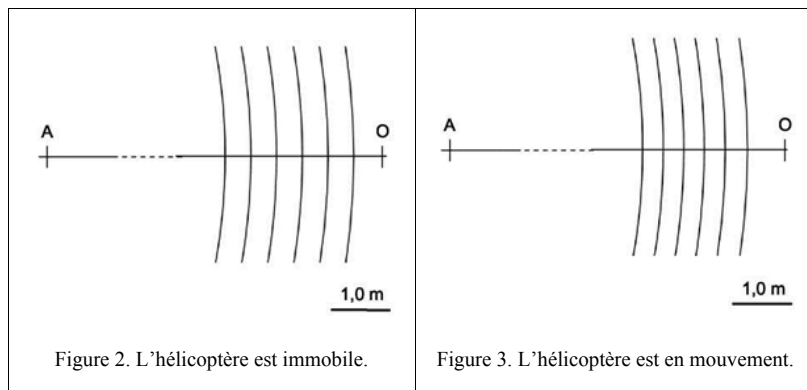


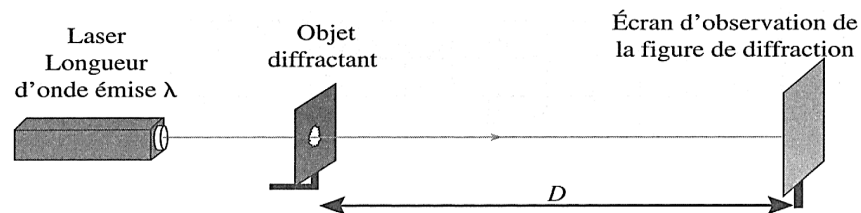
Figure 2. L'hélicoptère est immobile.

Figure 3. L'hélicoptère est en mouvement.

- 2.1. Déterminer, avec un maximum de précision, la longueur d'onde λ_0 de l'onde sonore perçue par l'observateur lorsque l'hélicoptère est immobile, puis la longueur d'onde λ' lorsque l'hélicoptère est en mouvement rectiligne uniforme.
- 2.2. En déduire une estimation de la valeur de la célérité de l'onde sonore.
Commenter la valeur obtenue.
- 2.3. Déterminer la fréquence du son perçue par l'observateur lorsque l'hélicoptère est en mouvement.
Cette valeur est-elle en accord avec le résultat de la question 1.2. ?
Comment la perception du son est-elle modifiée ?
- 2.4. En déduire la valeur de la vitesse de l'hélicoptère. Cette valeur vous paraît-elle réaliste.

Partie B : DIFFRACTION DE LA LUMIÈRE

On étudie la diffraction de la lumière laser par différents objets diffractants. Lors d'une séance de TP, on réalise des expériences en faisant varier les paramètres qui influent sur la forme et la dimension de la figure de diffraction. Le dispositif général est le suivant :



Les résultats des mesures, figurent dans les documents en fin d'exercice.

1. Définir, dans un cas général, le phénomène de diffraction et préciser, dans le cas des ondes mécaniques, les conditions expérimentales qui permettent d'observer ce phénomène.

2. Etude de la diffraction par la fente rectangulaire

L'ouverture angulaire de la tache centrale vue depuis la fente est notée 2θ .

- 2.a. Faire un schéma définissant θ . À l'aide du schéma, établir une relation entre θ , d et D .
- 2.b. Quelle relation y a-t-il entre θ , λ la longueur d'onde du laser et a la largeur de la fente ?
- 2.c. En supposant que l'angle θ est suffisamment petit pour faire l'approximation $\tan \theta = \theta$ (lorsque l'angle θ est exprimé en radian), établir une relation donnant d en fonction de D , λ et a .
- 2.d. A l'aide des unités des différentes grandeurs, vérifier l'homogénéité de cette relation.

3. Etude de la diffraction par le trou circulaire

La loi associée à la figure de diffraction du trou circulaire a pour expression :

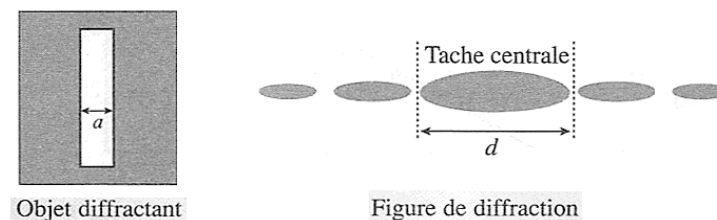
$$d' = 2.\alpha.\frac{\lambda.D}{b}$$

où α est un coefficient numérique sans dimension.

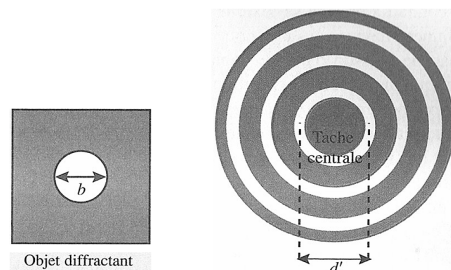
Pour les mesures du document 2, on a utilisé un laser de longueur d'onde $\lambda = 500 \pm 10 \text{ nm}$ et on a placé l'écran à une distance $D = 1,50 \pm 0,02 \text{ m}$ du trou.

- 3.a. À l'aide de la courbe document 2, déterminer une valeur aussi précise que possible de α (sans se soucier de l'expression des incertitudes dans ce premier temps).
- 3.b. Utiliser les documents 2 et 3 pour déterminer l'expression puis la valeur (en %) de l'incertitude relative sur α . Proposer alors un encadrement de la valeur de α .

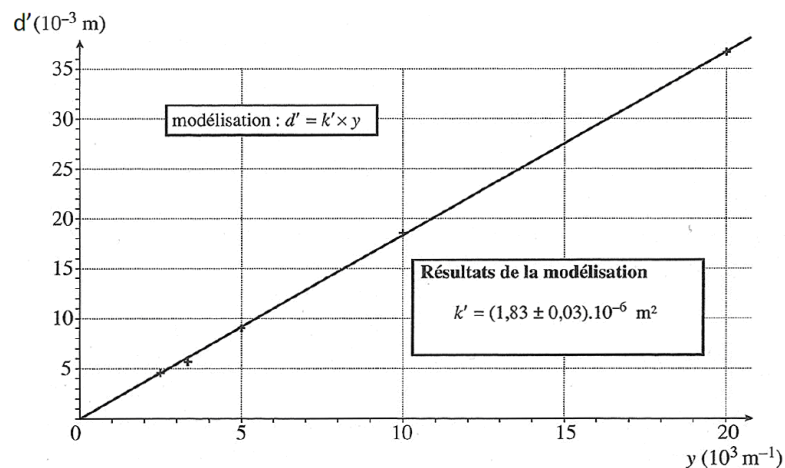
Document 1 : Mesure avec une fente rectangulaire



Document 2 : Mesure avec un trou circulaire



La figure de diffraction est formée d'une alternance de cercles brillants et sombres. On mesure la largeur de la tache centrale d' pour un lot de trous de différents diamètres b en fixant la distance fente-écran D à 1,5 m et on obtient la courbe et sa modélisation ci-dessous.



Diffraction par un trou circulaire ;
largeur d' de la tache centrale en fonction de y l'inverse du diamètre du trou ($y = 1/b$).

Document 3 : Formule d'incertitude

L'incertitude relative sur la grandeur calculée α est liée aux incertitudes de toutes les grandeurs intervenant dans son calcul.

On considérera ici qu'on a la relation :
$$\left(\frac{\Delta\alpha}{\alpha}\right)^2 = \left(\frac{\Delta k'}{k'}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2$$

EXERCICE 2 – LES OCÉANS

Moules et huîtres menacées par l'acidification des océans

Depuis le début de l'ère industrielle, les émissions anthropiques (1) de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère ont fortement augmenté ...

Frédéric Gazeau, chercheur à l'Institut Néerlandais d'Écologie, et ses collègues dont Jean-pierre Gattuso, directeur de recherche au laboratoire d'Océanographie de Villefranche-sur-mer (CNRS/Université Pierre et Marie Curie) ont examiné la réponse des huîtres et des moules cultivées en Europe à l'acidification des océans.

Les résultats, publiés dans la revue Geophysical Research Letters, sont sans appel : ils montrent pour la première fois que ces mollusques seront directement affectés par le bouleversement en cours de la composition chimique de l'eau de mer. Au-delà de leur intérêt commercial, les moules et les huîtres rendent des services écologiques très importants : elles créent par exemple des habitats permettant l'installation d'autres espèces, contrôlent en grande partie les flux de matière et d'énergie et sont d'importantes proies pour les oiseaux au sein des écosystèmes qui les abritent. Un déclin de ces espèces aurait donc des conséquences graves sur la biodiversité des écosystèmes côtiers et sur les services qu'elles rendent aux populations humaines.

Note (1) : anthropique : lié aux activités humaines.

d'après <http://www2.cnrs.fr/>

Dans cet exercice on s'intéresse au processus dit « acidification de l'océan » et à ses conséquences sur les organismes calcificateurs comme les coraux et les mollusques qui fabriquent un squelette ou une coquille calcaire. **Les deux parties sont indépendantes les unes des autres.**

1. Acidification des océans

Les documents utiles à la résolution de cette partie sont donnés en fin de l'exercice.

1.1. Que peut-on déduire des courbes du document 1 ?

1.2. Aujourd'hui, les océans ont un pH voisin de 8,1 soit 0,1 unité plus faible qu'au moment de la révolution industrielle.

1.2.1. À partir des documents 2 et 3, montrer qu'une augmentation de la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère conduit à une diminution du pH dans l'eau.

1.2.2. Montrer qu'une diminution de 0,1 unité pH au voisinage de 8,1 représente une augmentation de la concentration en ions oxonium $[\text{H}_3\text{O}^+]$ d'environ 30%.

2. Le carbone dans les océans

Le carbone est principalement présent dans les océans sous trois formes qui coexistent : l'ion carbonate $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$, l'ion hydrogencarbonate $\text{HCO}_3^-(\text{aq})$ et l'acide carbonique $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$. Ce dernier étant instable en solution aqueuse, s'écrit $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$.

On note K_a la constante d'acidité associée au couple acide / base noté HA / A^- .

On peut montrer que $\text{pH} = \text{pK}_a + \log\left(\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}\right)$.

On nomme K_{a1} la constante d'acidité du couple $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} / \text{HCO}_3^-$ et K_{a2} la constante d'acidité du couple $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-}$.

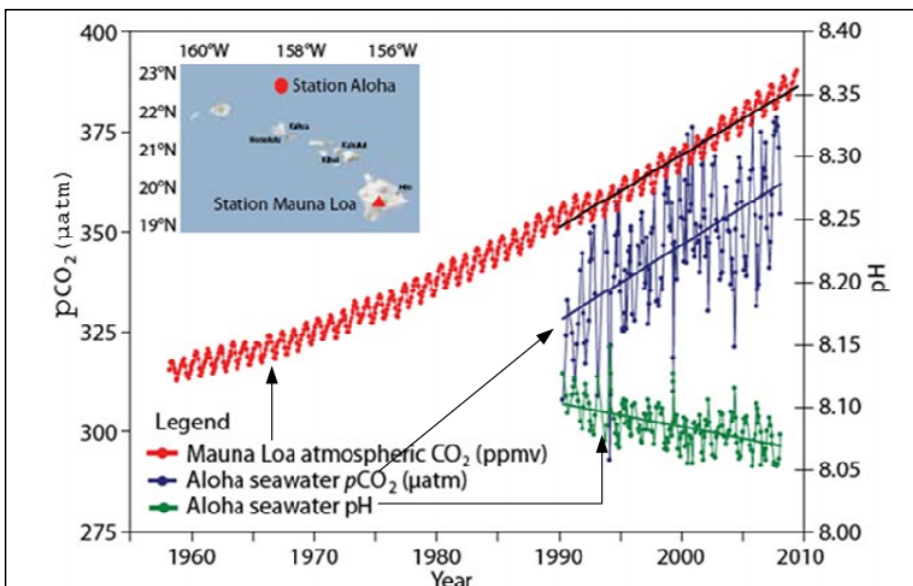
On pose $C_T = [\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$.

Le diagramme du **document 4** représente les variations en fonction du pH des rapports

$$\alpha_1 = \frac{[\text{CO}_2]}{C_T}, \quad \alpha_2 = \frac{[\text{HCO}_3^-]}{C_T}, \quad \alpha_3 = \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{C_T}.$$

- 2.1. Dédurre de ce diagramme les valeurs de pK_{a1} et pK_{a2} . Expliquer.
- 2.2. Placer sur un diagramme les domaines de prédominance des espèces $\text{CO}_2(\text{aq})$, $\text{HCO}_3^-(\text{aq})$ et $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$.
- 2.3. Évaluer α_1 , α_2 et α_3 dans les océans.
- 2.4. La variation de pH observée a-t-elle modifié de manière notable la valeur de α_2 ?
- 2.5. Quelle est la conséquence de l'augmentation du dioxyde de carbone dissous pour les organismes marins qui ont une coquille à base de carbonate de calcium ? Justifier à l'aide d'un des documents.

Document 1 – Évolution depuis 1958 de la composition en CO_2 dans l'atmosphère à Mauna Loa (Hawaï), de la pression de CO_2 dans l'océan, du pH de l'océan.



La courbe représentant la concentration en dioxyde de carbone dans l'atmosphère exprimée en ppmv (partie par million par volume) n'est qu'une indication de l'évolution de cette concentration sans souci d'échelle.

Afin de comparer le contenu en CO_2 de l'atmosphère et de l'eau de mer, on définit la pression de CO_2 dans l'océan : $p\text{CO}_2 = \frac{[\text{CO}_2]}{\beta}$ où β est le coefficient de solubilité du CO_2 .

Document 2 – Loi de Henry

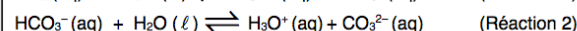
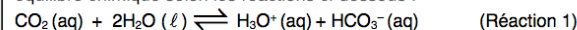
La dissolution d'un gaz dans l'eau obéit à la loi de Henry selon laquelle à température constante, la concentration C du gaz dissous est proportionnelle à la pression partielle p qu'exerce ce gaz au-dessus du liquide.

À chaque instant un pourcentage constant des molécules du gaz dissous dans la phase liquide repasse à l'état gazeux et s'échappe du liquide mais dans le même temps le même pourcentage des molécules de ce gaz passe en solution. Lorsque les deux flux se compensent, l'équilibre de saturation est atteint, soit pour le dioxyde de carbone :

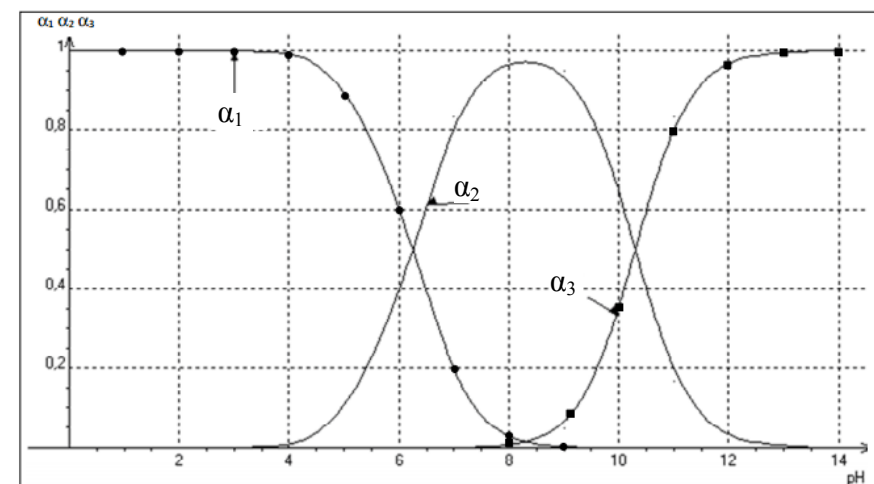


Document 3 - Réactions d'équilibre des espèces carbonées

Dans les eaux de surface de l'océan, le carbone se présente sous trois formes minérales dissoutes en équilibre chimique selon les réactions ci-dessous :

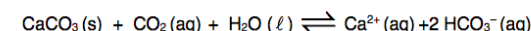


Document 4 - Variation en fonction du pH des rapports α_1 , α_2 et α_3 .



Document 5 - Réaction dedissolution du carbonate de calcium.

En présence d'un excès de dioxyde de carbone, le carbonate de calcium $\text{CaCO}_3(\text{s})$ se dissout selon l'équation :



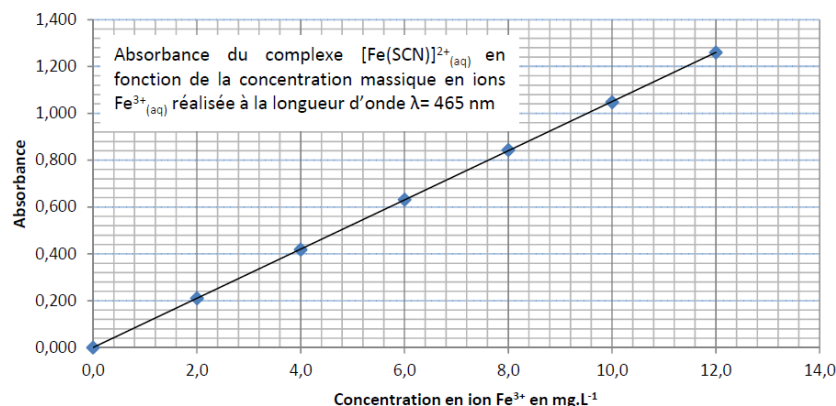
EXERCICE 3 - UN VIN PÉTILLANT

Un vin blanc pétillant, en fin d'élaboration, est étudié dans un laboratoire afin de subir des contrôles de qualité. On se propose dans cet exercice de contrôler la teneur en fer dans ce vin, ainsi que l'acidité totale qui en sont deux critères de qualité : l'un pour la prévention de la formation d'un précipité rendant le vin trouble (casse ferrique) et l'autre pour prévoir les traitements à faire pendant la vinification.

Données :

- Les ions $\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$ en solution aqueuse ont une couleur vert pâle.
- Les ions $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}$ en solution aqueuse ont une couleur orangée pâle.
- Les ions $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}$ peuvent réagir avec les ions thiocyanate $\text{SCN}^{-}_{(\text{aq})}$ (incolore en solution aqueuse) selon une réaction rapide et totale conduisant à la formation d'un complexe coloré de couleur rouge sang :

$$\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})} + \text{SCN}^{-}_{(\text{aq})} \rightarrow [\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}_{(\text{aq})}$$
- Masse molaire de l'acide tartrique AH_2 : $M = 150 \text{ g.mol}^{-1}$
- Au-delà d'une concentration massique de 10 mg.L^{-1} en élément fer, la casse ferrique est probable et rend le vin trouble et donc peu attrayant.
- Un vin de table est propre à la consommation si son acidité totale ne dépasse pas $9,0 \text{ g.L}^{-1}$ d'acide tartrique équivalent.
- pK_a des couples : $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O} / \text{HCO}_3^{-}_{(\text{aq})}$ $pK_{a1} = 6,4$ et $\text{HCO}_3^{-}_{(\text{aq})} / \text{CO}_3^{2-}_{(\text{aq})}$ $pK_{a2} = 10,3$
- Courbe d'étalonnage :



- Incertitude sur la mesure d'un volume :
Lors de la mesure d'un volume à l'aide de la verrerie du laboratoire, il est possible d'évaluer l'incertitude Δ_V sur cette mesure avec un intervalle de confiance de 95 %.
Pour cela, on utilise la relation : $\Delta_V = 2 u_V$ où la valeur de u_V dépend du matériel utilisé.

Utilisation d'une pipette jaugée ou d'une fiole jaugée	$u_V = 0,75 a$ où a est la valeur de l'incertitude d'étalonnage donnée par le constructeur
Utilisation d'une burette graduée ou d'une pipette graduée	$u_V = 0,5 g$ où g est la valeur de la graduation de l'instrument utilisé

1. Détermination de la teneur en fer du vin

Afin de déterminer la concentration totale en ions $\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$ et $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}$ dans ce vin blanc, on oxyde les ions $\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$ en ions $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}$ à l'aide d'eau oxygénée H_2O_2 , puis on dose la totalité des ions $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}$ par spectrophotométrie après les avoir fait réagir totalement avec une solution aqueuse de thiocyanate de potassium. La mesure de l'absorbance de la solution obtenue pour une longueur d'onde $\lambda = 465 \text{ nm}$ vaut $A = 0,760$.

- Quelle opération est-il nécessaire de réaliser avant de mesurer l'absorbance de l'échantillon ?
- Pourquoi est-il nécessaire de faire réagir les ions $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}$ avec les ions thiocyanate avant de réaliser le dosage spectrophotométrique ?
- En utilisant les données et les résultats de cette analyse, indiquer si le phénomène de casse ferrique peut se produire pour ce vin blanc. Expliciter votre démarche.

2. Détermination de l'acidité totale du vin

Dans la réglementation européenne, l'acidité totale correspond à la masse équivalente d'acide tartrique par litre ; c'est à dire la masse d'acide tartrique qui nécessiterait la même quantité de base pour ramener son pH à 7. Pour déterminer l'acidité totale, on mesure le volume de solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^{+}_{(\text{aq})} + \text{HO}^{-}_{(\text{aq})}$) qu'il faut ajouter à un volume V de vin, préalablement décarboniqué, pour ramener son pH à 7.

Après avoir décarboniqué le vin (élimination du dioxyde de carbone), on titre un volume $V = 10,0 \text{ mL}$ de vin par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration molaire $C_B = 4,20 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ en présence de quelques gouttes de bleu de bromothymol.

L'équivalence est repérée pour un volume versé $V_E = 15,5 \text{ mL}$.

- Faire un schéma annoté du montage à réaliser pour effectuer le titrage et préciser la verrerie à utiliser pour prélever le volume V de vin.
- Estimer l'incertitude sur la mesure de Δ_{VE} sachant que la verrerie contenant la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium est graduée tous les $0,1 \text{ mL}$.
- Justifier la nécessité de l'opération préalable de décarbonication pour déterminer l'acidité totale du vin.
- Dans l'hypothèse où l'acidité du vin est due au seul acide tartrique noté $\text{H}_2\text{A}_{(\text{aq})}$, l'équation de la réaction support de titrage s'écrit : $\text{H}_2\text{A}_{(\text{aq})} + 2 \text{HO}^{-}_{(\text{aq})} \rightarrow \text{A}^{2-}_{(\text{aq})} + 2 \text{H}_2\text{O}$

Montrer que la concentration massique C_m en acide tartrique équivalent dans le vin est donnée par

$$\text{la relation : } C_m = \frac{C_B \cdot V_E \cdot M}{2V} \text{ où } M \text{ désigne la masse molaire de l'acide tartrique.}$$

- Ce vin est-il propre à la consommation ?