

L'épreuve a été conçue pour être traitée sans calculatrice.

L'usage des calculatrices est rigoureusement interdit.

TOUT DOCUMENT INTERDIT.

Les résultats numériques doivent être précédés d'un **calcul littéral**.

La présentation et la rédaction font partie du sujet et interviennent dans la notation.

L'épreuve est **notée sur 16 points** auxquels s'ajouteront les points d'épreuve pratique sur 4 points.

I] EXERCICE 1 : sur 6,5 points.

A M M O N I A C

Données.

- Produit ionique de l'eau, pour la température des solutions qui est de 25,0°C : $K_e = 1,0 \cdot 10^{-14}$.
- pK_A des couples acide / base utilisés :
 - $H_3O^+_{(aq)} / H_2O_{(liq)} : pK_{A1} = 0.$
 - $NH_4^+_{(aq)} / NH_3_{(aq)} : pK_{A2} = 9,2.$
 - $H_2O_{(liq)} / HO^-_{(aq)} : pK_{A3} = 14.$
- Valeurs des conductivités molaires ioniques :
 - $\lambda(HO^-_{(aq)}) = 199 \cdot 10^{-4} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}.$
 - $\lambda(NH_4^+_{(aq)}) = 73,4 \cdot 10^{-4} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}.$

Une solution commerciale S_0 d'ammoniac $NH_3_{(aq)}$, de concentration apportée : $C_0 = 1,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, peut être utilisée, après dilution, comme produit nettoyant (évier, lavabos, ...) ou comme produit détachant (moquette, tapis, ...).

On se propose d'étudier la solution S d'ammoniac de concentration apportée C_S : S est 100 fois plus diluée que S_0 .

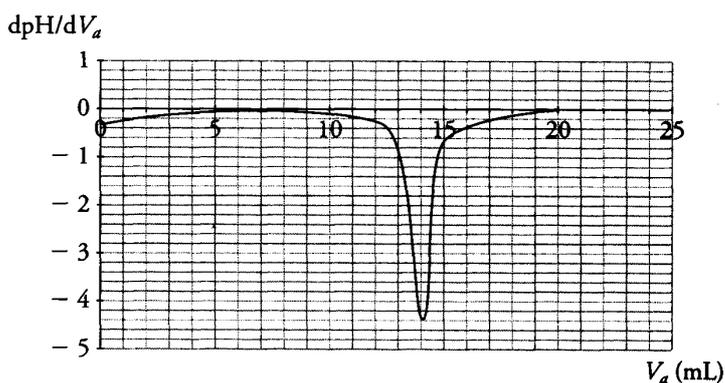
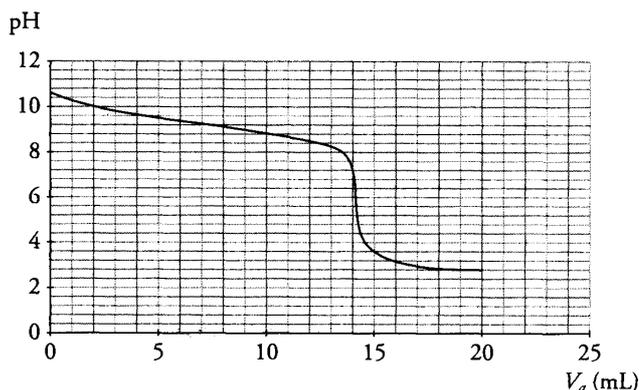
1. Dosage de la solution diluée S .

On se propose de vérifier la valeur de la concentration C_0 de S_0 par un dosage par titrage pH-métrique.

Pour cela, la solution S est dosée par une solution d'acide chlorhydrique de concentration apportée : $C_a = 0,0150 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Dans un volume $V_S = 20,0 \text{ mL}$ de la solution S , on verse progressivement la solution d'acide chlorhydrique et on mesure, après chaque ajout, le pH du mélange.

On peut alors tracer la courbe d'évolution du **pH** en fonction du volume de solution acide ajoutée V_a à l'aide d'un logiciel approprié. On trace aussi la courbe d'évolution de la dérivée $\frac{dpH}{dV_a}$ en fonction de V_a .



1.1. Faire un schéma légendé du dispositif expérimental de dosage par titrage pH-métrique.

1.2. Réaction de dosage.

Écrire l'équation chimique de la réaction support du dosage (*équation notée (1)*) de la solution d'ammoniac S .

1.3. Détermination des concentrations.

1.3.1. À partir des données expérimentales, déterminer le volume de solution acide versé à l'équivalence du dosage, V_{aE} .
Préciser la méthode employée.

1.3.2. En déduire la valeur de la concentration apportée C_S de la solution diluée S .

1.3.3. Déterminer alors la valeur de la concentration C_0 de la solution S_0 . *Comparer la valeur trouvée à la valeur C_0 donnée au début de l'énoncé en calculant un pourcentage d'écart.*

Remarque : Pour la suite de l'exercice, on utilisera la valeur de C_0 donnée au début de l'énoncé, et la valeur correspondante de C_S .

1.4. Autre repérage de l'équivalence du dosage.

Parmi les indicateurs colorés du tableau ci-dessous, déterminer celui qu'il faut ajouter à la solution pour procéder le plus efficacement possible au dosage précédent par une méthode colorimétrique. *Justifier ce choix.*

Indicateur coloré	Teinte acide	Zone de virage	Teinte basique
Bleu de bromophénol	Jaune	3,0 – 4,6	Bleu-violet
Rouge de méthyle	Rouge	4,2 – 6,2	Jaune
Rouge de crésol	Jaune	7,2 – 8,8	Rouge

2. Étude de l'équilibre dans la solution diluée S.

On considère maintenant un volume $U_S = 1,00$ L de la solution **S**.

2.1. Réaction acido-basique dans S.

2.1.1. Écrire l'équation chimique de la réaction (*équation notée (2)*) de la réaction entre l'ammoniac et l'eau.

2.1.2. À l'équation chimique précédente, on peut associer une constante d'équilibre, notée **K**, qui possède les mêmes propriétés que les constantes K_A et K_e et dont l'expression est :

$$K = \frac{[\text{NH}_4^+_{(aq)}]_{\text{éq}} \cdot [\text{HO}^-_{(aq)}]_{\text{éq}}}{[\text{NH}_3_{(aq)}]_{\text{éq}}} = \frac{K_e}{K_{A2}}$$

Calculer la valeur numérique de **K**.

2.2. Composition de S.

2.2.1. Construire le tableau d'avancement associé à la transformation modélisée par la réaction (2).

Remarques.

- À l'état initial, $[\text{NH}_3_{(aq)}]_i = C_S$ (concentration apportée de la solution **S**).
- L'avancement à l'état final d'équilibre est noté $x_{\text{éq}}$.
- Le volume U_S de la solution est supposé constant.

2.2.2. En supposant que $x_{\text{éq}}$ est négligeable par rapport au produit $C_S \cdot U_S$, donner l'expression de **K** en fonction de $x_{\text{éq}}$, C_S et U_S .

2.2.3. En déduire l'expression littérale permettant de calculer une valeur numérique de $x_{\text{éq}}$ à partir des données.

2.2.4. On trouve numériquement : $x_{\text{éq}} = 4,2 \cdot 10^{-4}$ mol. L'hypothèse émise en 2.2.2. est-elle justifiée ?

2.3 Étude conductimétrique. *On négligera l'influence des ions $\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$ sur la valeur de la conductivité.*

La valeur de la conductivité de la solution diluée **S** est : $\sigma_S = 11,2 \cdot 10^{-3} \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$.

2.3.1. En déduire l'expression littérale permettant de calculer, à partir des données, la valeur commune de la concentration (en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) des ions $\text{NH}_4^+_{(aq)}$ et $\text{HO}^-_{(aq)}$ dans la solution **S**.

2.3.2. On trouve numériquement : $[\text{HO}^-_{(aq)}]_{\text{éq}} = 0,40 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Déterminer alors la valeur du pH de la solution **S**. *Ce résultat est-il en accord avec les données expérimentales du 1. ?*

Aides aux calculs : $10^{-4,8} \cong 1,6 \cdot 10^{-5}$; $10^{4,8} \cong 6,3 \cdot 10^4$; $\log(2,5) = 0,40$.

II] EXERCICE 2 : sur 5,0 points. **EFFET DOPPLER**

Cet exercice propose d'étudier le principe de l'effet Doppler sonore. Pour simplifier cette approche, la réflexion de l'onde sur l'obstacle ne sera pas prise en compte.

A] Un véhicule muni d'une sirène est immobile.

La sirène retentit et émet un son de fréquence : $f = 680$ Hz. Le son émis à la date $t = 0$ se propage dans l'air à la célérité : $c = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ à partir de la source **S**. On note λ la longueur d'onde correspondante.

La Figure 1 représente le front d'onde à la date $t = 4 \text{ T}$ (**T** étant la période temporelle de l'onde sonore.)

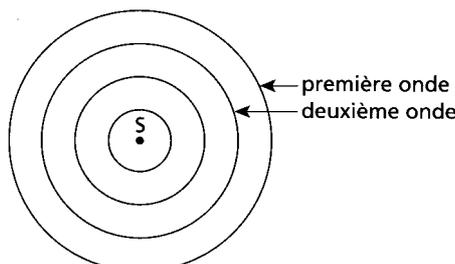


Figure 1

Répondre par vrai ou faux aux affirmations suivantes en justifiant chaque fois votre choix.

1. Une onde mécanique se propage dans un milieu matériel avec transport de matière.
2. La longueur d'onde est indépendante du milieu de propagation.

3. Un point **M** distant du point **S** d'une longueur égale à 51 m reproduit le mouvement de la source **S** avec un retard : $\tau = 1,5$ s.
4. Le front d'onde a parcouru $d = 40$ m à la date $t = 3 T$.
5. Deux points situés à $d' = 55$ m l'un de l'autre dans la même direction de propagation vibrent en phase.
6. L'onde se réfléchit sur un obstacle situé à la distance $d'' = 0,68$ km de la source. L'écho de l'onde revient à la source 2,0 s après l'émission du signal.

B] Le véhicule se déplace maintenant vers la droite à la vitesse v inférieure à c .

La Figure 2 représente le front de l'onde sonore à la date $t = 4 T$.

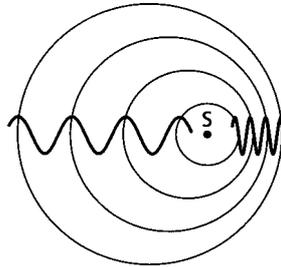


Figure 2

1. Le véhicule se rapproche d'un observateur immobile. Pendant l'intervalle de temps T , le son parcourt la distance λ . Pendant ce temps, le véhicule parcourt la distance : $d = v T$. La longueur d'onde λ' perçue par l'observateur à droite de la source **S** a donc l'expression suivante : $\lambda' = \lambda - vT$ (Relation 1).

- 1.1. Rappeler la relation générale liant la vitesse de propagation, la longueur d'onde et la fréquence.
- 1.2. En déduire que la Relation 1 permet d'écrire :

$$f' = f \cdot \frac{c}{c - v} \quad (f' \text{ étant la fréquence sonore perçue}).$$

1.3. Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son d'origine ? *Justifier.*

2. Dans un deuxième temps, le véhicule s'éloigne de l'observateur à la même vitesse v .

- 2.1. Donner, sans démonstration, les expressions de la nouvelle longueur d'onde λ'' et de la nouvelle fréquence f'' perçues par l'observateur en fonction de f , v et c .
- 2.2. Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son d'origine ? *Justifier.*

3. On admet qu'une expression approchée de la fréquence f' est $f' = f \left(1 + \frac{v}{c} \right)$. Calculer, en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, la vitesse v du véhicule qui se rapproche de l'observateur sachant que ce dernier perçoit alors un son de fréquence $f' = 716$ Hz.

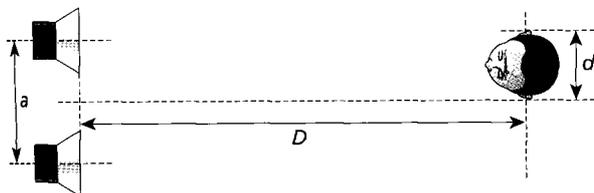
Aides aux calculs : $\frac{1}{680} \cong 1,5 \cdot 10^{-3}$; $\frac{9}{17} \cong 0,53$.

III] EXERCICE 3 : sur 4,5 points.

INTERFÉRENCES

A] Audition étrange.

Deux haut-parleurs sont placés à une distance $a = 5,0$ m l'un de l'autre. Ils sont alimentés par le même générateur délivrant une tension sinusoïdale de fréquence f (voir Figure ci-dessous). L'oreille gauche d'un auditeur est placée sur la médiatrice des haut-parleurs, à la distance $D = 40$ m, l'autre oreille est placée à $d = 20$ cm de cette médiatrice.



1. Expliquer pourquoi l'ensemble des deux haut-parleurs ainsi alimentés permet d'obtenir des interférences d'ondes sonores.
2. L'auditeur se bouche l'oreille droite : entend-il un maximum ou un minimum d'amplitude ?
Le résultat dépend-il de la fréquence ?

3. Les franges d'interférences produites sont séparées d'une interfrange $i = \frac{v \cdot D}{f \cdot a}$. Pour quelle(s) fréquence(s) l'auditeur entend-il un maximum d'amplitude pour chaque oreille ?

4. Pour quelle(s) fréquence(s) l'auditeur n'entend-il que de l'oreille gauche ?

Données : célérité du son : $v = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; domaine des fréquences audibles : entre 20 Hz et 20 kHz.

B] Interférences en lumière polychromatique.

Deux fentes fines verticales parallèles, distantes de $a = 1,0$ mm, constituent deux sources de lumière monochromatique synchrones et cohérentes. Des interférences sont observées sur un écran parallèle au plan contenant les fentes, et situé à une distance $D = 1,5$ m de ce plan.

1. Décrire ce qui est observé sur l'écran.
2. Pourquoi les fentes doivent-elles être très fines ?
3. La longueur d'onde utilisée est $\lambda = 510$ nm. Calculer l'interfrange i .
4. La lumière émise par les sources est maintenant constituée de deux longueurs d'onde : $\lambda_1 = 420$ nm (violet) et $\lambda_2 = 630$ nm (rouge). Deux systèmes de franges sont ainsi observés sur l'écran : les franges violettes et rouges sont-elles séparées de la même distance ?
5. Si O est le point de l'écran équidistant des fentes, à quelle distance de O y a-t-il la première coïncidence entre deux franges brillantes correspondant aux deux systèmes de franges ?