Devoir de Sciences Physiques n°4

Durée : 1 h 20 – calculatrice autorisée

EXERCICE 1 : titrage d'un comprimé d'ibuprofène

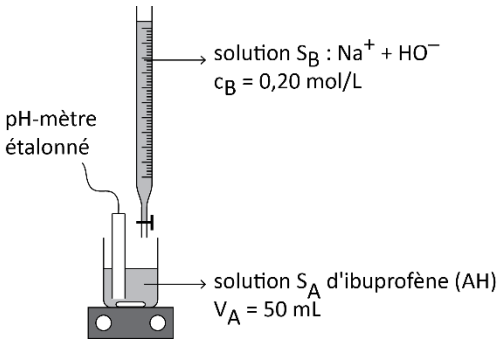
1 h ; 15 points

L'ibuprofène est la substance active de nombreux médicaments de la classe des anti-inflammatoires non stéroïdiens. Cet anti-inflammatoire est aussi un analgésique (antidouleur) et un antipyrétique (lutte contre la fièvre). On l'utilise par exemple pour soulager l'arthrite, les maux de tête ou encore les courbatures.

On étudie un comprimé de marque *Céouktamal* issu de la boîte reproduite ci-dessus, dont l'étiquette indique « ibuprofène 400 mg ». On va mesurer par titrage la masse d'ibuprofène qu'il contient afin de comparer la valeur mesurée à celle qu'indique l'étiquette.

Protocole du titrage

- **Étape 1** : préparation d'une solution d'ibuprofène
  - Réduire en poudre le comprimé dans un mortier à l'aide d'un pilon ;
  - Isoler par extraction l'ibuprofène des excipients (la méthode employée n'est pas étudiée ici).
  - Introduire la poudre d'ibuprofène obtenue d'ibuprofène solide dans une fiole jaugée de volume $V_A = 50{,}0$ mL.
  - Compléter au trait de jauge avec de l'eau distillée et agiter jusqu'à dissolution complète.
  - On obtient la solution S_A.
- **Étape 2 :** préparation d'une solution d'hydroxyde de sodium
  Cette étape consiste à préparer une solution d'hydroxyde de sodium S_B, de concentration $c_B = 0{,}20$ mol · L^{-1} par dilution d'une solution commerciale à 14% en masse.
  - Prélever la solution commerciale avec une pipette jaugée adaptée.
  - Verser ce prélèvement dans une fiole jaugée de volume 200 mL.
  - Compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.
  - Agiter pour homogénéiser.
- **Étape 3** : titrage
  - Vider **la totalité** de la fiole contenant S_A dans un bécher.
  - Réaliser le dispositif schématisé ci-dessous :



  - Effectuer le titrage et tracer la courbe de suivi pH-métrique pH en fonction de V_B.

Données :

- Masses molaires :
  - hydroxyde de sodium : $M(NaOH) = 40{,}0$ g · mol^{-1}
  - ibuprofène : $M(RCOOH) = 206{,}0$ g · mol^{-1}
- Densité d'une solution d'hydroxyde de sodium de titre massique 14% : $d = 1{,}15$
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1000$ g · L^{-1}

1. La solution d'hydroxyde de sodium commerciale utilisée à l'étape 2 du protocole a un titre massique de 14%. En utilisant la définition du titre massique, exprimer puis calculer la concentration de la solution commerciale d'hydroxyde de sodium.

2. Calculer le volume de la « pipette jaugée adaptée » citée à l'étape 2, afin que la solution diluée ait bien la concentration voulue $c_B = 0{,}20$ mol · L^{-1}.

3. À l'étape 3, nommer la solution titrante et la solution titrée.

4. À l'étape 3, après avoir vidé la fiole de solution S_A dans le bécher, on introduit de l'eau distillée dans la fiole pour la rincer. Faut-il vider l'eau de rinçage à l'évier ou dans le bécher utilisé pour le titrage ? Justifier.

5. Le schéma de Lewis de la molécule d'ibuprofène et quelques valeurs d'électronégativités sont donnés dans l'annexe 1. Exploiter ces données pour justifier que cette molécule soit un acide selon la définition de Brønsted. Les charges partielles utiles seront représentées sur **l'ANNEXE 1, à rendre avec la copie**.

6. La molécule d'ibuprofène sera désormais notée : AH. Écrire l'équation de la réaction support de ce titrage et justifier à l'aide des demi-équations des couples acide / base mis en jeu.

7. Quelles caractéristiques doit posséder une réaction chimique pour être utilisée lors d'un titrage ?

Le résultat de suivi pH-métrique effectué à l'étape 3 du protocole est donné dans l'**ANNEXE 2**.

8. Définir l'état d'équivalence d'un titrage.

9. Exploiter la définition précédente et l'annexe 2 pour déterminer la masse d'ibuprofène m_{mes} présente dans le cachet. Les constructions utiles apparaîtront clairement sur **L'ANNEXE 2, à rendre avec la copie**. Les étapes du raisonnement seront explicitées sur la copie. Indication : la réaction de la question 6 ne possède que des nombres stœchiométriques égaux à 1.

Un(e) élève qui n'a pas réussi la question 10 pourra utiliser pour les questions suivantes la valeur : $m_{mes} = 387\ mg$.

10. L'incertitude-type de la valeur expérimentale de la masse mesurée peut être estimée par la relation :

$$u(m_{mes}) = m_{mes}\sqrt{\left(\frac{u(c_B)}{c_B}\right)^2 + \left(\frac{u(V_{BE})}{V_{BE}}\right)^2 + \left(\frac{u(V_A)}{V_A}\right)^2}$$

On suppose que la mesure de V_{BE} est la source d'erreur principale et que l'on peut négliger les autres.
En déduire une expression simplifiée de $u(m)$.

11. On estime que $u(V_{BE}) = 0{,}3$ mL. Calculer l'incertitude-type $u(m)$ et présenter la valeur de m avec son incertitude et un nombre de chiffres significatifs adapté.

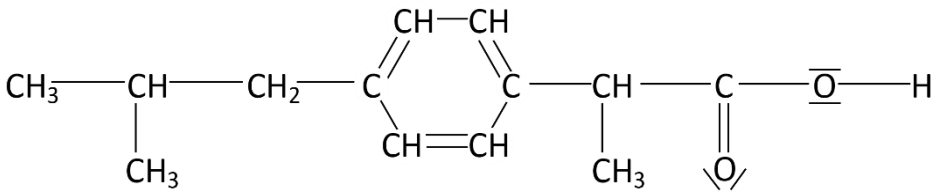
12. On admet que m_{mes} et la valeur de référence m_{ref} sont compatibles si leur écart rapporté à l'incertitude satisfait la condition $z \leq 1$ avec z défini par :

$$z = \frac{|m_{mes} - m_{ref}|}{u(m)}$$

Évaluer la compatibilité de la masse d'ibuprofène mesurée avec la valeur de référence à l'aide de ce critère.

13. Parmi les indicateurs colorés acido-basiques proposés en **ANNEXE 3**, quels sont ceux permettant de réaliser le titrage de l'ibuprofène par la solution S_B sans suivi pH-métrique ? Justifier en citant le critère utilisé.

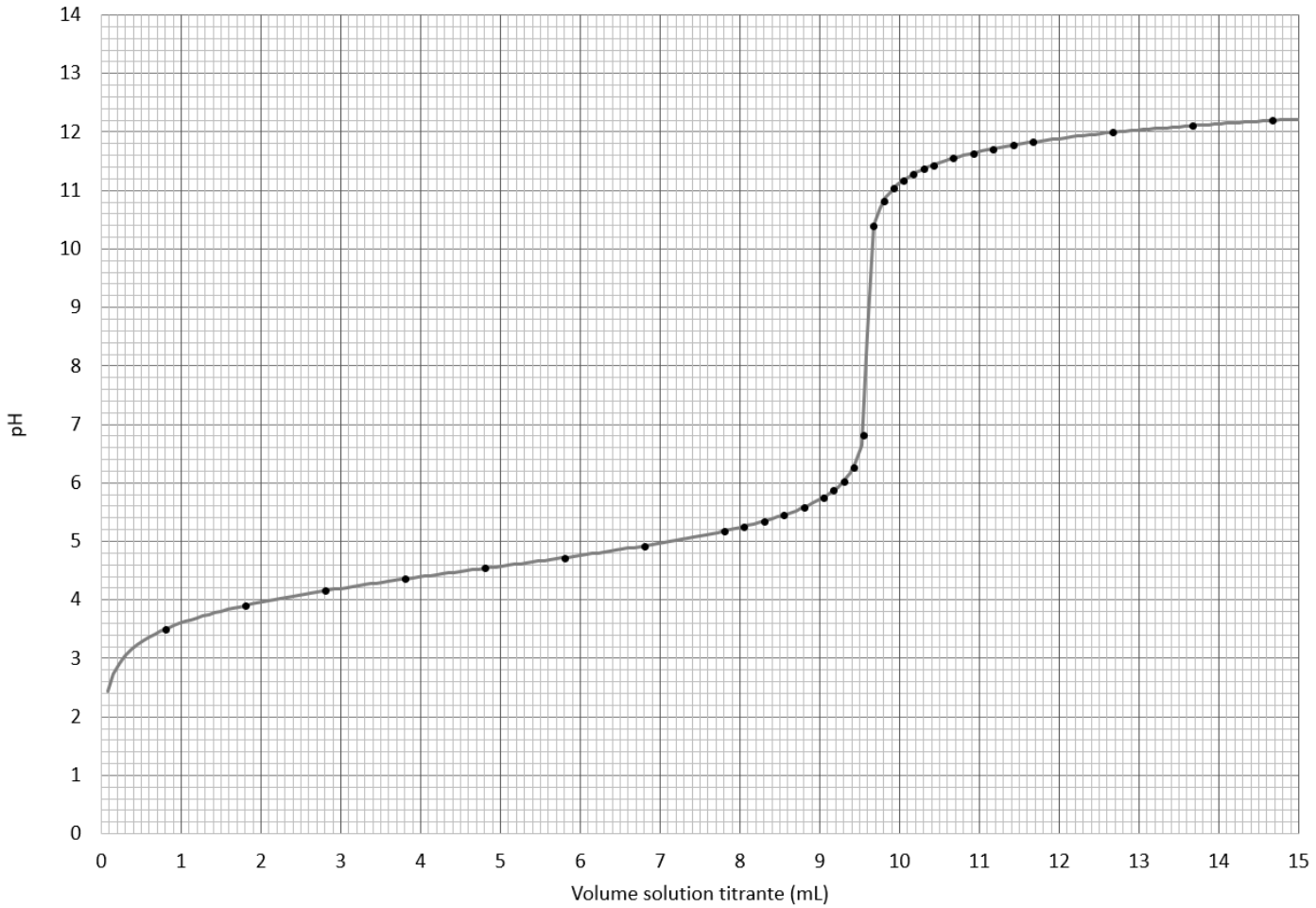
ANNEXE 1 : schéma de Lewis de la molécule d'ibuprofène



Électronégativités de quelques atomes :

Atome	H	C	O
Électronégativité	2,2	2,5	3,5

ANNEXE 2 : résultat du suivi pH-métrique (*à rendre avec la copie*)



ANNEXE 3 : indicateurs colorés acidobasiques

Indicateur coloré	**Couleur sous forme acide**	**Zone de virage**	**Couleur sous forme basique**
bleu de thymol	rouge	1,2 – 2,8	jaune
Vert de bromocrésol	jaune	3,8 – 5,4	bleu
Rouge de crésol	jaune	7,2 – 8,8	rouge
Phénolphtaléine	incolore	8,2 – 10	rose
Jaune d'alizarine	jaune	10,1 – 12,0	rouge – orangé

EXERCICE 2 : freinage du TGV

20 min ; 5 points

Cet exercice étudie le mouvement du TGV dans le référentiel terrestre, supposé galiléen. On appellera « réaction du rail », notée $\vec{R}$ la force verticale et vers le haut, n'incluant pas le frottement, exercée par le rail sur les roues.
Lorsqu'il est lancé à pleine vitesse, le TGV est animé d'un mouvement de translation rectiligne et uniforme, à la vitesse de 320 km · h^{-1} ≈ 90 m · s^{-1}. Cela requiert une force motrice, notée $\overrightarrow{F_{\text{mot}}}$, horizontale et de même sens que le mouvement.

1. La figure 1 en bas de page est une représentation incomplète des forces exercées sur le TGV lorsqu'il est en translation rectiligne uniforme et à sa vitesse maximale.
   Il manque la force de frottement $\vec{f}$ (exercée à la fois par le rail et par l'air) : la représenter et citer la loi de Newton exploitée pour effectuer ce tracé.

Lorsqu'il enclenche la procédure de freinage d'urgence, la somme des forces exercées sur le système TGV a une composante horizontale de valeur constante $F_{\text{freinage}} = 2 \times 10^5$ N (celle-ci inclut l'action des freins ainsi que les frottements exercés par l'air et par le rail). Le moteur est bien entendu coupé.
Donnée : masse du TGV avec ses passagers : $m = 4 \times 10^5$ kg.

2. Compléter la figure 2 (sans souci d'échelle) afin qu'elle représente les forces exercées sur le TGV pendant la procédure de freinage d'urgence.
3. Énoncer la relation exprimant la 2ème loi de Newton.
4. Exploiter la 2ème loi de Newton pour calculer numériquement la valeur de l'accélération du TGV lors de la procédure de freinage.
5. En déduire la durée mise par le TGV pour s'arrêter.
6. Si le TGV était vide (plusieurs réponses possibles, aucune justification attendue) :
   - ☐ la force de freinage aurait une valeur plus élevée ;
   - ☐ la force de freinage serait la même ;
   - ☐ la force de freinage serait de valeur plus faible ;
   - ☐ l'accélération serait de valeur plus élevée que celle trouvée à la question 4 ;
   - ☐ l'accélération serait de valeur identique à celle de la question 4 ;
   - ☐ l'accélération serait de valeur plus faible que celle de la question 4 ;
   - ☐ la procédure de freinage aurait une durée plus élevée que celle trouvée à la question 5 ;
   - ☐ la procédure de freinage aurait une durée égale à celle trouvée à la question 5 ;
   - ☐ la procédure de freinage aurait une durée plus faible que celle trouvée à la question 5.

ANNEXE à rendre avec la copie

Figure 1 : TGV à vitesse constante de 320 km/h

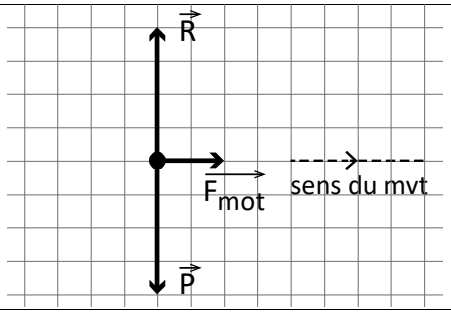
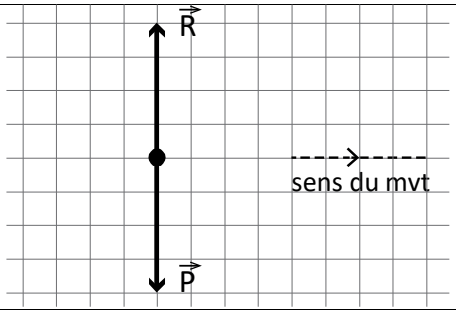



Figure 2 : TGV en freinage d'urgence