BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

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 11 pages numérotées de 1/11 à 11/11.

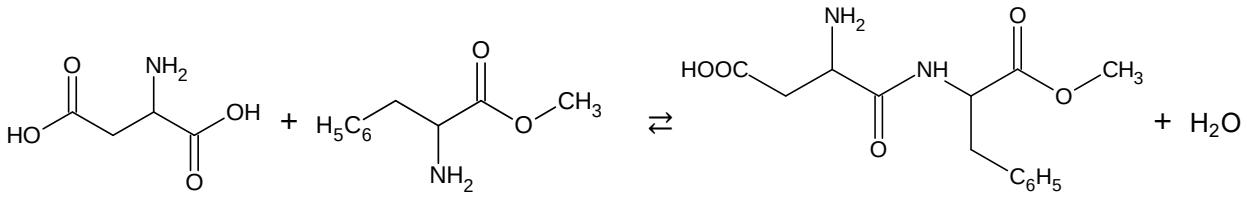
L'annexe page 11/11 est à rendre impérativement avec la copie, même non complétée.

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 – SYNTHÈSE D'UN ÉDULCORANT : L'ASPARTAME (9 points)

L'aspartame remplace le sucre dans des régimes hypocaloriques. Il est synthétisé à partir d'acide aspartique et de phénylalanine méthylée.



Acide aspartique Phénylalanine méthylée Aspartame

Figure 1 – Équation de réaction de formation de l'aspartame

L'objet de cet exercice est d'étudier les propriétés acido-basiques des espèces chimiques intervenant dans la synthèse de l'aspartame, puis la stratégie à envisager pour le synthétiser.

Les parties A, B et C de cet exercice sont indépendantes et peuvent être traitées séparément.

Données :

- L'acide aspartique existe en solution aqueuse sous quatre formes que l'on note : H_3Asp^+, H_2Asp, $HAsp^-$ et Asp^{2-}.
- Les valeurs des pK_A des couples acide-base de ces quatre formes sont :

pK_{A_1}	pK_{A_2}	pK_{A_3}
1,9	?	9,6

- Extrait du diagramme de distribution :

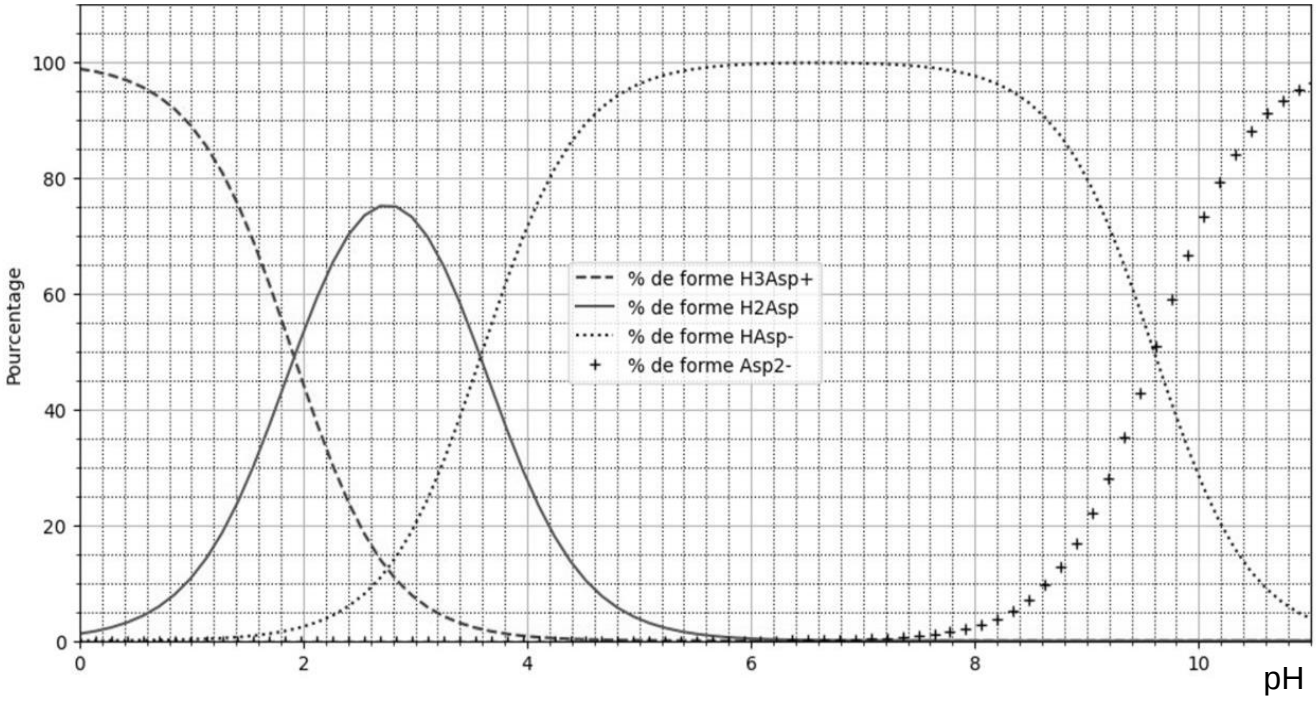
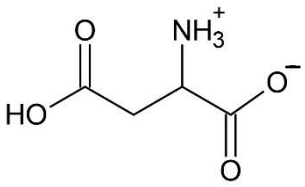


Figure 2 – Diagramme de distribution de l'acide aspartique sous ses formes H_3Asp^+, H_2Asp, $HAsp^-$ et Asp^{2-}



- La formule topologique de H_2Asp en solution aqueuse est :
- $M(H_2Asp) = 133\ g{\cdot}mol^{-1}$.
- Produit ionique de l'eau : $K_e = 1{,}0 \times 10^{-14}$.
- Couple acide-base : $H_2O(\ell)$ /$HO^-(aq)$.
- Concentration standard : $c^\circ = 1{,}0\ mol{\cdot}L^{-1}$.
- Électronégativités selon Pauling :
  $\chi(H) = 2{,}20$; $\chi(C) = 2{,}55$; $\chi(N) = 3{,}00$ et $\chi(O) = 3{,}44$.

Partie A – L'acide aspartique

1. Tracer le diagramme de prédominance de l'acide aspartique et faire apparaître les quatre formes associées.

2. Déterminer, en justifiant, la valeur de pK_{A_2}.

3. Justifier que H_2Asp est une espèce amphotère.

4. Sachant que le pK_A d'un acide carboxylique est inférieur au pK_A d'une amine, représenter la formule topologique de $HAsp^-$ correspondant à la perte d'un proton sur la molécule H_2Asp.

Titrage pH-métrique de l'acide aspartique

On souhaite déterminer la masse d'acide aspartique contenue dans un échantillon du commerce dont la masse est de 250 mg.

On dissout la totalité de l'échantillon dans 100 mL d'eau distillée sans variation de volume. Le pH de la solution au début de l'expérience vaut 2,8. Le titrage est effectué en introduisant des volumes de solution aqueuse d'hydroxyde de sodium $(Na^+(aq) + HO^-(aq))$ de concentration en quantité de matière $C_b = 0{,}100\ mol{\cdot}L^{-1}$. On verse un volume maximal de réactif titrant de 17,5 mL.

5. Justifier la forme prédominante de l'acide aspartique dans la solution au début du titrage.

6. Réaliser le schéma légendé du montage mis en œuvre pour réaliser le titrage.

L'équation de la réaction support du titrage mis en œuvre s'écrit :

$$H_2Asp(aq) + HO^-(aq) \rightarrow HAsp^-(aq) + H_2O(\ell)$$

7. Définir l'équivalence.

La courbe du titrage est donnée sur la **figure 3** de **l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE page 11/11**.

8. Déterminer graphiquement, à l'aide de **la figure 3** de **l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE page 11/11**, la valeur du volume équivalent V_E de solution d'hydroxyde de sodium.

9. Calculer la valeur de la masse d'acide aspartique contenue dans l'échantillon.

Partie B – Étude de la phénylalanine méthylée

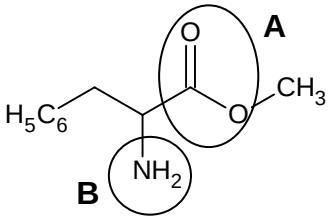


Figure 4 – Formule topologique de la phénylalanine méthylée

10. Nommer les groupes caractéristiques **A** et **B** entourés sur la **figure 4**.

Pour la suite de l'exercice, on note la phénylalanine méthylée R-$\bar{N}H_2$.

11. Justifier, à partir de la structure de R-$\bar{N}H_2$, son caractère basique au sens de Brønsted.

12. En déduire la formule de l'acide conjugué de R-$\bar{N}H_2$.

13. Établir l'équation de la réaction de la phénylalanine méthylée avec l'eau.

Soit un volume V = 1,00 L d'une solution S de phénylalanine méthylée de concentration en quantité de matière $c = 1{,}00 \times 10^{-1}$ mol·L^{-1}. Le pH de cette solution est égal à 12,9.

14. Calculer le taux d'avancement final τ et conclure sur la force de la base, la phénylalanine méthylée.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter sa démarche. Toute démarche pertinente, même non aboutie, sera valorisée.

Partie C – Stratégie de synthèse

On souhaite créer une liaison entre l'acide aspartique et la phénylalanine méthylée pour obtenir l'aspartame selon l'équation de réaction donnée **figure 1** en début d'exercice.

15. Identifier en expliquant, parmi les catégories suivantes, celle à laquelle appartient cette transformation : oxydoréduction, acide-base, addition, élimination, substitution.

16. Sur l'étape 1 de la **figure 5** de **l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE page 11/11**, faire apparaître les sites donneurs et accepteurs de doublet d'électrons des réactifs impliqués lors de la synthèse.

17. Représenter, sur l'étape 1 de la **figure 5** de **l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE page 11/11**, les flèches courbes de l'acte élémentaire correspondant à l'obtention de l'intermédiaire réactionnel.

18. Identifier, en justifiant, l'intermédiaire réactionnel de cette synthèse.

19. Justifier que d'autres intermédiaires réactionnels sont susceptibles de se former.

20. Proposer une stratégie à adopter pour s'assurer de la formation de l'aspartame uniquement.

EXERCICE II – LA PHYSIQUE S'INVITE SUR UN TERRAIN DE RUGBY (6 points)

Au rugby, une chandelle est un tir au pied vers l'avant et très en hauteur qui permet au tireur, sur sa lancée, de récupérer le ballon à sa retombée avant l'adversaire.

Dans cet exercice, on se propose d'étudier une chandelle par une approche dynamique dans la première partie ; la seconde partie concerne une étude énergétique.

Les parties A et B de cet exercice sont indépendantes et peuvent être traitées séparément.

Lors d'un entrainement, un joueur de rugby réalise une chandelle. Le système considéré est le ballon de rugby, assimilé à un point matériel de centre de masse noté G. Le mouvement du ballon est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen et muni du système d'axes (Ox, Oz), de base $(O ; \vec{i} ; \vec{k})$.

À $t = 0$ s, le joueur communique au ballon, de masse m, une vitesse $\vec{v_0}$ qui forme un angle α avec l'horizontale. Le ballon se trouve alors à une hauteur h au-dessus du sol comme indiqué sur la **figure 1**.

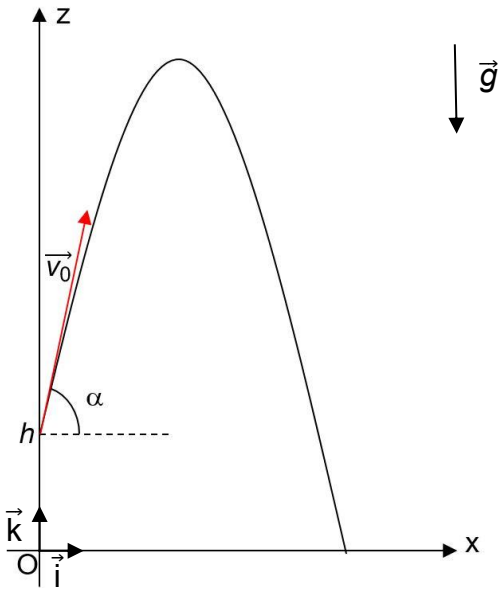


Figure 1 – Schéma de la situation lors de la chandelle

Hypothèses :

- La valeur du champ de pesanteur terrestre local $\vec{g}$ est considérée uniforme.
- Les frottements liés à l'action de l'air sont supposés négligeables.

Données :

- Intensité de la pesanteur terrestre : $g = 9{,}81$ m·s^{-2}.
- Valeur v_0 de la vitesse initiale communiquée au ballon : $v_0 = 20{,}5$ km.h^{-1}.
- Altitude initiale du ballon : $h = 90$ cm.
- Angle à l'instant initial : $\alpha = 70°$.

Partie A – Étude dynamique d'une chandelle

1. En précisant la loi utilisée, exprimer les coordonnées du vecteur accélération $\vec{a}_G$ du ballon à l'instant t : $a_x(t)$ et $a_z(t)$.

2. Montrer que les équations horaires du mouvement sont :

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \times \cos(\alpha) \times t \\ z(t) = -\dfrac{1}{2} \times g \times t^2 + v_0 \times \sin(\alpha) \times t + h \end{cases}$$

3. Vérifier que le vol du ballon, jusqu'à ce qu'il touche le sol, dure 3,97 s.

Une chandelle est réussie si le joueur de rugby qui a tapé le ballon le récupère. Lors de sa chandelle, le joueur saute et parvient à récupérer son ballon au bout de 3,82 s.

4. Calculer l'altitude du ballon lorsque le joueur le récupère.

Lors de la coupe du monde 2023, le talonneur Julien Marchand a tapé le ballon, puis a sprinté vers le ballon avec une vitesse moyenne de 25,7 km·h^{-1}.

5. Déterminer si Julien Marchand aurait été capable de réussir la chandelle étudiée dans les questions précédentes (chandelle du joueur de rugby précédent avec les mêmes caractéristiques).

Partie B – Étude énergétique d'une chandelle

Par une modélisation numérique, on cherche à calculer la vitesse du ballon lorsqu'il est récupéré par le joueur. Pour cela, on effectue une étude énergétique du système défini dans la **partie A** à l'aide d'un programme en langage Python dont un extrait est présenté ci-dessous. Ce programme utilise les coordonnées $x(t)$ et $z(t)$ du vecteur position et $v_x(t)$ et $v_z(t)$ du vecteur vitesse obtenues par modélisation de la trajectoire du ballon.

Les variables `x`, `z`, `vx` et `vz` sont déclarées dans le code mais non affichées dans l'extrait de la **figure 2**.

```
…
 7  # Déclaration des constantes
 8  m = 0.440   # en kg
 9  g = 9.81    # en N/kg
…
25  # Calcul des énergies
26  … = (vx**2 + vz**2)**(1/2)
27  … = 0.5 * m * v**2
28  Ep = ……                  # Ep = 0 si z = 0
29  Em = ……
```

Figure 2 – Extrait du programme écrit en langage Python

L'exécution de ce programme permet d'obtenir le graphique de la **figure 3** page suivante qui modélise l'évolution des énergies du point G au cours du temps.

6. Relever dans le code de la **figure 2** la valeur de la masse du ballon.

7. Identifier les grandeurs calculées aux lignes 26 et 27.

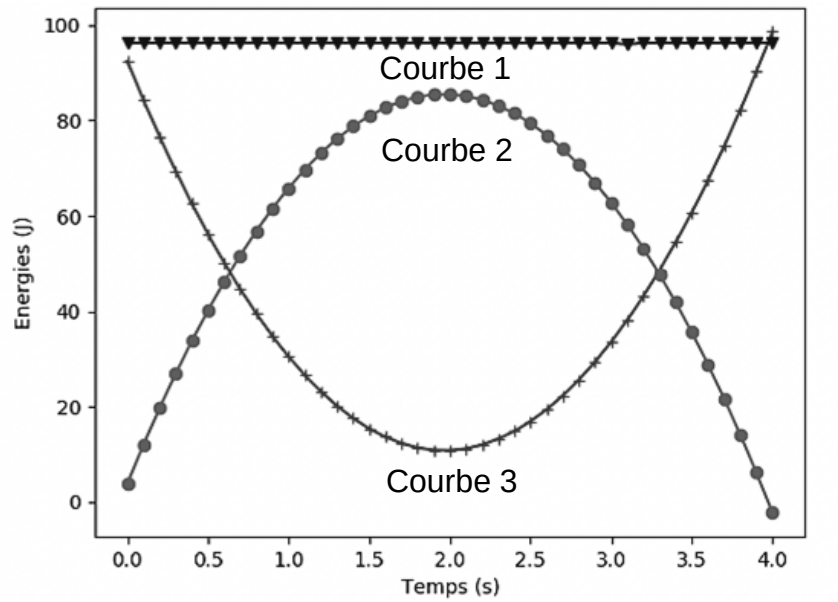


Figure 3 – Évolution temporelle des énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique

8. Recopier et compléter le code des lignes 27, 28 et 29 du programme.

9. En justifiant, attribuer la nature de l'énergie correspondant à chaque courbe du graphique de la **figure 3**.

10. Indiquer, en expliquant, si l'hypothèse sur les frottements de l'air, proposée au début de l'exercice, a été prise en compte dans la modélisation numérique.

Le joueur tape le ballon et lui communique une vitesse initiale v_0 dont la valeur est celle de la **partie A**. Il récupère le ballon à une altitude de 2,90 m.

11. À l'aide d'une étude énergétique, calculer la vitesse du ballon, en km·h^{-1}, lorsqu'il est récupéré par le joueur.

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.

EXERCICE III – INSTALLATION D'UN PANNEAU ROUTIER (5 points)

Disposés à la sortie des écoles ou aux intersections dangereuses, les panneaux lumineux de signalisation peuvent avertir les conducteurs afin qu'ils ajustent leur vitesse en fonction des limitations en vigueur.



Source : d'après https://www.trafic.fr/0-signalisation-routiere-panneaux-renforces-leds.html

Cet exercice étudie divers aspects d'un panneau routier lumineux, de type A13a (danger « *endroit fréquenté par les enfants* »), qui a été installé à proximité d'un groupe scolaire. Il est alimenté par un panneau solaire disposant d'une batterie de stockage d'énergie et d'un radar de vitesse.

Données :

- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s.
- 1 eV = $1{,}60 \times 10^{-19}$ J.
- Célérité de la lumière : $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m·s^{-1}.
- Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.
- Puissance lumineuse du Soleil, atteignant la surface de la Terre par un ciel clair, par unité de surface : $P_s = 1000$ W·m^{-2}.
- Valeur de la vitesse limite dans la zone de danger : $v_{lim} = 30$ km·h^{-1}.
- L'émetteur émet une onde électromagnétique de fréquence : $f_E = 24{,}125$ GHz.
- Le décalage Δf en fréquence est donné par la relation (avec v la valeur de la vitesse du véhicule détecté) :

$$|\Delta f| = 2 \times f_E \times \frac{v}{c}$$

Partie A – Étude du panneau solaire

Le panneau de signalisation est alimenté par un ensemble de cellules photovoltaïques. Ces dernières sont constituées de silicium, un matériau semi-conducteur dont la bande de valence et la bande de conduction sont séparées par un travail d'extraction noté E_{gap} (**figure 1**).

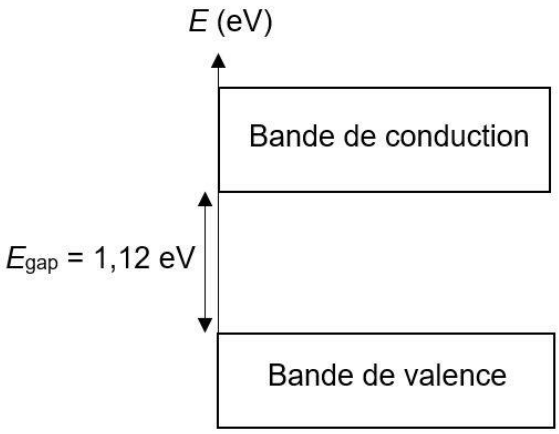


Figure 1 – Diagramme d'énergie du silicium

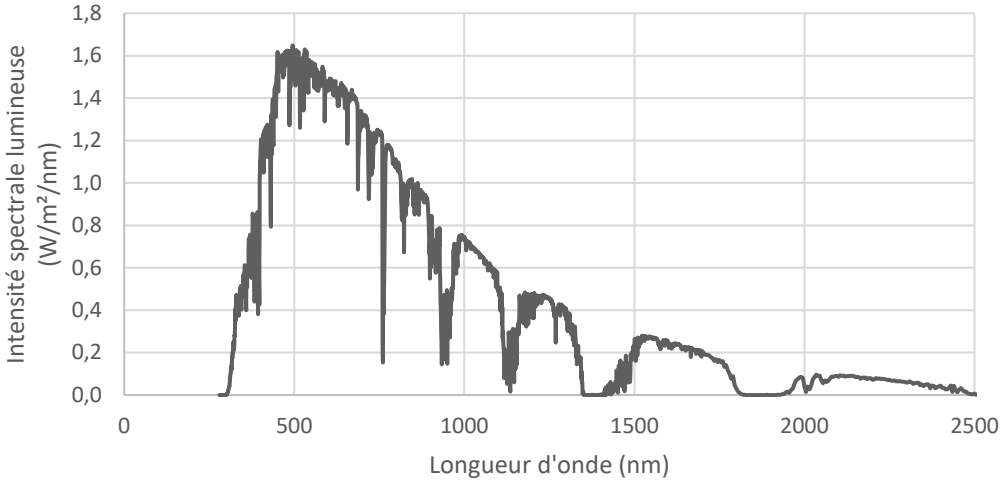


Figure 2 – Spectre d'émission solaire au niveau du sol

Source : https://www.nrel.gov/grid/solar-resource/spectra-am1.5.html

1. Décrire l'effet photoélectrique mis en jeu lors du fonctionnement de la cellule photovoltaïque.

2. Citer une autre application de ce phénomène.

3. Calculer la longueur d'onde correspondante λ_{seuil} nécessaire à l'électron pour franchir le gap d'énergie.

4. Indiquer, en vous aidant de la **figure 2**, si l'utilisation de silicium est adaptée pour une cellule photovoltaïque.

Le panneau photovoltaïque, constitué d'une multitude de cellules, a les caractéristiques techniques suivantes :

Tension électrique U_{max}, à la puissance maximale	23,76 V
Intensité du courant électrique I_{max}, à la puissance maximale	0,89 A
Rendement	12 %
Dimensions du panneau (longueur × largeur × épaisseur)	795 × 220 × 25 (en mm)

Source : fiche technique https://www.jade-technologie.com/produits/panneaux-solaires-photovoltaique-verre-tedlar

5. Donner l'expression littérale du rendement du panneau photovoltaïque.

6. Vérifier que la valeur du rendement du panneau photovoltaïque est bien celle indiquée par le fabricant.

Partie B – Cinémomètre

Le panneau de signalisation est doté d'un radar de détection. Il s'agit d'un cinémomètre qui mesure la valeur de la vitesse du véhicule qui s'approche du panneau et déclenche son allumage en fonction d'une vitesse seuil. Si la valeur de la vitesse du véhicule est supérieure à la vitesse seuil, les LED du panneau routier s'allument et clignotent. Le panneau est installé en amont d'une zone dont la valeur de la vitesse limite est 30 km·h^{-1}. La valeur de la vitesse seuil a été fixée à 25 km·h^{-1}.

Le radar est constitué d'un émetteur et d'un récepteur d'ondes électromagnétiques de célérité c. Un analyseur permet de mesurer la différence de fréquence Δf entre l'onde émise et l'onde reçue si un obstacle en mouvement se présente face au radar. Cette analyse permet ensuite d'obtenir la valeur de la vitesse v du véhicule détecté.

7. Nommer et décrire le principe physique sur lequel repose le fonctionnement du radar.

Un véhicule s'approche de l'école. Lors du passage de ce véhicule, la différence de fréquence mesurée entre l'onde émise et l'onde reçue est $|\Delta f| = 2010$ Hz.

8. Indiquer, en justifiant, si la fréquence du signal reçu est inférieure, égale ou supérieure à celle du signal émis.

9. Déterminer si le panneau routier s'éclaire ou non, lors du passage du véhicule.

Le panneau de signalisation est équipé d'une batterie pour stocker l'énergie fournie par le panneau photovoltaïque. La batterie utilisée a une capacité de 4000 mAh.

On suppose que l'intensité moyenne nécessaire pour que les LED du panneau routier s'allument et clignotent est $I_{\text{moyenne}} = 0{,}79$ A.

10. Déterminer la durée maximale de clignotement du panneau routier possible pendant la nuit. Commenter.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

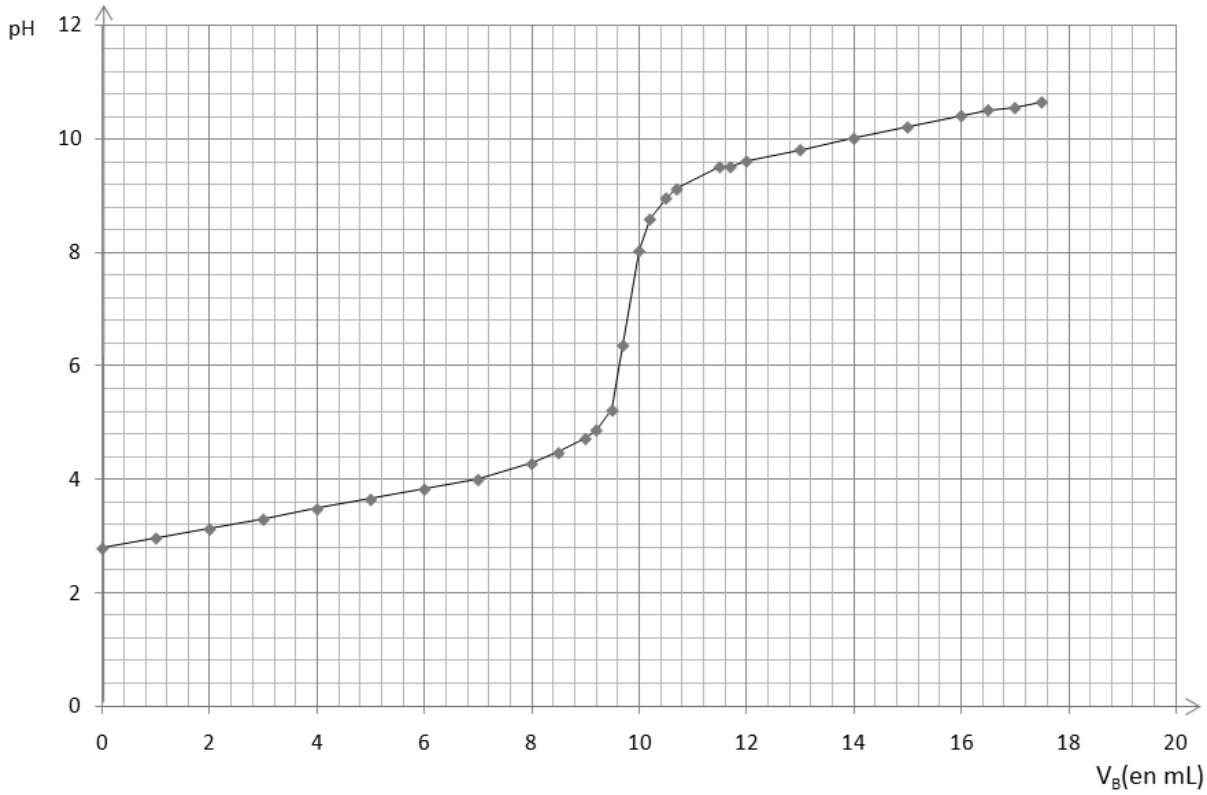


Figure 3 – Courbe expérimentale obtenue lors du titrage de l'acide aspartique

Source : d'après « Des expériences de la famille acide-base : Réussir, exploiter et commenter 50 manipulations de chimie », Danielle Cachau-Herreillat.

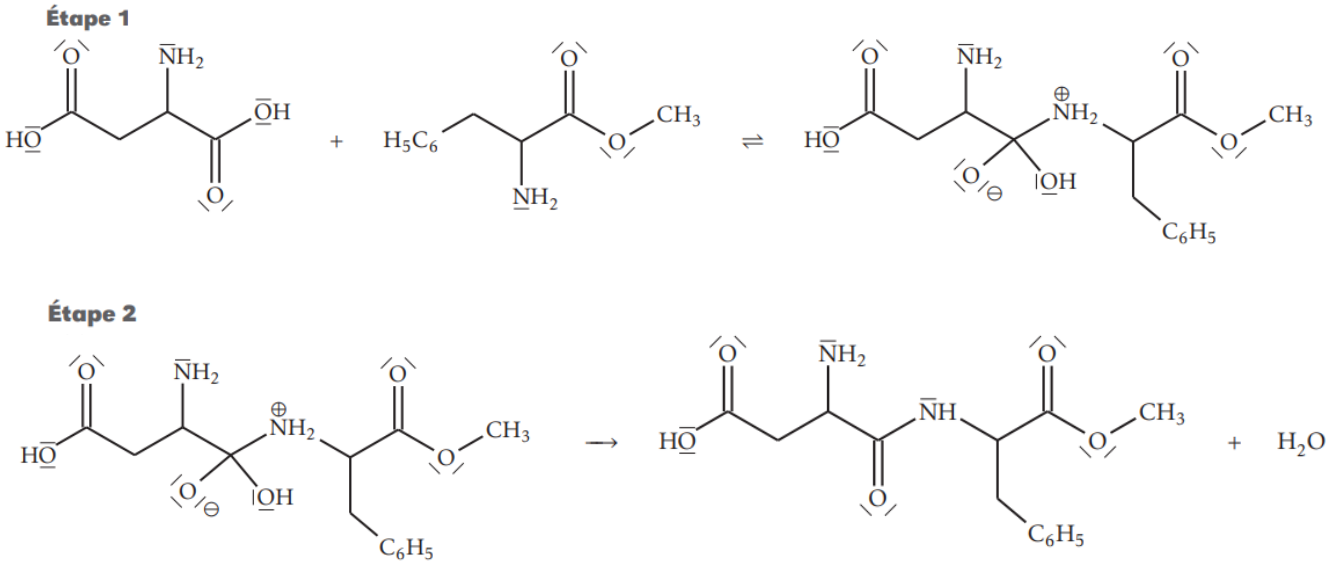


Figure 5 – Mécanisme réactionnel simplifié de la synthèse de l'aspartame

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) : *(en majuscules)*

PRENOM : *(en majuscules)*

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté · Égalité · Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2