BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

PHYSIQUE-CHIMIE

Mardi 21 mars 2023

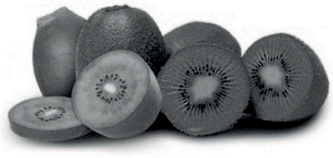
Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 9 pages numérotées de 1/9 à 9/9.

EXERCICE 1 - ÉTUDE DE LA VITAMINE C CONTENUE DANS LES KIWIS (9 points)

L'acide ascorbique, couramment appelé vitamine C, intervient dans de nombreux processus métaboliques dans le corps humain. Comme l'organisme ne peut ni la synthétiser ni la stocker, les apports en vitamine C doivent se faire par l'alimentation.

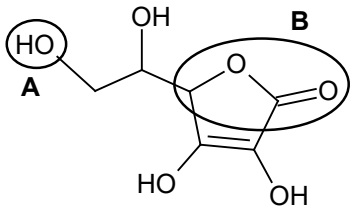


Les kiwis jaunes et les kiwis verts font partie des fruits les plus riches en acide ascorbique. L'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation recommande un apport minimum en vitamine C de 110 mg par jour pour un adulte.

L'objectif de cet exercice est d'étudier les propriétés de l'acide ascorbique et de déterminer la quantité de kiwis nécessaire aux besoins journaliers d'un adulte en vitamine C.

Données :

- formule brute de l'acide ascorbique : $C_6H_8O_6$;
- formule topologique de l'acide ascorbique (ci-contre) ;
- masse molaire de l'acide ascorbique : M = 176 g·mol^{-1} ;
- couple acide-base associé à l'acide ascorbique : $C_6H_8O_6(aq)$ / $C_6H_7O_6^-(aq)$;
- concentration standard : $c°$ = 1,0 mol·L^{-1} ;



- données de spectroscopie infrarouge :

Liaison	O–H	C–H	C=C	C=O
Nombre d'onde (en cm^{-1})	3200 – 3700	2850 – 3100	1620 – 1680	1650 – 1730
Allure de la bande caractéristique	Forte et large	Forte	Faible et fine	Forte et fine

1. Quelques propriétés de l'acide ascorbique

Q1. Représenter la formule semi-développée de l'acide ascorbique puis nommer les familles fonctionnelles associées aux groupes **A** et **B** entourés sur la formule topologique.

Q2. Justifier que le spectre infrarouge de la figure 1 est compatible avec la structure de l'acide ascorbique.

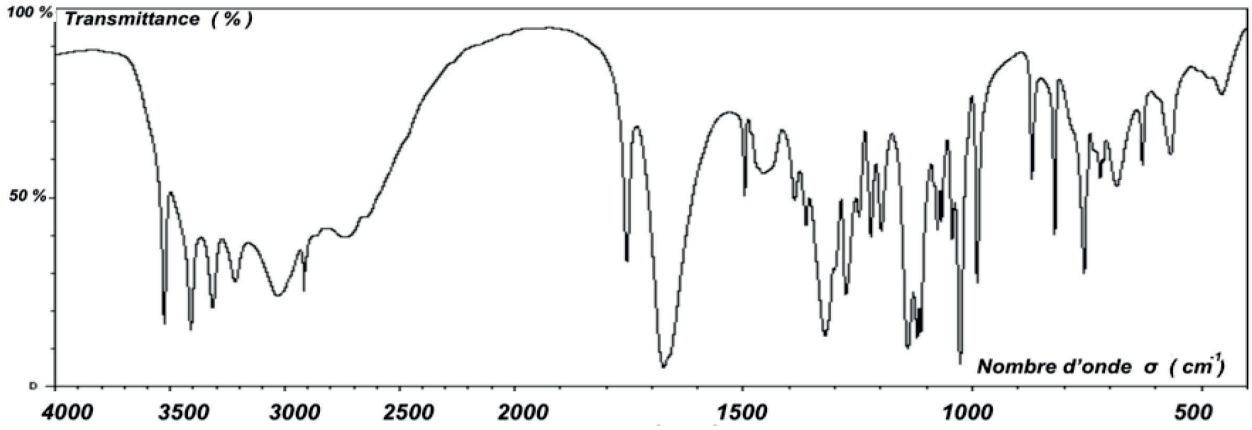


Figure 1. Spectre infrarouge de l'acide ascorbique

Pour étudier les propriétés acidobasiques de la vitamine C, on dissout 1,0 g d'acide ascorbique commercial dans une fiole jaugée de 50 mL puis on complète jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée. La mesure du pH de la solution donne pH = 2,6.

Q3. Déterminer la quantité de matière initiale n_0 d'acide ascorbique introduite dans la fiole jaugée.

La transformation entre l'acide ascorbique et l'eau est modélisée par la réaction d'équation :

$$C_6H_8O_6(aq) + H_2O(\ell) \leftrightarrows C_6H_7O_6^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

Q4. Donner la définition d'un acide faible.

Q5. Montrer que l'acide ascorbique est un acide faible dans l'eau.

Q6. Donner l'expression de la constante d'acidité K_A du couple associé à l'acide ascorbique en fonction des concentrations $[C_6H_8O_6]$, $[C_6H_7O_6^-]$, $[H_3O^+]$ à l'équilibre et de la concentration standard $c°$ puis montrer que la valeur du pK_A est proche de 4,2.

2. Acide ascorbique dans un kiwi jaune

Pour déterminer la concentration en acide ascorbique d'un kiwi jaune, on le mixe jusqu'à en obtenir du jus dont le pH est de 3,5.

Q7. Déterminer l'espèce acide-base prédominante associée à l'acide ascorbique présente dans le jus d'un kiwi jaune.

La quantité d'acide ascorbique présent dans un kiwi jaune est déterminée à l'aide d'un dosage par excès. Le principe de ce dosage est le suivant :

- on met le jus de kiwi en présence d'une quantité connue de diiode I_2. Seul l'acide ascorbique réagit avec le diiode, introduit en excès ;
- on détermine ensuite par titrage la quantité de diiode restant ;
- on en déduit alors la quantité d'acide ascorbique dans le kiwi jaune.

Protocole du dosage

- Étape 1 : réaction de l'acide ascorbique avec le diiode

Introduire la totalité du jus d'un kiwi jaune mixé dans une fiole jaugée de 250 mL, puis compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. On appelle S la solution ainsi obtenue.
Introduire dans un erlenmeyer un volume V = 50,0 mL de la solution S, ainsi qu'un volume V_1 = 20,0 mL d'une solution aqueuse de diiode I_2 à la concentration $C_1 = 2{,}9\times10^{-2}$ mol·L^{-1}.

Cette transformation peut être modélisée par la réaction d'équation suivante :

$$C_6H_8O_6(aq) + I_2(aq) \rightarrow C_6H_6O_6(aq) + 2\ I^-(aq) + 2\ H^+(aq)$$

- Étape 2 : titrage du diiode restant par les ions thiosulfate $S_2O_3^{2-}$

Titrer le contenu de l'erlenmeyer préparé lors de l'étape 1 par une solution aqueuse de thiosulfate de sodium de concentration $C_2 = 5{,}00\times10^{-2}$ mol·L^{-1}, en présence d'un indicateur coloré spécifique au diiode.

On obtient un volume à l'équivalence V_2 = 16,5 mL.

La transformation mise en jeu lors du titrage peut être modélisée par la réaction d'équation suivante :

$$I_2\ (aq) + 2\ S_2O_3^{2-}(aq) \rightarrow S_4O_6^{2-}(aq) + 2\ I^-(aq)$$

Q8. En exploitant le résultat du titrage, montrer que la quantité de matière de diiode dosé lors de l'étape 2 est égale à $4{,}13\times10^{-4}$ mol.

Q9. Après avoir calculé la masse d'acide ascorbique contenue dans un kiwi jaune, déterminer combien il faudrait en manger pour satisfaire les besoins journaliers en acide ascorbique d'un adulte.

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 doit être correctement présentée.

Le même dosage est réalisé avec un kiwi vert de même masse. On obtient un nouveau volume à l'équivalence pour le titrage du diiode restant V'_2 = 19,7 mL.

Q10. Expliquer sans calcul si le kiwi vert contient plus ou moins d'acide ascorbique que le kiwi jaune.

3. Oxydation de l'acide ascorbique par le bleu de méthylène

L'acide ascorbique est un réducteur, ce qui conditionne sa conservation à l'air libre. Dans cette partie, pour des raisons pratiques, on étudie ses propriétés réductrices en le faisant réagir avec du bleu de méthylène.

Au contact du bleu de méthylène, noté BM^+, l'acide ascorbique $C_6H_8O_6$ contenu dans le jus de kiwi se transforme en un nouveau composé de formule brute $C_6H_6O_6$.

Données :

- couple oxydant / réducteur associé à l'acide ascorbique : $C_6H_6O_6(aq)$ / $C_6H_8O_6(aq)$;
- couple oxydant / réducteur associé au bleu de méthylène : $BM^+(aq)$ / $BMH(aq)$.

Q11. À l'aide des demi-équations électroniques de chacun des couples mis en jeu, établir l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique ayant lieu entre l'acide ascorbique $C_6H_8O_6$ et le bleu de méthylène BM^+.

On réalise le suivi cinétique de cette réaction à deux températures différentes. Après traitement des résultats, on trace sur la figure 2 l'évolution temporelle de la concentration C_{ASC} de l'acide ascorbique, pour les deux températures choisies.

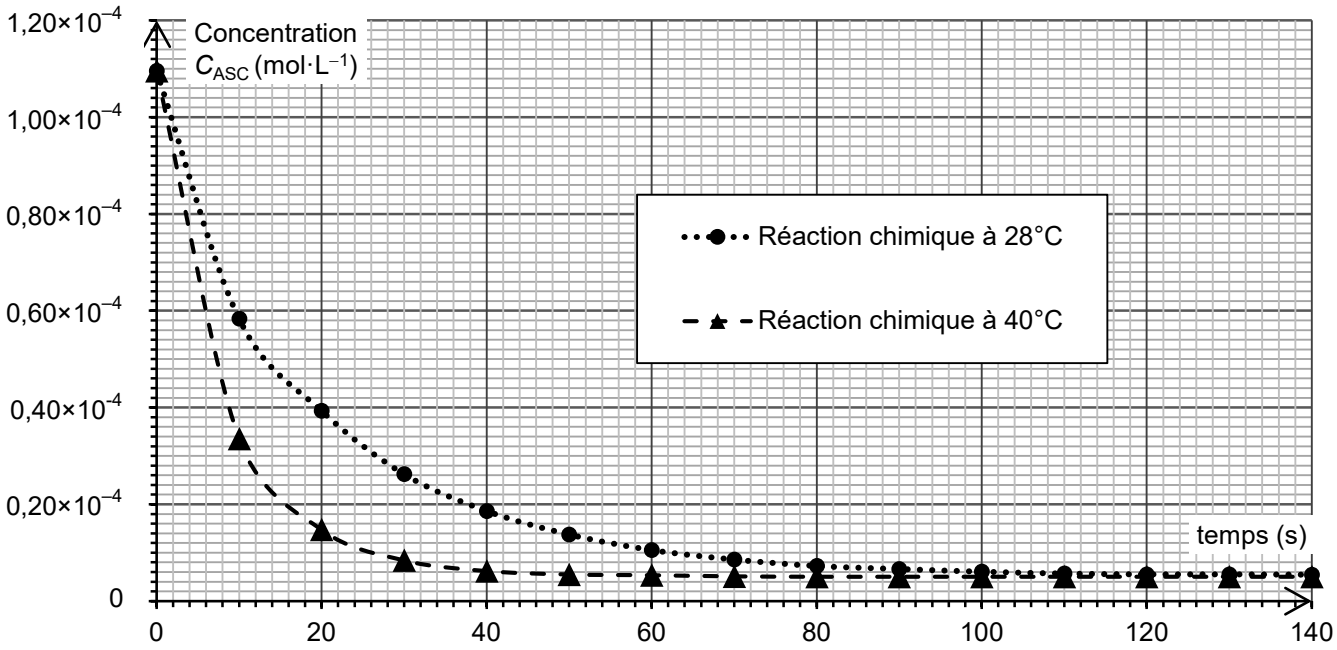


Figure 2. Évolution temporelle de la concentration C_{ASC} de l'acide ascorbique en solution

Q12. Exprimer la vitesse volumique de disparition de l'acide ascorbique en fonction de C_{ASC} puis déterminer sa valeur à l'instant initial à la température de 28 °C.

Q13. En utilisant les courbes de la figure 2, identifier en justifiant deux facteurs cinétiques de la réaction entre l'acide ascorbique et le bleu de méthylène.

EXERCICE 2 - PROTECTION DES CRAPAUDS (5 points)

La plaine de Sorques, située dans le sud de la Seine-et-Marne, est une zone naturelle protégée qui abrite entre autres de nombreux amphibiens (crapauds, grenouilles, tritons). Les crapauds *Bufo bufo* ont pour habitat la forêt de Fontainebleau la majeure partie de l'année. Une fois par an, au printemps, ces amphibiens migrent vers les plans d'eau pour se reproduire.



Barrière de protection le long d'une route

Pour éviter qu'ils ne se fassent écraser en passant sur la route qui traverse cette zone de migration, un dispositif a été installé : des barrières en bois, suffisamment hautes pour empêcher le saut sur la route, sont placées de chaque côté, obligeant les amphibiens à emprunter des passages souterrains appelés « crapauducs ».

Dans cet exercice, on se propose d'étudier le mouvement lors d'un saut d'un crapaud *Bufo bufo* de façon à déterminer la hauteur minimale des barrières de protection le long d'une route.

Le système considéré est un crapaud dont on étudie le mouvement du centre de masse, noté G. Le champ de pesanteur terrestre local $\vec{g}$ est considéré uniforme et les frottements liés à l'action de l'air sont supposés négligeables face au poids.

Données :

- intensité de la pesanteur terrestre : $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- taille moyenne d'un crapaud *Bufo bufo* : 10 cm.

Le mouvement du centre de masse G du crapaud est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen et muni du système d'axes (O*x*, O*z*), respectivement horizontal muni du vecteur unitaire $\vec{i}$ et vertical muni du vecteur unitaire $\vec{j}$ (voir figure 1).

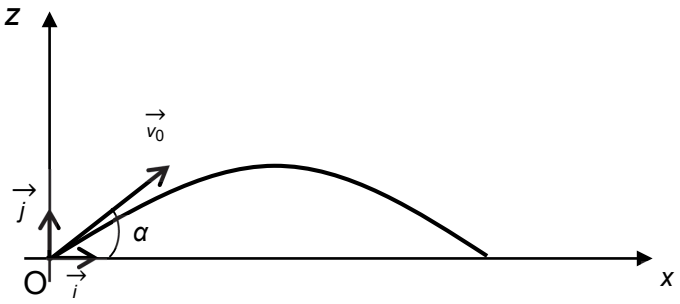


Figure 1. Modélisation du saut du crapaud

À la date $t = 0$ s, le centre de masse G est placé à l'origine du repère O et son vecteur vitesse initiale, noté $\vec{v_0}$, a une direction faisant un angle α avec l'axe horizontal (O*x*). On note v_0 la norme de $\vec{v_0}$.

Q1. Établir les expressions littérales des composantes a_x et a_z du vecteur accélération $\vec{a_G}$ du centre de masse du crapaud suivant les axes O*x* et O*z*.

Q2. Établir les expressions littérales des composantes $v_x(t)$ et $v_z(t)$ du vecteur vitesse $\vec{v_G}$ du centre de masse du crapaud suivant les axes O*x* et O*z*.

Q3. Montrer que les expressions littérales des équations horaires $x(t)$ et $z(t)$ de la position du centre de masse G du crapaud au cours de son mouvement s'écrivent :

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

Q4. Établir l'expression de la durée du saut du crapaud, notée t_{saut}, en fonction de v_0, g, et α.

Q5. En utilisant l'expression de $x(t)$ et l'expression de t_{saut} obtenue à la réponse à la question **Q4**, montrer que la vitesse v_0 permettant au crapaud d'effectuer un saut de longueur d est donnée par la relation :

$$v_0 = \sqrt{\frac{g \cdot d}{2\sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha)}}$$

Q6. Sachant que les crapauds les plus puissants peuvent faire des sauts d'une longueur égale à 20 fois leur taille, calculer la valeur de v_0 qu'ils atteignent pour un angle $\alpha = 45°$.

La hauteur maximale z_{max} d'un saut est obtenue lorsque ce saut est vertical ; l'angle α vaut alors $\alpha = 90°$, la vitesse initiale est toujours notée v_0.

Q7. Établir que la hauteur maximale d'un saut a pour expression littérale :

$$z_{max} = \frac{v_0^2}{2g}$$

Q8. En déduire la valeur de la hauteur de barrière minimale, notée $H_{champion}$, qui permet d'arrêter les crapauds les plus puissants, capables de sauter verticalement avec une vitesse initiale v_0 de valeur calculée à la question **Q6**.

Q9. Les barrières mesurent en réalité 50 à 60 cm de hauteur. Donner un argument permettant d'expliquer pourquoi on choisit d'installer des barrières d'une hauteur inférieure à $H_{champion}$.

EXERCICE 3 - MODÉLISATION D'UN DÉTECTEUR CAPACITIF D'HUMIDITÉ (6 points)

Correctement calibré, un système d'arrosage automatique de végétaux permet un arrosage homogène, à un moment opportun et sans gaspillage d'eau. À cet effet, il peut être déclenché grâce à l'utilisation d'un détecteur capacitif d'humidité du sol.

L'objectif de cet exercice est d'étudier une modélisation simple d'un détecteur capacitif d'humidité puis de l'utiliser pour illustrer le principe d'une mesure de la teneur en eau d'un sol.

Données :

- dans cet exercice, le détecteur capacitif d'humidité est modélisé par un condensateur plan dont la capacité C varie en fonction de l'humidité du sol ;
- le condensateur est constitué de deux plaques (ou armatures) métalliques de surface S séparées d'une distance d plantées dans un sol de permittivité ε :

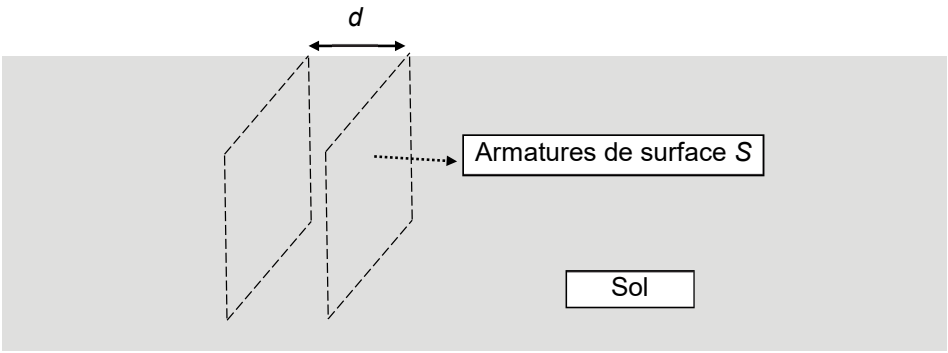
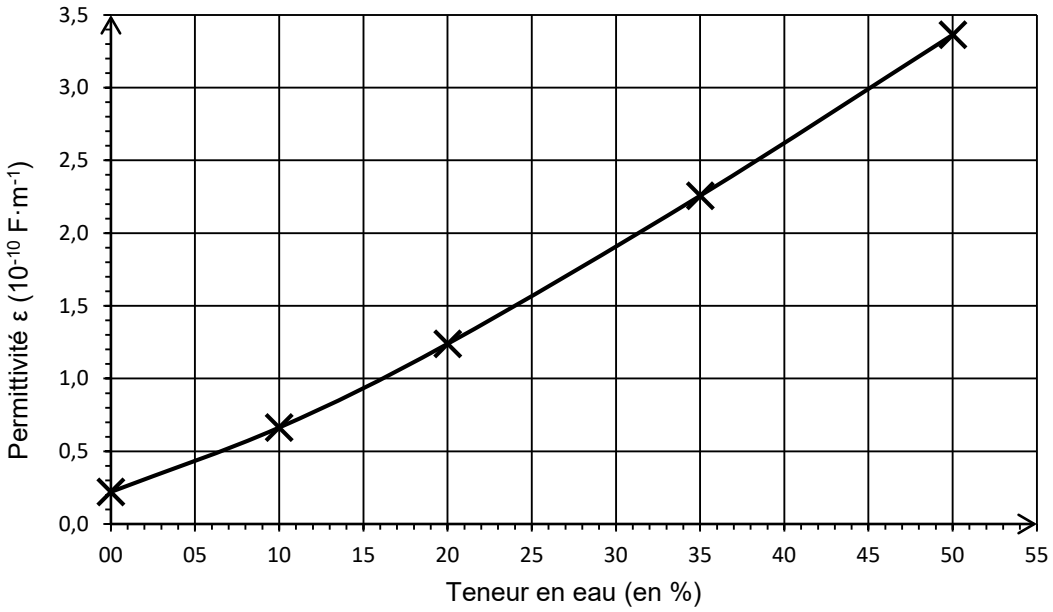


Figure 1. Schéma simplifié du condensateur d'un détecteur d'humidité

- la capacité C (en farad F) du condensateur s'exprime en fonction de la surface S (en m^2) de ses armatures, de la distance d (en m) qui les sépare et d'un paramètre caractéristique du sol appelé permittivité ε (en $F \cdot m^{-1}$) du sol par la relation :

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S}{d}$$

- on appelle « teneur en eau » le pourcentage volumique d'eau dans le sol ;
- on présente la courbe de la permittivité ε d'un sol argileux en fonction de sa teneur en eau :



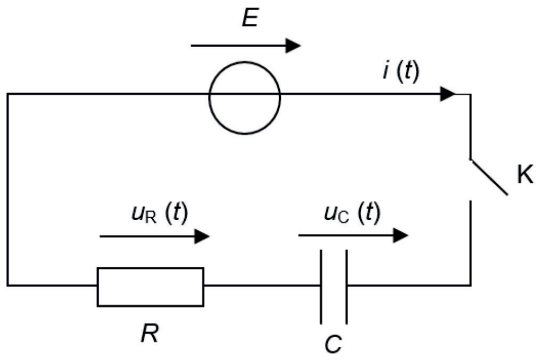
D'après www.hal.laas.fr

Figure 2. Permittivité du sol en fonction de la teneur en eau du sol

1. Modélisation de la charge du condensateur

Q1. Prévoir qualitativement le sens de variation de la capacité C du détecteur capacitif d'humidité quand la teneur en eau d'un sol argileux augmente.

Le condensateur de capacité C, modélisant le détecteur, est branché en série avec un générateur délivrant une tension constante E, un interrupteur K et un conducteur ohmique de résistance R. Le circuit ainsi constitué est modélisé par un circuit de type RC représenté ci-dessous :



À la date $t = 0$ s, le condensateur est déchargé et on ferme l'interrupteur. On souhaite établir l'expression de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur.

Q2. Montrer que la tension aux bornes du condensateur obéit à l'équation différentielle ci-dessous. Exprimer littéralement le temps caractéristique τ du circuit en fonction de R et de C.

$$\tau \times \frac{du_C}{dt} + u_C = E$$

Q3. Vérifier que la fonction $u_c(t) = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ est solution de cette équation différentielle et qu'elle satisfait à la condition imposée à la date $t = 0$ s.

Q4. Montrer que la valeur de u_C à l'instant τ est approximativement : $u_C(\tau) = 0{,}63 \times E$.

2. Modélisation de la mesure de la teneur en eau d'un sol argileux

La mesure du temps caractéristique du circuit RC permet d'accéder à la valeur de la teneur en eau du sol. Cette mesure est réalisée à l'aide d'un microcontrôleur connecté au circuit RC décrit ci-dessus. Il permet entre autres :

- de commander des alternances charge – décharge du condensateur ;
- de mesurer la tension aux bornes du condensateur ;
- d'afficher, après calcul, la valeur de la teneur en eau.

Pour déterminer le temps caractéristique du circuit RC, on enregistre l'évolution temporelle de la tension aux bornes du condensateur à l'aide du microcontrôleur ; celui-ci relève 52 000 valeurs de la tension par seconde.

Pour que la mesure soit suffisamment précise, on doit disposer d'au moins 10 valeurs de tension aux bornes du condensateur avant d'atteindre le temps caractéristique du circuit RC.

Q5. Montrer que le temps caractéristique τ du circuit RC doit être au minimum de l'ordre de 200 µs.

Le condensateur possède les caractéristiques géométriques suivantes : $S = 1{,}0\times10^{-1}$ m^2 et $d = 1{,}0\times10^{-2}$ m. La valeur de la résistance R du circuit est $R = 2{,}2\times10^{5}$ Ω.

Q6. À l'aide de la contrainte sur le temps caractéristique τ du circuit RC, déterminer la teneur minimale en eau d'un sol argileux qu'il est possible de mesurer avec ce dispositif.

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 doit être correctement présentée.

Le microcontrôleur réalise un traitement automatique des données s'appuyant sur un programme, écrit en langage Python, dont une partie est donnée ci-dessous :

```
1 # Arrosage automatique pour un sol argileux
2 E = 5.0
3 tension = 0                                   # définition de la tension aux bornes du condensateur
4 t_i = time.time()                             # définition de l'instant initial

5 while tension < [          ]                  # boucle et condition
6 float tension = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0)   # transforme la mesure du microcontrôleur en tension

7 t_f = time.time()                             # mesure de l'instant final
8 tau = t_f – t_i
9 print("valeur de tau en ms :", tau)           # affichage d'une valeur sur l'écran
```

La commande « while » associée à une condition permet de créer une boucle qui répète la liste d'instructions qui suit, tant que la condition est satisfaite.

Q7. Indiquer l'objectif final de cet extrait de programme.

Q8. Recopier la ligne 5 du programme sur la copie et compléter la condition sur la valeur de la tension aux bornes du condensateur.

Le détecteur est inséré dans un sol argileux. Dans ce type de sol, la teneur en eau doit être comprise entre 24 % et 38 % pour qu'une plante puisse y avoir une croissance normale.

Le programme renvoie le résultat suivant :

```
valeur de tau en ms : 0,28676887987
```

Q9. Déterminer si la teneur en eau mesurée dans ce sol argileux est suffisante pour y assurer une croissance normale d'une plante.