EXERCICE 1. La vitamine C (9 points)

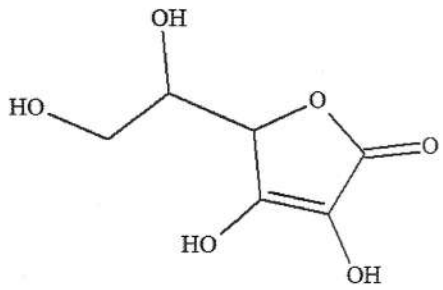
La vitamine C, ou acide ascorbique, est une espèce chimique que l'on trouve dans de nombreux fruits et légumes. Une carence en vitamine C peut provoquer le scorbut.

On trouve, dans le commerce, des compléments alimentaires sous forme de gélules ou de comprimés de vitamine C.

L'objectif de cet exercice est d'étudier la synthèse ainsi que deux dosages possibles de l'acide ascorbique.

Données :

- formule topologique de la molécule d'acide ascorbique ;



- masse molaire de l'acide ascorbique : $M_A = 176{,}1\ \text{g·mol}^{-1}$;
- masse molaire du glucose : $M_G = 180{,}2\ \text{g·mol}^{-1}$;
- constante de Faraday : $\mathcal{F} = 9{,}65 \times 10^4\ \text{C·mol}^{-1}$;
- charge Q (en C) parcourant le circuit pendant la durée Δt (en s) :
  - $Q = I \cdot \Delta t$ avec I intensité du courant (en A) ;
  - $Q = n_e \cdot \mathcal{F}$ et avec n_e la quantité d'électrons échangée en mol.

Zone de virage de quelques indicateurs colorés :

Indicateur coloré	Zone de virage (pH)	Forme acide	Forme basique
Hélianthine	3,2 – 4,4	Rouge	Jaune
Rouge de méthyle	4,2 – 6,2	Rouge	Jaune
Bleu de bromothymol (BBT)	6,0 – 7,6	Jaune	Bleu
Rouge de crésol	7,2 – 8,8	Jaune	Rouge
Indicateur TA	8,2 – 9,8	Incolore	Rose

Accord d'une mesure avec une valeur de référence :

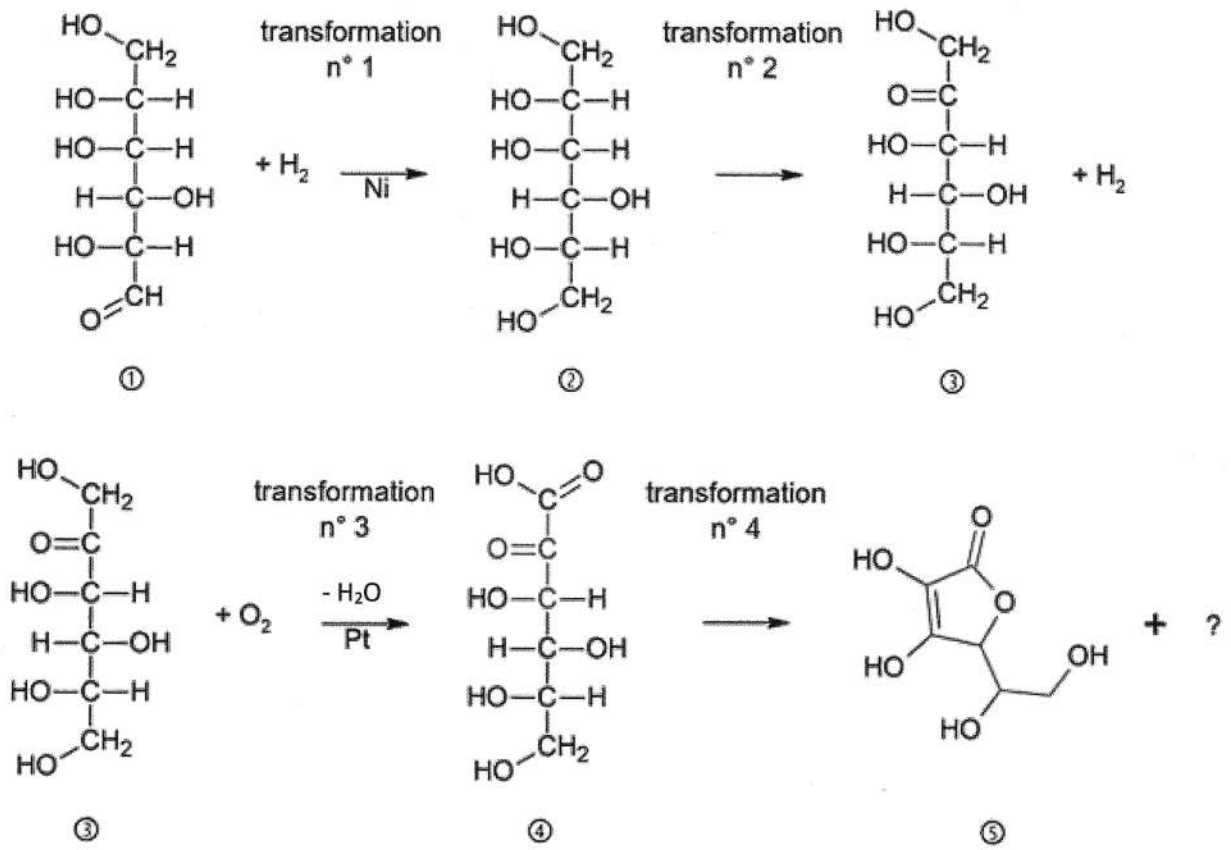
On note : $z = \dfrac{|x - x_{\text{ref}}|}{u(x)}$

avec :
- x : la valeur mesurée ;
- x_{ref} : la valeur de référence ;
- $u(x)$: l'incertitude-type associée à la mesure de x.

Le résultat d'une mesure est considéré en accord avec une valeur de référence si la valeur du quotient z est inférieure ou égale à 2.

Partie 1. Étude de la synthèse de vitamine C

Le procédé Reichstein est un procédé chimique pour la production de l'acide ascorbique, ou vitamine C, à partir du glucose. Le procédé est décrit par les quatre transformations de la figure 1.



① : glucose ; ② : sorbitol ; ③ : sorbose ; ④ : acide 2-kéto-gulonique ; ⑤ : acide ascorbique.

Le nickel Ni et le platine Pt des transformations 1 et 3 sont des catalyseurs.

Figure 1. Les quatre transformations du procédé Reichstein. *D'après Wikipedia, 2025*

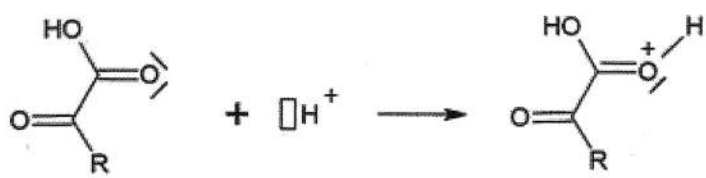
Q1. Nommer la fonction chimique qui apparait et celle qui disparait lors de la transformation n° 1 de la synthèse de la vitamine C.

Q2. Indiquer la catégorie des réactions modélisant les transformations n° 1 et n° 3 parmi les propositions suivantes : acido-basique, oxydo-réduction, élimination, addition, substitution.

La transformation n° 4 est une élimination.

Q3. Écrire la formule semi-développée de la molécule ⑤ et indiquer quelle est l'autre molécule formée lors de l'étape n° 4, représentée par un point d'interrogation sur la figure 1.

La première étape du mécanisme de la transformation n° 4 fait intervenir un acide en tant que catalyseur (R correspond à une partie non représentée de la molécule n° 4) :



Q4. Reproduire cette première étape sur votre copie en ajoutant la flèche courbe qui explique la formation de la liaison O–H.

À la suite de différentes améliorations de ce procédé, le rendement actuel total de la transformation de glucose en acide ascorbique est d'environ 60 %.

Q5. La production mondiale annuelle d'acide ascorbique de synthèse est de 80 000 tonnes. Déterminer la masse de glucose nécessaire à cette production.

Dans les deux parties suivantes, on souhaite déterminer, de deux façons différentes, la masse d'acide ascorbique présente dans une gélule. Pour cela, on réalise une solution S selon le protocole suivant :

- placer tout le contenu d'une gélule dans une fiole jaugée de volume $V_0 = 500\ \text{mL}$ et remplir à moitié avec de l'eau distillée ;
- agiter pour dissoudre puis compléter jusqu'au trait de jauge, homogénéiser la solution S obtenue.

Partie 2. Dosage par titrage de l'acide ascorbique présent dans une gélule

Dans cette partie, on réalise le dosage par titrage colorimétrique de la solution S selon le protocole suivant :

- remplir convenablement la burette avec la solution titrante d'hydroxyde de sodium de concentration $C = 5{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol·L}^{-1}$;
- prélever précisément $V_{S1} = 10{,}0\ \text{mL}$ de solution S et les verser dans un erlenmeyer ;
- ajouter quelques gouttes de rouge de crésol ;
- placer sous agitation magnétique ;
- ajouter lentement, à l'aide d'une burette graduée, une solution d'hydroxyde de sodium $(\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq}))$ jusqu'à ce qu'une goutte fasse changer la couleur du contenu de l'erlenmeyer.

Le volume de solution d'hydroxyde de sodium versé est alors $V_E = 11{,}25\ \text{mL}$.

Q6. Indiquer quelle verrerie utiliser pour prélever précisément $V_{S1} = 10{,}0\ \text{mL}$ de solution S.

Q7. Indiquer quel changement de couleur a été observé dans l'erlenmeyer lors du titrage avec le rouge de crésol.

On simule un suivi pH-métrique de ce dosage. On obtient la courbe de la figure 2.

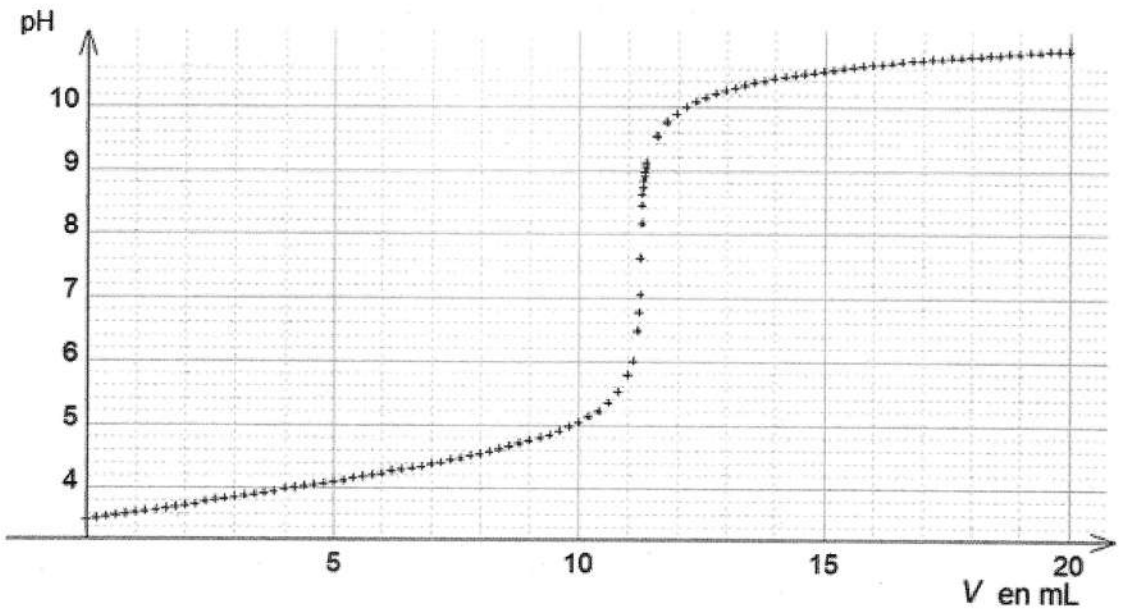


Figure 2. Courbe simulée du titrage de la solution S par la solution d'hydroxyde de sodium

Q8. Préciser si le choix du rouge de crésol pour repérer l'équivalence de ce titrage est pertinent. Justifier et préciser si un autre indicateur coloré aurait pu être utilisé.

Dans la suite de cette partie, on note AH la molécule d'acide ascorbique.

Q9. Écrire l'équation de la réaction support du dosage de l'acide ascorbique par l'hydroxyde de sodium.

Q10. En déduire que la masse d'acide ascorbique présente dans la gélule est $m_1 = 495\ \text{mg}$.

Partie 3. Dosage par coulométrie

Dans cette partie, le dosage, dit dosage par coulométrie, s'appuie sur un montage d'électrolyse exploitant les propriétés réductrices de la molécule d'acide ascorbique (figure 3 ci-dessous).

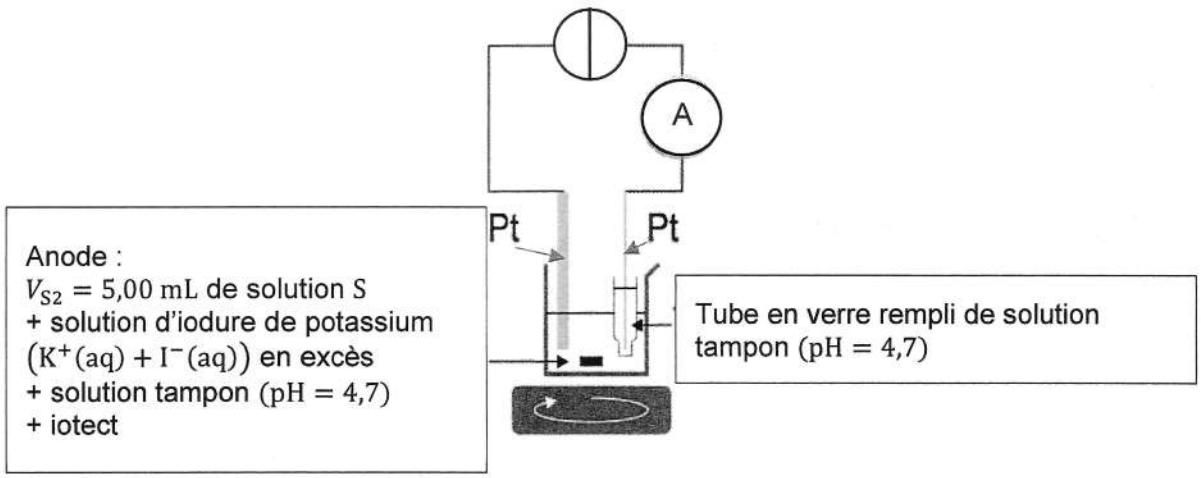


Figure 3. Montage du titrage coulométrique de la vitamine C

L'iotect ajouté dans le bécher est un indicateur qui prend une coloration noire en présence de diiode.

Le générateur est un générateur de courant : il maintient un courant d'intensité I constante dans le circuit.

À l'anode, lorsque le courant est établi, les ions iodure I^- sont oxydés en diiode I_2. Le diiode ainsi formé oxyde instantanément l'acide ascorbique selon la transformation modélisée par la réaction d'équation suivante :

$$\underset{\text{acide ascorbique}}{C_6H_8O_6} + I_2 \longrightarrow C_6H_6O_6 + 2\,I^- + 2\,H^+ \qquad \text{réaction A}$$

Quand la totalité de l'acide ascorbique est oxydée, la concentration en diiode augmente dans le bécher, la solution prend alors progressivement une coloration noire. On arrête alors le chronomètre.

On mesure la durée Δt entre l'établissement du courant et l'apparition d'une coloration noire dans la solution.

D'après le BUP n° 972 de mars 2015

Q11. Rappeler les propriétés d'une solution tampon.

L'expérience a duré $\Delta t = 3\ \text{min}\ 55\ \text{s}$ avec un courant d'intensité $I = 23{,}9\ \text{mA}$.

Q12. Calculer, dans l'unité du système international, la valeur de la charge Q qui a circulé dans le circuit pendant la durée Δt.

L'acide ascorbique appartient au couple oxydant/réducteur : $C_6H_6O_6$ / $C_6H_8O_6$.

Q13. Écrire la demi-équation électronique du couple $C_6H_6O_6$ / $C_6H_8O_6$.

Q14. Établir la relation entre la quantité d'électricité Q, la concentration en masse C_{mA} d'acide ascorbique $C_6H_8O_6$ de la solution S, le volume V_{S2} de solution S, la masse molaire M_A de l'acide ascorbique et la constante de Faraday $\mathcal{F}$.

Q15. Déterminer la valeur de la masse m_2 d'acide ascorbique présente dans la gélule.

Lors de cette expérience, la coloration noire de la solution apparait progressivement, la durée Δt est donc déterminée avec une incertitude non négligeable. On estime que la masse d'acide ascorbique est alors déterminée avec une incertitude-type $u(m_2) = 10$ mg.

Q16. Déterminer si le résultat de ce deuxième dosage est cohérent avec le premier qui sert alors de référence.