

CHIMIE

Durée : 3 heures

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale dans sa copie et poursuit sa composition en indiquant la raison des initiatives qu'il est amené à prendre de ce fait.

Les calculatrices programmables et alphanumériques sont autorisées.

L'usage de tout ouvrage de référence et de tout document est strictement interdit.

Les candidats doivent respecter les notations de l'énoncé et préciser, dans chaque cas, la numérotation de la question posée.

Une grande attention sera apportée à la clarté de la rédaction et à la présentation des différents schémas.

Les données nécessaires à la résolution de certaines questions et des applications numériques sont données directement dans le texte ou sont consignées en annexe à la page 7.

Le sujet proposé porte sur les sucres et comporte cinq parties pouvant être traitées de façon indépendante.

- Partie I : La molécule de glucose.
- Partie II : La molécule de fructose.
- Partie III : Synthèse du glucose et glycolyse.
- Partie IV : Etude cinétique de l'hydrolyse du saccharose.
- Partie V : Titration des sucres d'un jus d'orange.

On admettra que toutes les solutions aqueuses utilisées sont idéales et on confondra activité et concentration.

1. LA MOLECULE DE GLUCOSE.

1.1. Présentation de la molécule de glucose sous sa forme linéaire.

- 1.1.1. Le glucose est un sucre de la famille des hexoses. Sa formule brute est $C_6H_{12}O_6$ et sa formule semi-développée est $HOH_2C-(CHOH)_4-CHO$.
Nommer les fonctions chimiques et les groupes caractéristiques présents dans la molécule de glucose ?
- 1.1.2. Indiquer sur la formule semi-développée de la molécule de glucose les atomes de carbone asymétrique.
- 1.1.3. Combien de stéréoisomères de configuration correspondent à cette formule ?
- 1.1.4. La molécule de D-glucose correspond à un des stéréoisomères du glucose. Une représentation est donnée **en annexe** (figure 1).
Expliquer, comment est établie la représentation de Fischer des sucres, en prenant comme exemple la molécule de glycéraldéhyde ou 2,3-dihydroxypropanal, le plus simple des monosaccharides.
- 1.1.5. Donner les configurations absolues *R* ou *S* des différents atomes de carbone asymétrique du D-glucose.
- 1.1.6. A quoi correspond la dénomination *D* dans le D-glucose ?
- 1.1.7. Ecrire la représentation de Fischer du L-glucose. Quelle est sa relation de stéréoisomérisation avec le D-glucose ?

1.2. Présentation de la molécule de glucose sous sa forme cyclique.

En solution aqueuse, le D-glucose existe principalement sous deux formes cycliques appelées α -D-glucopyranose (figure 2) et β -D-glucopyranose (figure 3).

Ces deux formes sont en équilibre en solution aqueuse et le passage de la forme α à la forme β se fait par l'ouverture du cycle au niveau de la fonction hémiacétal.

- 1.2.1. Quelle relation de stéréoisomérisation existe-t-il entre les deux formes α et β ? Par quoi diffèrent ces deux formes ?
- 1.2.2. Quel nom particulier attribue-t-on à ce type de stéréoisomères ?
- 1.2.3. Des deux stéréoisomères α et β , lequel est le plus stable ? Justifier la réponse.
- 1.2.4. Donner les représentations de Haworth de ces deux stéréoisomères et entourer sur l'une d'elles la fonction hémiacétal.
- 1.2.5. Donner le mécanisme de la réaction de formation d'un hémiacétal à partir d'un aldéhyde noté R^1-CHO et d'un alcool noté R^2-OH . Préciser la nature et le rôle du catalyseur.
- 1.2.6. En utilisant la représentation de Fischer du D-glucose, expliquer la cyclisation du glucose en indiquant avec précision les fonctions concernées.

1.3. La mutarotation du glucose.

Que l'on mette en solution aqueuse, à la température de 25°C, l'un ou l'autre des deux stéréoisomères α et β , à une concentration de 100 g.L⁻¹, dans un tube polarimétrique de longueur 10 cm, on constate que le pouvoir rotatoire θ évolue dans le temps et se stabilise, après quelques heures, à la valeur $\theta_f = + 5,25^\circ$. Les pouvoirs rotatoires spécifiques des deux stéréoisomères α et β valent respectivement

$$[\alpha]_{\lambda}^T = + 112^\circ \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{mL} \cdot \text{dm}^{-1} \text{ et } [\beta]_{\lambda}^T = + 19^\circ \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{mL} \cdot \text{dm}^{-1}.$$

- 1.3.1. Les molécules des deux stéréoisomères α et β sont-elles dextrogyres ou lévogyres ? Justifier la réponse.
- 1.3.2. Existe-t-il un lien entre la propriété physique dextrogyre et la dénomination *D* du glucose ?
- 1.3.3. De quels facteurs dépend le pouvoir rotatoire spécifique d'une espèce ? Quelles conditions expérimentales sont généralement utilisées pour les valeurs tabulées ?
- 1.3.4. Donner l'expression littérale de la loi de Biot pour une solution, en précisant la signification des différents termes.
- 1.3.5. En admettant que le pourcentage de la molécule de glucose linéaire est négligeable par rapport aux formes cycliques, calculer les pourcentages des deux stéréoisomères α et β présents dans la solution lorsque l'équilibre est atteint.
- 1.3.6. Les pourcentages obtenus sont-ils en accord avec la réponse donnée à la question 1.2.3 ?
- 1.3.7. Déterminer la valeur de l'enthalpie libre standard de la réaction d'isomérisation $\alpha \rightleftharpoons \beta$, à la température de 25 °C.

2. LA MOLECULE DE FRUCTOSE.

2.1. Présentation de la molécule de fructose.

Le fructose, comme le glucose, est un hexose de formule brute $C_6H_{12}O_6$. Le nom officiel du fructose est le (3*S*,4*R*,5*R*)-1,3,4,5,6-pentahydroxyhexan-2-one. En milieu basique, à chaud, le fructose s'isomérisé en glucose.

- 2.1.1. Quelle relation d'isomérisation y-a-t-il entre les molécules de fructose et de glucose ?
- 2.1.2. Donner la représentation de Fischer du fructose.
- 2.1.3. Comment s'appelle, de façon générale, la réaction d'isomérisation qui transforme le fructose en glucose ?
- 2.1.4. Donner un mécanisme simplifié de cette réaction d'isomérisation en catalyse basique.
- 2.1.5. Le réactif de Fehling permet de mettre en évidence le caractère réducteur des aldéhydes. Le test du réactif de Fehling est-il positif avec une solution aqueuse de glucose ? Avec une solution aqueuse de fructose ?

2.2. Quelques éléments de réflexion sur le réactif de Fehling.

Le réactif de Fehling, solution limpide, de couleur bleu violet intense, est obtenu en mélangeant, juste avant son utilisation, les deux solutions notées *A* et *B* suivantes :

- La solution A est une solution aqueuse de sulfate de cuivre(II) de concentration molaire $0,28 \text{ mol.L}^{-1}$.
 - La solution B est une solution aqueuse de tartrate de sodium et de potassium $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ de concentration molaire $1,24 \text{ mol.L}^{-1}$ dans de la soude 2 mol.L^{-1} .
- On mélange 10 mL de chacune des solutions A et B pour réaliser le réactif de Fehling. On admettra que le pH du réactif de Fehling est voisin de 14.
- On négligera la formation des ions complexes $[\text{Cu}(\text{OH})_3](\text{aq})$, $[\text{Cu}(\text{OH})_4]^{2-}(\text{aq})$, de l'espèce $[\text{Cu}(\text{OH})_2](\text{aq})$ et on admettra que le seul ion complexe formé entre les ions cuivre(II) et les ions tartrate notés T^{2-} est l'ion $[\text{CuT}_2]^{2-}(\text{aq})$ dont la constante de formation β_2 vaut $1,3 \cdot 10^5$ à 298 K.
- 2.2.1. L'ion cuivre(II) donne en solution aqueuse, l'ion complexe $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}(\text{aq})$. Donner le nom et la géométrie de cet ion complexe.
 - 2.2.2. L'ion complexe $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}(\text{aq})$ est un monoacide faible de $pK_a = 7,3$. Donner la formule de sa base conjuguée et déterminer la valeur du pH d'une solution de nitrate de cuivre(II) de concentration molaire $0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ en justifiant les approximations réalisées. On précise que l'ion nitrate est une base négligeable dans l'eau.
 - 2.2.3. Déterminer, en justifiant les approximations réalisées, la valeur du pH de la solution A sachant que le pK_a du couple $\text{HSO}_4^- / \text{SO}_4^{2-}$ vaut 1,8.
 - 2.2.4. On réalise le réactif de Fehling en versant progressivement la solution B dans la solution A. A quel pH précipiterait l'hydroxyde de cuivre(II) $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$ en supposant que le volume ajouté de la solution B, pour atteindre cette valeur, est très faible ? A 298 K, pour $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$, $pK_s = 18,6$.
 - 2.2.5. Ecrire l'équation de la réaction qui traduit la solubilisation de l'hydroxyde de cuivre(II) $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$ par les ions tartrate $T^{2-}(\text{aq})$ et déterminer la valeur de sa constante d'équilibre notée $K_1^0(T)$.
 - 2.2.6. Déterminer la valeur de la concentration molaire de l'ion complexe $[\text{CuT}_2]^{2-}(\text{aq})$ dans le réactif de Fehling et montrer que celle-ci ne permet pas d'expliquer l'obtention d'une solution limpide de couleur bleu violet.
 - 2.2.7. Peut-on justifier d'un point de vue thermodynamique la formation du réactif de Fehling ? Quel(s) facteur(s) permet(tent) d'expliquer que le réactif de Fehling est une solution limpide. On signale qu'une solution de réactif de Fehling, laissée plusieurs semaines dans un tube à essai, finit par donner un précipité bleu.
 - 2.2.8. Le réactif de Fehling, chauffé au bain-marie dans un tube à essai avec une solution de glucose, donne un précipité rouge d'oxyde de cuivre(I) $\text{Cu}_2\text{O}(\text{s})$. Ecrire l'équation de la réaction mise en jeu sachant que les deux couples qui interviennent sont : $[\text{CuT}_2]^{2-}(\text{aq}) / \text{Cu}_2\text{O}(\text{s})$ et $\text{R-COO}^-(\text{aq}) / \text{RCHO}(\text{aq})$.

3. SYNTHÈSE DU GLUCOSE ET GLYCOLYSE.

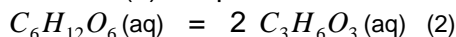
3.1. La synthèse chlorophyllienne.

Les plantes à chlorophylle, sous l'action de la lumière et à partir du dioxyde de carbone gazeux et d'eau liquide, synthétisent les glucides qui constituent des réserves d'énergie nécessaires à leurs développements biologiques.

- 3.1.1. Ecrire l'équation de la réaction (1) de synthèse chlorophyllienne du glucose $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ que l'on considérera comme solide.
- 3.1.2. Déterminer, à la température de 298 K et sous une pression de 1 bar, le volume de dioxygène gazeux dégagé lors de la synthèse de 1 kg de glucose.
- 3.1.3. Ecrire l'équation de la réaction de combustion du glucose, pris à l'état solide, et donner, sans calcul, à 298 K, la valeur de l'enthalpie standard de réaction $\Delta_r H_{(1)}^0(298\text{K})$ de la réaction (1).
- 3.1.4. Déterminer la valeur de l'enthalpie libre standard de réaction $\Delta_r G_{(1)}^0(298\text{K})$ de la réaction (1).
- 3.1.5. Dans les conditions expérimentales $p = 1 \text{ bar}$ et $T = 298 \text{ K}$, la valeur de la pression partielle du dioxygène gazeux est de 0,2 bar et celle du dioxyde de carbone gazeux de $3,3 \cdot 10^{-4} \text{ bar}$. Le système chimique étant pris dans son état initial, déterminer la valeur du quotient réactionnel de la réaction (1) en prenant l'activité de l'eau liquide égale à 1.
- 3.1.6. Déterminer la valeur de l'enthalpie libre de réaction $\Delta_r G_{(1)}(298\text{K})$ et en déduire si la transformation chimique correspondant à la réaction (1) de synthèse chlorophyllienne est spontanée ou provoquée ?
- 3.1.7. Quel est le rôle joué par la chlorophylle dans cette réaction (1) ? Quel ion métallique renferme la chlorophylle ?

3.2. La glycolyse du glucose.

Les êtres vivants utilisent le glucose comme « source d'énergie » au niveau cellulaire ; cette énergie est libérée par la réaction de glycolyse, c'est-à-dire par la coupure enzymatique d'une mole de glucose en deux moles d'acide lactique selon la réaction (2) d'équation :

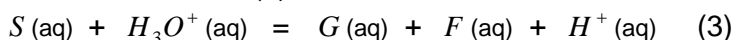


- 3.2.1. L'acide lactique obtenu par glycolyse enzymatique est uniquement de configuration *L*. Donner une explication simple à cette énantiosélectivité.
- 3.2.2. Déterminer, à 298 K, la valeur de l'enthalpie standard de formation $\Delta_f H^0(G)$ du glucose pris à l'état solide.
- 3.2.3. En négligeant les enthalpies de dissolution des différentes espèces, déterminer la valeur de l'enthalpie standard de réaction $\Delta_r H^0_{(2)}(298K)$ de la réaction (2).
- 3.2.4. L'entropie standard de réaction de la réaction (2) vaut $\Delta_r S^0_{(2)}(298K) = + 185 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$.
Justifier le signe de $\Delta_r S^0_{(2)}(298K)$.
Déterminer la valeur de l'enthalpie libre standard de réaction $\Delta_r G^0_{(2)}(298K)$ ainsi que la valeur de la constante d'équilibre $K_2^0(T)$ de la réaction (2).
- 3.2.5. En considérant que le système chimique étudié ne comporte que du glucose dans son état initial, déterminer la valeur initiale du quotient réactionnel de la réaction (2) et en déduire si la transformation chimique correspondant à la réaction (2) est spontanée ou provoquée ?

4. ETUDE CINETIQUE DE L'HYDROLYSE DU SACCHAROSE.

4.1. Détermination des ordres partiels.

L'étude porte sur la réaction dite d'inversion du saccharose dans une solution tampon à $pH = 5$, suffisamment concentrée. On admettra ainsi que le pH reste quasiment constant au cours de la transformation. L'équation de la réaction (3) est :



S étant le saccharose, *G* le glucose et *F* le fructose.

On mesure par polarimétrie la concentration du saccharose en fonction du temps. On obtient les résultats suivants :

t (min)	0	100	250	500	750	1000
[<i>S</i>] (mol.L ⁻¹)	0,400	0,345	0,280	0,195	0,140	0,100

- 4.1.1. En expliquant la démarche choisie et en effectuant une régression linéaire, montrer que la réaction est d'ordre un par rapport à *S*. Donner la valeur du coefficient de corrélation obtenu.
- 4.1.2. Déterminer la valeur de la constante de vitesse apparente $k_{app(3)}$ en précisant son unité.
- 4.1.3. Définir et déterminer la valeur du temps de demi-réaction $t_{1/2}$.

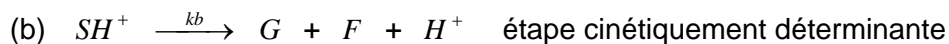
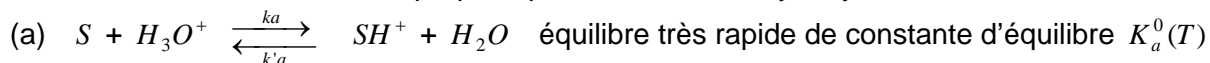
Cette réaction est maintenant réalisée avec une solution tampon à $pH = 3,8$ et on mesure à nouveau l'évolution de la concentration du saccharose en fonction du temps. Les résultats suivants sont obtenus :

t (min)	0	31	62	94
[<i>S</i>] (mol.L ⁻¹)	0,380	0,188	0,094	0,047

- 4.1.4. Déterminer la valeur de la constante de vitesse apparente $k'_{app(3)}$ pour ces nouvelles conditions expérimentales.
- 4.1.5. Déterminer l'ordre partiel de la réaction d'hydrolyse du saccharose par rapport aux ions oxonium $H_3O^+(aq)$. En déduire la valeur de la constante de vitesse $k_{(3)}$ de cette réaction et préciser son unité.

4.2. Mécanisme réactionnel de l'hydrolyse du saccharose.

Le mécanisme réactionnel suivant est proposé pour la réaction d'hydrolyse du saccharose :



On suppose que les deux réactions de constantes de vitesse k_a et k'_a sont très rapides de sorte que cet équilibre est toujours atteint quelle que soit la vitesse de consommation de SH^+ .

4.2.1. Définir un acte élémentaire ou une réaction simple.

4.2.2. Quelle est la loi de vitesse d'un acte élémentaire (loi de Van t'Hoff).

4.2.3. Peut-on appliquer l'approximation des états quasi-stationnaires à l'espèce très réactive SH^+ . Justifier la réponse.

4.2.4. Donner l'expression de la constante de vitesse $k_{(3)}$ de la réaction d'hydrolyse en fonction de la constante d'équilibre $K_a^0(T)$ et d'une des constantes de vitesse k_i du mécanisme réactionnel.

5. TITRAGE DES SUCRES D'UN JUS D'ORANGE.

Le saccharose $C_{12}H_{22}O_{11}$ et le glucose $C_6H_{12}O_6$ sont les principaux sucres contenus dans le jus d'orange. On se propose de titrer les sucres d'un jus d'orange pour bébé contenu dans une ampoule de volume $V_a = 10,0$ mL.

5.1. Titration du glucose libre contenu dans le jus d'orange.

Le protocole expérimental comporte trois étapes.

Étape n° 1 : Le contenu d'une ampoule est versé dans une fiole jaugée de 50,0 mL ainsi que les eaux de rinçage. Après avoir ajusté le niveau d'eau au trait de jauge et avoir agité la solution, la solution obtenue, notée S_0 est versée dans un becher.

Étape n° 2 : Un volume $V_0 = 20,00$ mL de la solution S_0 est prélevé avec une pipette jaugée et est transféré dans un erlenmeyer. On ajoute dans l'erlenmeyer un volume $V_1 = 25,00$ mL d'une solution de diiode I_2 (aq), étalonnée juste avant l'expérience, de concentration $C_1 = 4,95 \times 10^{-2}$ mol.L⁻¹ et un volume de 5 mL d'une solution tampon de façon à fixer le pH de la solution aux environs de 12. Quand la solution tampon est versée, la coloration caractéristique du diiode I_2 disparaît et la solution devient incolore.

On laisse reposer le mélange réactionnel pendant 30 minutes et à la fin, on chauffe le milieu réactionnel, au bain-marie, à une température d'environ 70 °C, pendant environ 5 minutes. On refroidit alors l'erlenmeyer sous l'eau du robinet et on procède à l'étape suivante.

Étape n° 3 : On ajoute au milieu réactionnel un volume de 5 mL d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration 2 mol.L⁻¹ et on constate que la coloration jaune-brunâtre réapparaît.

On procède au titrage de la solution obtenue par une solution de thiosulfate de sodium ($2Na^+$ (aq) + $S_2O_3^{2-}$ (aq)) de concentration $C_2 = 5,00 \times 10^{-2}$ mol.L⁻¹ en présence d'un indicateur de fin de réaction.

Plusieurs titrages concordants donnent un volume moyen de thiosulfate de sodium versé à l'équivalence $V_E = 24,2$ mL.

5.1.1. L'atome d'iode appartient à la colonne 17 de la classification périodique. Quel est le nom de la famille correspondant à cette colonne ?

5.1.2. Donner la formule de Lewis de l'ion iodate IO_3^- et sa géométrie d'après la théorie V.S.E.P.R.

Le diagramme potentiel-pH simplifié de l'iode est donné **en annexe**. Ce diagramme limité aux espèces I^- (aq), I_2 (aq), IO_3^- (aq), stables dans l'eau, a été tracé pour une concentration de chacune des espèces iodées égale à 10^{-1} mol.L⁻¹. La présence d'ions triiodure I_3^- (aq) dans la solution sera négligée.

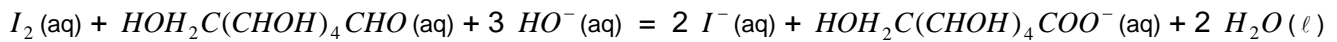
5.1.3. Indiquer les espèces qui prédominent dans les domaines I, II, III du diagramme potentiel-pH de l'iode.

5.1.4. Déterminer les valeurs des pentes des segments PQ et RQ.

5.1.5. Déterminer, par le calcul, les coordonnées du point Q.

- 5.1.6. Expliquer pourquoi la couleur caractéristique du diiode disparaît lorsque la solution tampon est versée dans la solution (étape 1). Quel type de réaction se produit-il ? Ecrire l'équation de cette réaction.
- 5.1.7. Expliquer pourquoi la couleur caractéristique du diiode réapparaît lorsque la solution d'acide chlorhydrique est versée dans la solution (étape 2). Quel type de réaction se produit-il ? Ecrire l'équation de cette réaction.
- 5.1.8. Ecrire l'équation de la réaction de titrage du diiode $I_2(aq)$ par les ions thiosulfate $S_2O_3^{2-}(aq)$. Quel indicateur permet de repérer l'équivalence du titrage avec précision (étape 3) ?

Par souci de simplification, l'équation d'oxydation du glucose en ion gluconate peut-être écrite en milieu basique en faisant intervenir le diiode $I_2(aq)$.



- 5.1.9. En appliquant la conservation de la quantité de matière en diiode, établir la relation donnant la concentration en glucose C_0 de la solution S_0 .

$$C_0 = \frac{C_1 V_1 - 0,5 C_2 V_E}{V_0}$$

- 5.1.10. Calculer la valeur de la concentration C_0 en $mol.L^{-1}$ et en déduire la valeur de la concentration massique en g/L du glucose dans une ampoule de jus d'orange pour bébé.

5.2. Titrage du glucose total du jus d'orange.

Etape 4 : On verse le contenu d'une ampoule de jus d'orange dans un ballon ainsi que les eaux de rinçage et on ajoute 5 mL d'une solution d'acide chlorhydrique à $2 mol.L^{-1}$. On chauffe le mélange réactionnel à reflux pendant environ 20 minutes puis on refroidit l'ensemble sous l'eau du robinet.

On ajoute environ 5 mL d'une solution de soude à $2 mol.L^{-1}$ de façon à retrouver un pH de l'ordre de 6. On transvase la solution obtenue dans une fiole jaugée de 50,0 mL ainsi que les eaux de rinçage, on ajuste jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée et après agitation, on verse la solution obtenue, notée S'_0 dans un becher.

Un volume $V'_0 = 20,00 mL$ de la solution S'_0 est prélevé avec une pipette jaugée et est transféré dans un erlenmeyer. On procède ensuite aux étapes 2 et 3.

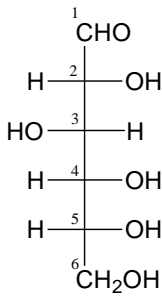
Plusieurs titrages concordants donnent un volume moyen de thiosulfate de sodium versé à l'équivalence $V'_E = 21,8 mL$.

Dans les conditions expérimentales, le fructose n'est pas oxydé par le diiode.

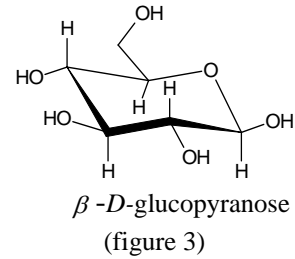
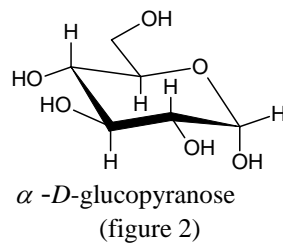
- 5.2.1 Faire le schéma annoté d'un montage à reflux et expliquer sommairement son principe.
- 5.2.2. Quelle transformation se produit lorsque la solution de jus d'orange est chauffée à reflux avec la solution d'acide chlorhydrique ? Ecrire l'équation de la réaction qui lui est associée.
- 5.2.3. Déterminer la valeur de la concentration totale C'_0 de la solution en glucose.
- 5.2.4 En déduire la valeur de la concentration massique en g/L du saccharose dans le jus d'orange d'une ampoule pour bébé.

FIN DE L'ENONCE

ANNEXE



D-glucose (figure 1)



- Numéros atomiques : O (Z = 8) ; I (Z = 53) ; Cu (Z = 29).
- Masses molaires (g.mol⁻¹) : C = 12 ; O = 16 ; H = 1.
- Potentiels standard d'oxydoréduction à 298 K.

$$I_2(aq) / I^-(aq) : E^0 = 0,62 \text{ V} ; IO_3^-(aq) / I_2(aq) : E^0 = 1,20 \text{ V} ; S_4O_6^{2-}(aq) / S_2O_3^{2-}(aq) : E^0 = 0,08 \text{ V}.$$

- Quelques grandeurs thermodynamiques à 298 K.

	glucose (s)	acide lactique (s)	O ₂ (g)	H ₂ O (ℓ)	CO ₂ (g)
$\Delta_{comb} H^0$ (kJ.mol ⁻¹)	- 2816,0				
$\Delta_f H^0$ (kJ.mol ⁻¹)		- 675,1		- 286,0	- 393,7
S^0 (J.K ⁻¹ .mol ⁻¹)	300,5		205,1	69,9	213,7

- $\frac{R.T}{F} \cdot \ln(10) = 0,06 \text{ V}$ à 298 K. Constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Diagramme potentiel – pH simplifié de l'iode.

Diagramme tracé pour une concentration de chacune des espèces iodées égale à 10⁻¹ mol.L⁻¹.

