

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2018

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Spécialité

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30 – COEFFICIENT : 8

**L'usage de tout modèle de calculatrice,
avec ou sans mode examen, est autorisé.**

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1 à 12.
Le document réponse de la pages 12 est à rendre avec la copie.

Le sujet est composé de trois exercices indépendants les uns des autres.

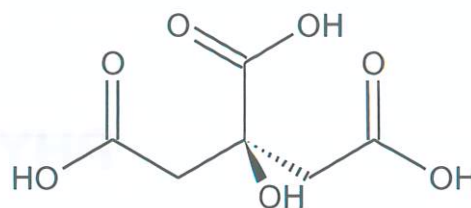
Le candidat doit traiter les trois exercices.

Exercice I. L'acide citrique au quotidien (9 points)

Les différentes parties sont indépendantes.

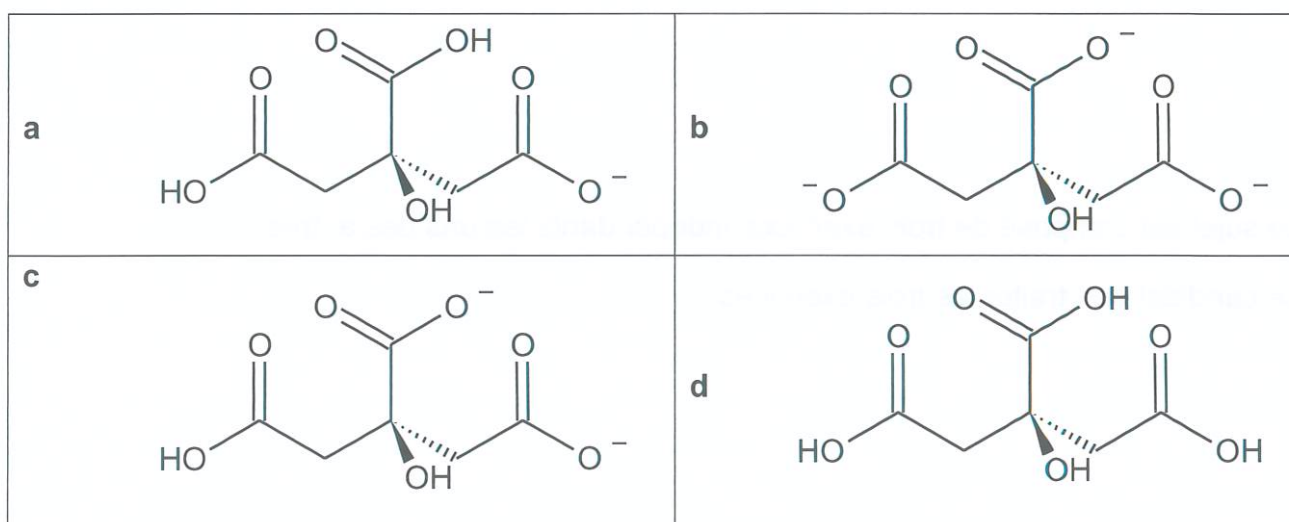
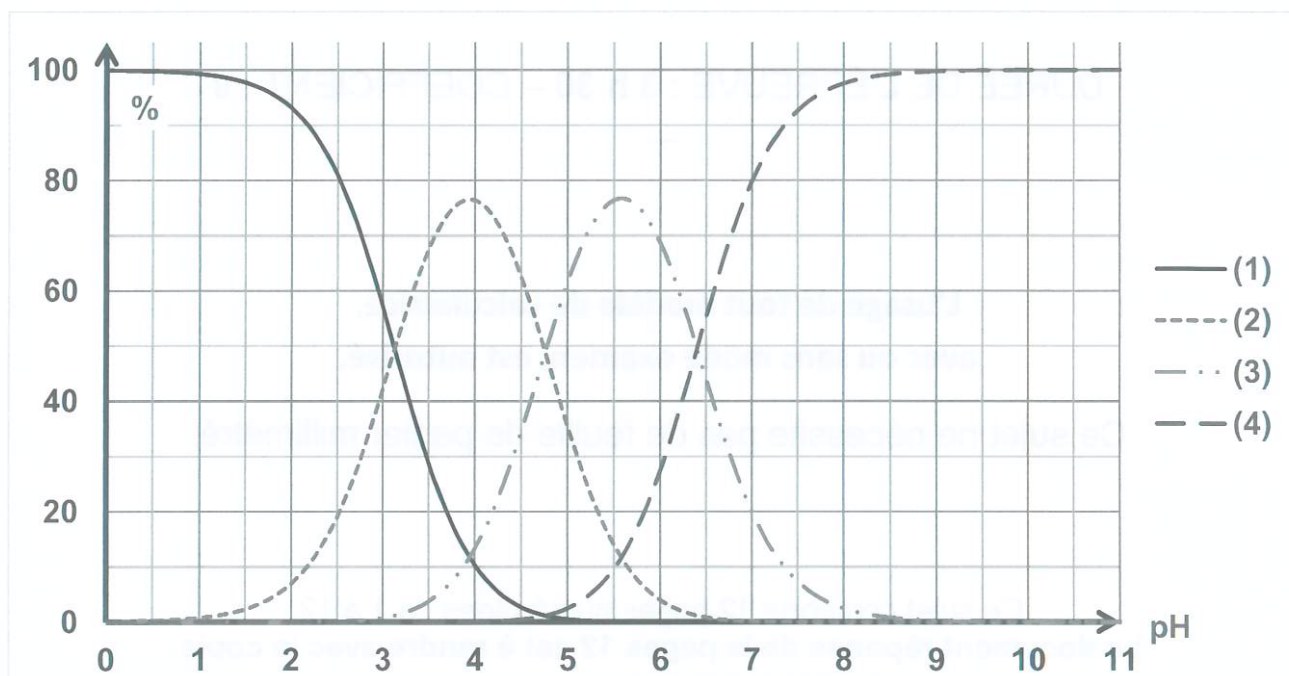
L'acide citrique est un triacide présent en abondance dans le citron. La synthèse mondiale approche les deux millions de tonnes par an. Il est utilisé dans les boissons, les cosmétiques, en pharmacie, etc.

Dans le commerce, on peut le trouver sous forme de poudre blanche anhydre ou monohydratée. Le but de cet exercice est d'étudier les propriétés acido-basiques de l'acide citrique, de trouver la forme présente dans un détartrant et de déterminer la pureté d'un produit commercial.



Représentation de la molécule d'acide citrique

Document 1 : diagramme de distribution (pourcentage des espèces présentes) en fonction du pH et représentations des différentes espèces acido-basiques des couples de l'acide citrique.



1. Étude des propriétés acido-basiques de l'acide citrique

- 1.1. Rappeler ce qu'est un acide selon Brønsted, puis expliquer pourquoi l'acide citrique est qualifié de « triacide ».
- 1.2. Parmi les quatre espèces acido-basiques (a, b, c, d), indiquer celle qui prédomine en milieu très acide et celle qui prédomine en milieu très basique. Justifier.
- 1.3. Associer chaque espèce acido-basique a, b, c et d à une courbe 1, 2, 3 ou 4 du diagramme de distribution.
- 1.4. Le pH d'une solution aqueuse d'acide citrique de concentration $15 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ est d'environ 2,5.
Quelle(s) est (sont) la(les) forme(s) (a, b, c et d) prédominante(s) de l'acide citrique dans cette solution ? Estimer leurs proportions relatives.
- 1.5. Indiquer à quelle grandeur acido-basique particulière correspond la valeur de pH égale à 3,2. Justifier.
- 1.6. L'acide citrique présente-t-il un atome de carbone asymétrique ? Justifier la réponse.

2. Extraction de l'acide citrique d'un citron

L'acide citrique a été isolé en 1784 par Carl Wilhelm Scheele à partir de jus de citron.

L'extraction se déroule en différentes étapes décrites ci-dessous.

- 1) Extraire le jus d'un citron, puis le filtrer pour enlever la pulpe.
- 2) Ajuster le pH à environ 9 en ajoutant une solution aqueuse d'ammoniac concentrée.
- 3) Ajouter une solution aqueuse de chlorure de calcium, on observe alors la formation d'un précipité de citrate de calcium.
- 4) Filtrer sous vide pour récupérer le solide formé.
- 5) Amener le pH à une valeur inférieure à 1 en ajoutant une solution aqueuse d'acide sulfurique. Après agitation lente, on obtient une solution laiteuse.
- 6) Filtrer à nouveau cette solution, puis placer le filtrat dans une ampoule à décanter. Ajouter un peu d'éthanoate d'éthyle dans l'ampoule, puis, après agitation et décantation, jeter la phase aqueuse et récupérer la phase organique.
- 7) L'acide citrique est ensuite isolé à l'aide d'un évaporateur rotatif qui va évaporer le solvant organique. Le spectre infra-rouge du produit extrait est réalisé.

Données

	Eau	Éthanoate d'éthyle
Densité	1,0	0,92

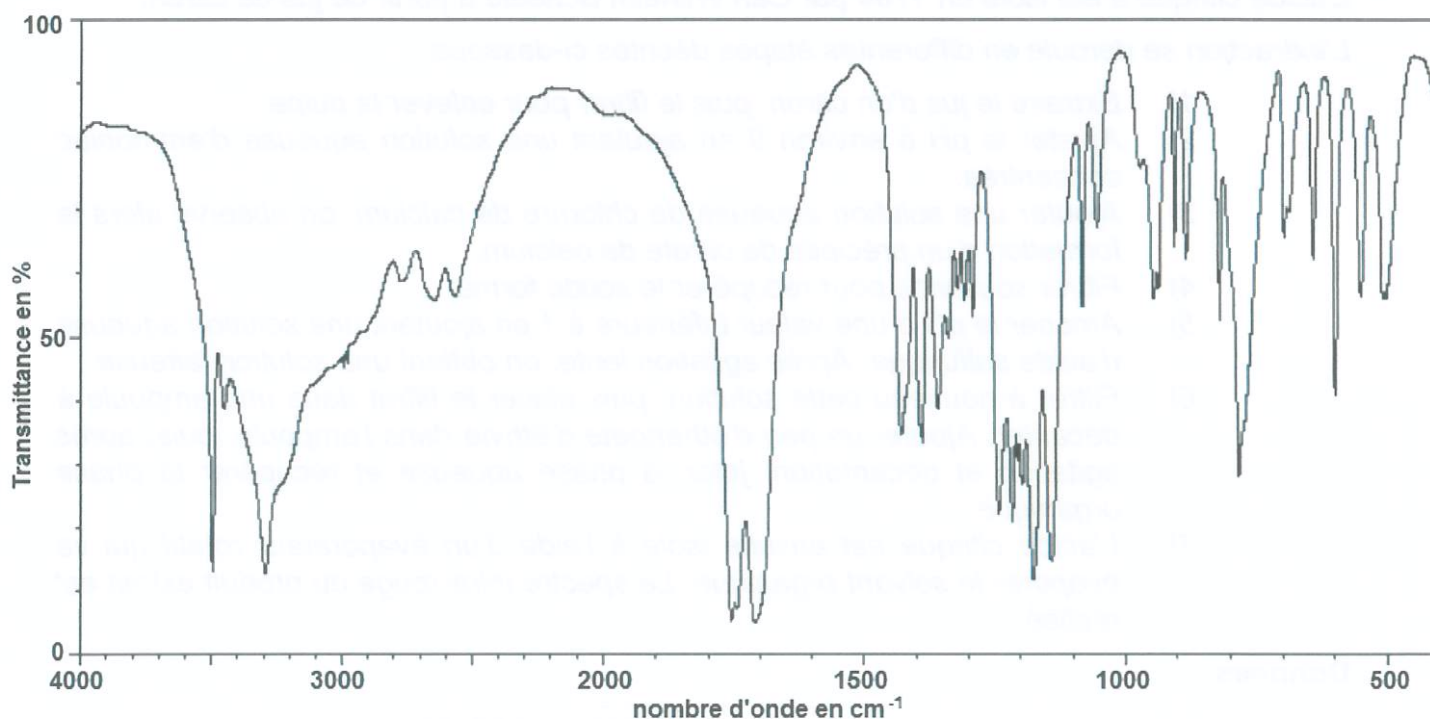
Équation de dissolution du chlorure de calcium dans l'eau : $\text{CaCl}_{2(s)} \rightarrow \text{Ca}_{(aq)}^{2+} + 2 \text{Cl}_{(aq)}^{-}$

Table simplifiée de données pour la spectroscopie IR

Liaison	Nombre d'onde (cm ⁻¹)
O-H alcool	3200 – 3400
C-H	2800 – 3000
O-H acide carboxylique	2500 – 3200 bande large
C=O acide carboxylique	1700 – 1725
C=O aldéhyde	1720 – 1740

- 2.1. L'acide citrique se trouve sous la forme b (appelée ion citrate) à la fin de l'étape 2 du protocole. Écrire la formule brute de cet ion. En déduire la formule brute du précipité de citrate de calcium formé à l'étape 3.
- 2.2. Expliquer pourquoi le précipité de citrate de calcium disparaît au cours de l'étape 5.
- 2.3. Faire un schéma légendé de l'ampoule à décanter utilisée lors de l'étape 6, préciser les positions relatives des phases organique, aqueuse et de l'acide citrique. Justifier la position relative des deux phases.
- 2.4. Le spectre isolé après évaporation du solvant organique est représenté ci-dessous. Ce spectre confirme-t-il que le produit extrait du citron par ce protocole est de l'acide citrique ?

Spectre infrarouge




3. Analyse d'un détartrant à l'acide citrique

Un laboratoire d'analyse met en place un protocole afin de déterminer :

- la forme, anhydre ou monohydratée, de l'acide citrique présente dans un détartrant commercial en poudre ;
- la pureté de l'acide citrique dans le détartrant commercial en poudre.

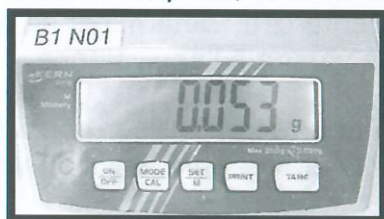
Données

Indicateur	Couleur		Domaine de virage
	Forme acide	Forme basique	
Jaune d'alizarine	Jaune	Violet	10,1 à 12,1
Thymolphaléine	Incolore	Bleue	9,3 à 10,5
Rouge de crésol	Jaune	Rouge	7,2 à 8,8
Bleu de bromothymol	Jaune	Bleue	6,0 à 7,6
Rouge de méthyle	Rouge	Jaune	4,2 à 6,2
Vert de bromocrésol	Jaune	Bleue	3,8 à 5,4
Hélianthine	Rouge	Jaune	3,1 à 4,4

	Formule brute	Masse molaire	Pictogramme
Acide citrique anhydre	C ₆ H ₈ O ₇	192 g·mol ⁻¹	
Acide citrique monohydraté	C ₆ H ₈ O ₇ , H ₂ O	210 g·mol ⁻¹	

Protocole utilisé au laboratoire :

- poser une coupelle sur le plateau d'une balance et appuyer sur « TARE » ;
- mettre un peu de détartrant dans la coupelle, la balance indique alors :

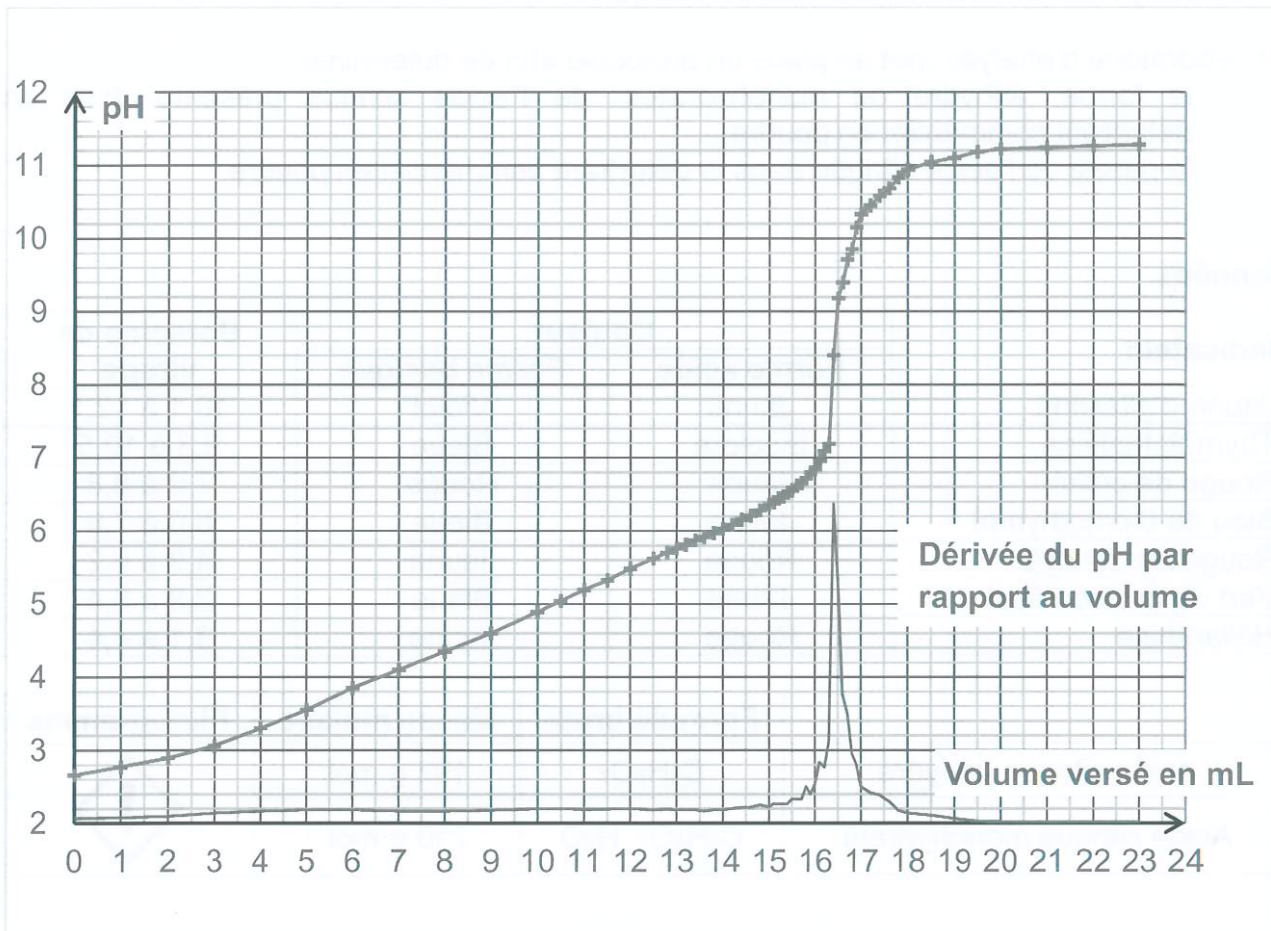


- introduire le contenu de la coupelle dans un bécher, ajouter un peu d'eau distillée puis agiter pour dissoudre totalement le détartrant ;
- mettre le bécher sous une burette graduée remplie avec une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration $C = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$;
- placer une électrode de pH-métrie dans le bécher et la relier au pHmètre ;
- sous agitation magnétique, ajouter progressivement la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium en relevant régulièrement la valeur du pH de la solution.

Équation de la réaction support du titrage :



Courbe obtenue en réalisant le protocole.



- 3.1. Expliquer pourquoi le coefficient stœchiométrique dans l'équation support du titrage vaut 3 pour les ions hydroxyde.
- 3.2. En expliquant votre démarche, déterminer la valeur V_E du volume de solution d'hydroxyde de sodium versée à l'équivalence.
- 3.3. Quel indicateur coloré pourrait-on utiliser pour réaliser ce titrage sans pH-mètre ? Préciser alors comment serait repéré le volume de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence.
- 3.4. En exploitant les résultats expérimentaux de l'analyse :
 - montrer que le détartrant ne peut pas être de l'acide citrique monohydraté ;
 - déterminer le pourcentage massique d'acide citrique anhydre du détartrant ;
 - conclure sur la pureté du détartrant.

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 II. Étude du vol d'une balle de golf (6 points)

Le swing d'un joueur de golf professionnel permet d'envoyer la balle à une distance (appelée « portée ») d'environ 250 mètres, distance mesurée horizontalement par rapport à l'impact initial entre le club et la balle de golf. Le but de cet exercice est de confronter cette valeur de 250 mètres avec l'hypothèse d'un mouvement parabolique et de comprendre le décalage observé en considérant les conditions réelles du mouvement de la balle.

Dans les parties 2 et 3, on cherche à retrouver la valeur de cette portée à partir de deux modèles différents.

1. Vitesse initiale de la balle

Le schéma qui suit propose la reconstruction d'une chronophotographie du mouvement d'une balle de golf après sa propulsion par le club. Le film a été réalisé par une caméra ultra-rapide permettant d'enregistrer 1000 images par seconde. La représentation ci-dessous (figure 1) montre les 9 premières images de l'enregistrement de la balle, la première image de la balle correspondant à sa position initiale.

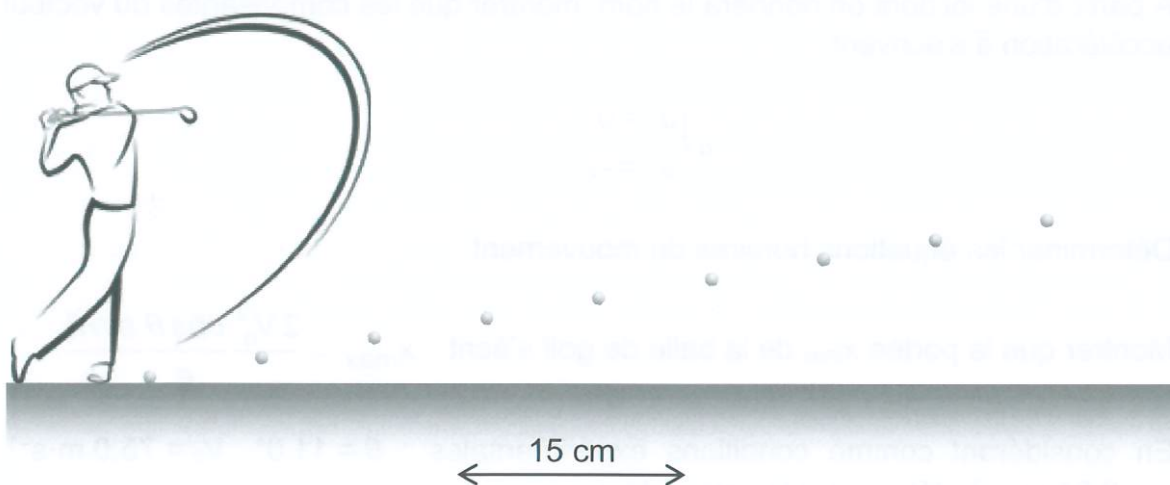


Figure 1

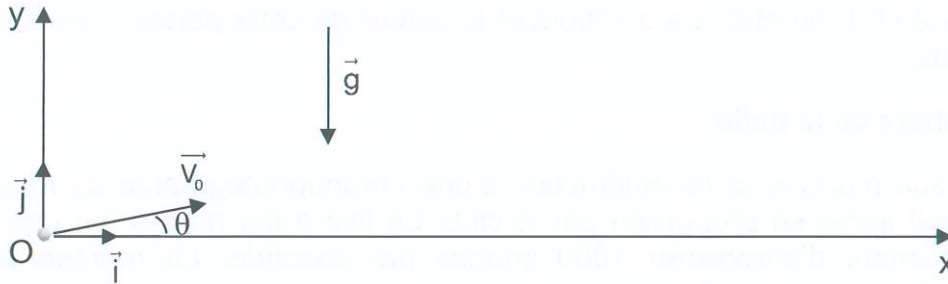
Remarque : le golfeur représenté n'est pas à l'échelle de la chronophotographie et n'est ici qu'à titre purement illustratif.

- 1.1. Déterminer l'intervalle de temps Δt qui sépare deux images de la chronophotographie.
- 1.2. À quel type de mouvement simple peut être assimilé le mouvement de la balle au début du vol représenté sur la figure 1 ?
- 1.3. En prenant en considération l'échelle proposée, déterminer le plus précisément possible la vitesse initiale V_0 avec laquelle la balle de golf est propulsée.

2. Mouvement de la balle modélisée par un point matériel

La balle de golf est modélisée par un point matériel de masse $m = 46 \text{ g}$ évoluant dans un champ de pesanteur terrestre \vec{g} . Dans ce modèle, la résistance de l'air n'est pas à prendre en compte.

Le mouvement de la balle est étudié dans le système d'axes (Oxy). À la date $t = 0 \text{ s}$, elle est placée à l'origine du repère O.



- 2.1. À partir d'une loi dont on donnera le nom, montrer que les composantes du vecteur accélération \vec{a} s'écrivent :

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases}$$

- 2.2. Déterminer les équations horaires du mouvement.

- 2.3. Montrer que la portée x_{max} de la balle de golf s'écrit : $x_{max} = \frac{2 V_0^2 \cos \theta \sin \theta}{g}$

- 2.4. En considérant comme conditions expérimentales : $\theta = 11,0^\circ$, $V_0 = 75,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, déterminer la valeur de x_{max} .

- 2.5. Comparer cette valeur calculée de la portée avec celle annoncée en introduction (les conditions initiales du mouvement restant identiques), et indiquer en quoi la valeur réelle de la portée dans l'air peut sembler surprenante.

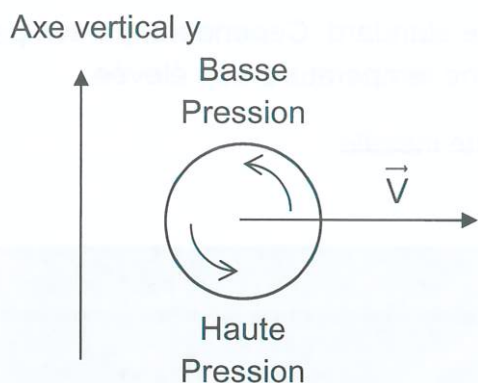
3. De l'importance de l'air dans le vol d'une balle de golf

Dans cette partie, la balle n'est plus modélisée par un point matériel.

Lorsque le golfeur frappe la balle à l'instant $t = 0$, il utilise un club qui la propulse avec un angle d'une dizaine de degrés par rapport au sol. L'impact du club avec la balle a également pour conséquence de mettre celle-ci en rotation sur elle-même (phénomène de « backspin »). Ces rotations peuvent atteindre la fréquence de 2700 tours par minute.

Document : l'effet Magnus

L'effet Magnus est un phénomène qui se manifeste lorsque la balle possède un mouvement de rotation dans l'air.



Lorsque le golfeur imprime à la balle un mouvement de rotation arrière, appelé « backspin », la balle tourne dans le sens indiqué sur le schéma ci-contre.

L'air qui passe au-dessus de la balle est alors entraîné par la rotation de celle-ci, sa vitesse augmente et sa pression diminue.

Inversement, l'air qui passe au-dessous de la balle verra sa vitesse diminuer et sa pression augmenter.

Cette différence de pression est à l'origine d'une force supplémentaire \vec{F} verticale, dirigée vers le haut, supposée appliquée au centre de la balle et constante tout au long du mouvement.

On néglige, dans ce modèle, les autres effets dus à l'air.

- 3.1. Représenter sur le **document réponse à rendre avec la copie** les forces modélisant les actions mécaniques s'exerçant sur la balle.
- 3.2. En déduire l'expression de la nouvelle composante a_y de l'accélération verticale en fonction de m , g et F .
- 3.3. Estimer la valeur de l'intensité de la force \vec{F} pour retrouver la portée effectivement observée.

Exercice III. Vitrage électrochrome (5 points)

La bibliothèque universitaire de La Rochelle possède une mezzanine avec une longue verrière permettant aux étudiants de lire en profitant d'un maximum de lumière.

Il y a peu, celle-ci était encore équipée d'un double vitrage standard. Cependant, par temps ensoleillé, la mezzanine devenait inutilisable à cause d'une température trop élevée.

Un vitrage d'un nouveau type, appelé électrochrome, a été installé.



Photographie de la mezzanine de la bibliothèque : www.sageglass.com

Document 1 : verre et rayonnement solaire

Le facteur solaire g d'un vitrage exposé au rayonnement solaire, mesure sa contribution à l'échauffement de la pièce.

Il est défini par : $g = \frac{\text{énergie entrant dans la pièce à travers le vitrage}}{\text{énergie solaire incidente}}$

Il est compris entre 0 et 1.

D'après : Le grand memento du vitrage (Saint-Gobain).

Document 2 : vitrage électrochrome

L'application d'une faible tension électrique permet de changer la teinte et donc d'assombrir le vitrage qui reste néanmoins transparent. En inversant la polarité de la tension appliquée, le vitrage s'éclaircit.

Les vitrages électrochromes permettent donc de contrôler le facteur solaire g en fonction de la luminosité et l'ensoleillement.

Document 3 : données sur la bibliothèque de La Rochelle

- L'énergie solaire incidente par unité de surface sur la verrière pour la totalité d'une journée du mois de juin est $E_{surf} = 5,7 \text{ kWh.m}^{-2}$.
- La mezzanine est depuis peu équipée d'une verrière de 24 vitrages électrochromes ayant chacun pour dimensions $1,86 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}$ et de facteur solaire $g = 0,14$.
- L'énergie électrique consommée par l'ensemble du vitrage électrochrome en une journée de juin est équivalente à celle consommée par une ampoule de 60 W fonctionnant en continu pendant 24h.
- La capacité thermique totale, C_t , des matériaux (sol, murs, plafond) de la mezzanine, de l'air, du mobilier et des livres présents dans la mezzanine vaut $3,8.10^7 \text{ J.K}^{-1}$.
- $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$

Lors d'une journée ensoleillée du mois de juin, la température de la mezzanine pouvait atteindre $\theta_{max} = 36^\circ\text{C}$, lorsqu'elle était encore équipée de vitrages standards.

Questions préliminaires

1. En été, est-il préférable de disposer de vitrages ayant un facteur solaire g faible ou élevé ? Justifier.
2. On fait l'hypothèse que les échanges thermiques ne se font qu'à travers le vitrage et que la température θ_i à l'intérieur de la bibliothèque le matin est de 22°C .
Vérifier que l'énergie reçue en une journée du mois de juin par la mezzanine grâce au vitrage standard suite à l'exposition solaire directe est comprise entre 400 et 600 MJ.

Problème

Montrer que l'installation des vitrages électrochromes décrits dans les documents 2 et 3 a permis de limiter la température à 26°C dans la mezzanine.

L'analyse des données ainsi que la démarche suivie seront évaluées et nécessitent d'être correctement présentées. Les calculs numériques seront menés à leur terme avec rigueur.

Exercice II

