

## BAC BLANC 2018

# Epreuve de : Physique-Chimie Obligatoire

Série(s) : S

Durée de l'épreuve : 3h30

Coefficient : 6

### Précisions particulières propres au sujet/épreuve

- Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 8 pages numérotées de 1 à 8 y compris celle-ci
- Chaque exercice sera rédigé sur **une copie double différente**.
- Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.
- Les différentes parties de chaque exercice sont indépendantes les unes des autres.

L'usage des calculatrices électroniques est **autorisé**

L'usage du dictionnaire est **interdit**

**Exercice 1 : Le très grand télescope** (9,25 points)

Le VLT (Very Large Telescope) est situé dans le désert d'Atacama au nord du Chili à 2 635 m d'altitude. Il est constitué d'un ensemble de quatre télescopes nommés Antu, Kueyen, Melipal et Yepun ayant des miroirs de 8,2 mètres de diamètre. L'objectif de cet exercice est de comprendre pourquoi les scientifiques construisent des télescopes ayant des diamètres de plus en plus grands.

Les différentes parties sont indépendantes.

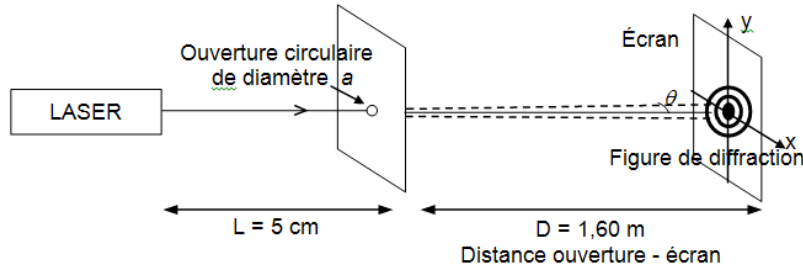
**PARTIE 1 : Un télescope du VLT**

Lorsqu'on observe une étoile à travers un télescope, l'image apparaît sous la forme d'une tache, dont la dimension est liée aux défauts que présente l'instrument, tels que :

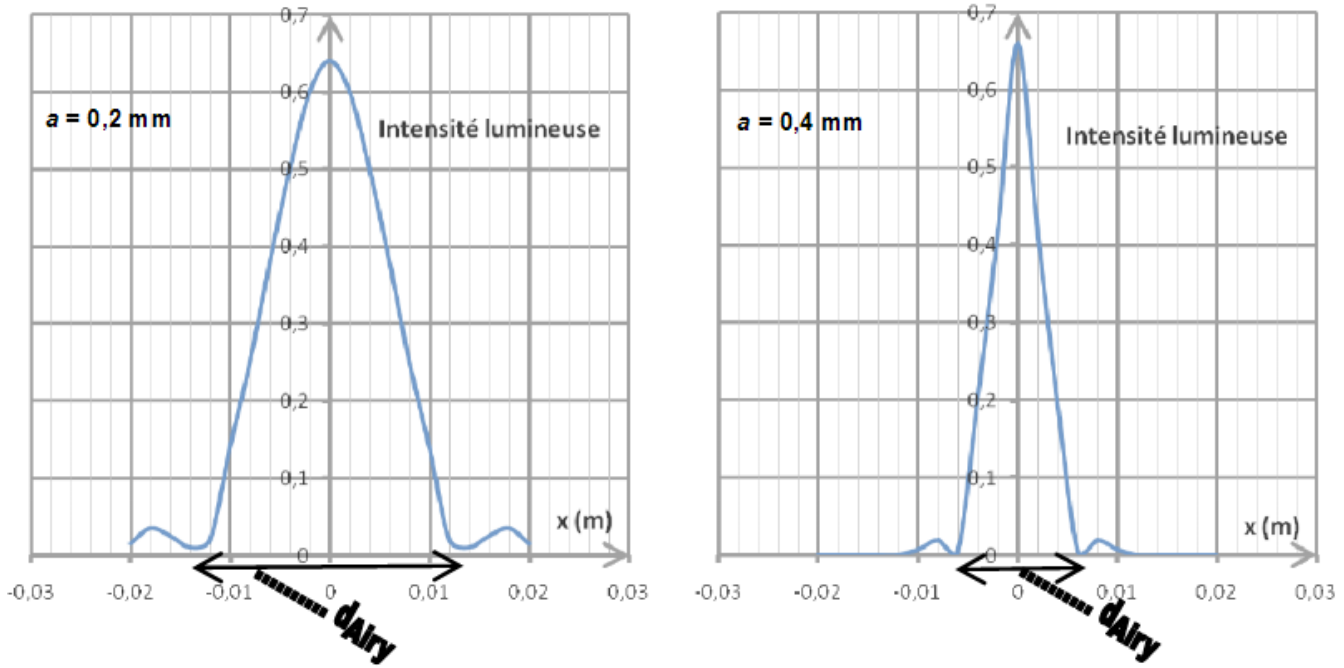
- la sensibilité aux fluctuations atmosphériques ;
- la diffraction par l'ouverture limitée de l'instrument.

On étudie l'influence du diamètre de l'ouverture circulaire du télescope sur la qualité de l'image formée. Pour cela, on réalise le montage suivant (figure 1), dans lequel le laser correspond à l'étoile et le miroir du télescope est modélisé par une ouverture circulaire de diamètre  $a$  produisant un phénomène de diffraction.

**Figure 1 : Expérience de diffraction**



**Document 1 : Figures de diffraction : intensité lumineuse obtenue pour des ouvertures circulaires de diamètres 0,2 mm et 0,4 mm.**



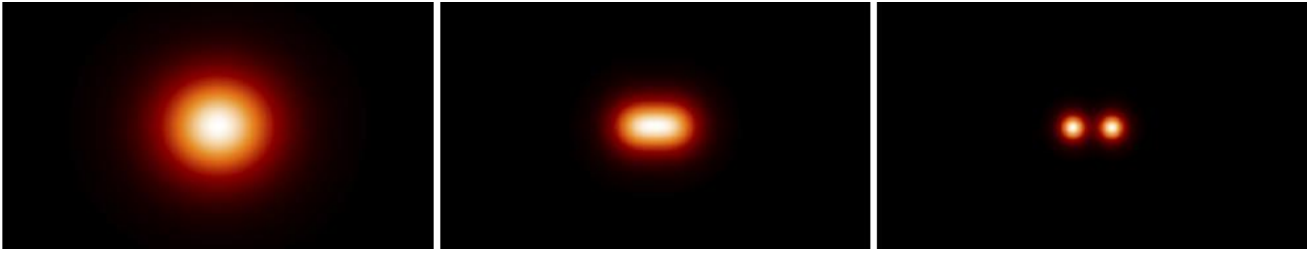
**1.1.** Définir le phénomène de diffraction. Dans quelle condition ce phénomène est-il observable ?

0,75

**1.2.** À partir des résultats expérimentaux, déterminer la valeur du diamètre  $d_{\text{Airy}}$  de chaque tache observée pour les deux ouvertures. Comment évolue le diamètre de la tache quand l'ouverture du télescope augmente ?

0,5  
 0,25

La qualité d'un télescope est caractérisée par son pouvoir de résolution ; c'est-à-dire sa capacité à séparer deux objets très proches comme une étoile double par exemple (images ci-dessous).

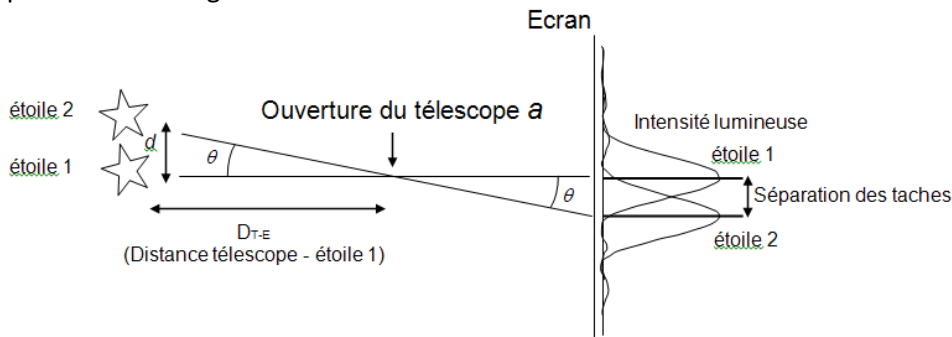


Source : <http://www.podcastscience.fm>

L'observation, par un télescope des deux étoiles, d'une étoile double, séparées d'un angle  $\theta$ , donne deux taches circulaires sur l'écran si l'angle  $\theta$  sous lequel elles sont vues, est supérieur à une valeur limite :

$$\theta_{\min} = 1,22 \times \frac{\lambda}{a}$$

**Document 2 :** Séparation des images des deux étoiles constituant une étoile double



Dans la suite de l'exercice, les objets observés étant très éloignés, l'angle  $\theta$  est petit et on peut écrire :  $\tan \theta \approx \theta$  avec  $\theta$  en radian

**Données :**

- la distance Terre-Lune est égale à  $D_{T-L} = 3,8 \times 10^8$  m ;
- la vision humaine a une sensibilité maximale, en vision diurne, pour un rayonnement de longueur d'onde voisine de 560 nm.

**1.3.** On considère deux objets placés sur la Lune à une distance  $d$  l'un de l'autre. Déterminer la valeur minimale de la distance  $d_{\min}$  pour que les deux objets puissent être séparés par :

- un télescope terrestre de diamètre 4,0 m ;
- un télescope du VLT ?

1,25

**1.4.** Au vu des résultats obtenus, justifier les choix des scientifiques en termes de matériel et de leur implantation.

0,5

## PARTIE 2 : Entretien des miroirs du VLT

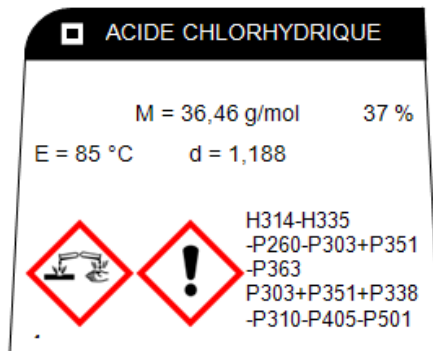
Sean Riley, journaliste pour l'émission Superstructures SOS, suit une équipe internationale d'ingénieurs et astronomes, pour changer le miroir géant d'un des quatre télescopes du VLT. L'ennemi « numéro un » est la poussière et nettoyer la surface du miroir se fait avec une machine spéciale comme un « gros lave-vaisselle ». Le miroir de 50 m<sup>2</sup> de surface est débarrassé de sa couche d'aluminium de 80 nanomètres d'épaisseur avec de l'eau, de l'acide et du sulfate de cuivre. L'opération consomme environ 3 000 litres d'eau.

Il est ensuite recouvert d'une nouvelle fine couche d'aluminium identique à la précédente.

*D'après l'émission France5 Superstructures SOS - Le miroir des étoiles*

### Données :

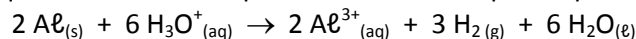
- couples oxydant/réducteur :  $\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}/\text{H}_2_{(\text{g})}$  et  $\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})}/\text{Al}_{(\text{s})}$
- masse volumique de l'aluminium :  $\rho_{\text{Al}} = 2,7 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- masse molaire atomique :  $M(\text{Al}) = 27 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- acide chlorhydrique :  $(\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})})$
- étiquette du flacon d'acide chlorhydrique utilisé



37 % est le pourcentage massique de l'acide chlorhydrique ; dans 100 g de solution, il y a 37 g d'acide chlorhydrique.

La procédure indique que, pour éliminer l'ancienne couche d'aluminium, on traite le miroir avec une solution d'acide chlorhydrique et de sulfate de cuivre. On fait l'hypothèse que seul l'acide chlorhydrique, attaque l'aluminium.

L'action de l'acide chlorhydrique sur l'aluminium peut être modélisée par l'équation suivante :



- 2.1. À partir des demi-équations électroniques des couples oxydant/réducteur, retrouver l'équation de la réaction entre l'aluminium et les ions oxonium de la solution d'acide chlorhydrique. 0,75
- 2.2. De quel type de réaction s'agit-il ? Quel est le rôle de l'aluminium et celui des ions oxonium ? Justifier. 0,75
- 2.3. Quel est le volume d'aluminium  $V_{\text{Al}}$  déposé sur le miroir ? Vérifier que la quantité de matière d'aluminium présente dans cette couche est égale à  $n_{\text{Al}} = 0,40 \text{ mol}$ . 1
- 2.4. Déterminer la quantité de matière d'ions oxonium  $\text{H}_3\text{O}^+$  nécessaire à l'élimination de la couche d'aluminium. 1
- 2.5. Montrer que la concentration molaire  $C_a$  de la solution d'acide chlorhydrique à 37 % est de l'ordre de  $12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . 1
- 2.6. La solution d'acide chlorhydrique précédente étant trop concentrée, on souhaite préparer une solution  $S_1$  cent fois moins concentrée. Proposer un protocole expérimental pour préparer 250,0 mL de la solution diluée. 1
- 2.7. Quel volume  $V_1$  d'une solution d'acide chlorhydrique de même concentration que la solution  $S_1$  serait nécessaire pour éliminer la couche d'aluminium ? 0,5

**Exercice 2 : Interférences des molécules (5,75 points)**

En 1905, Einstein décrit l'onde lumineuse comme un flux de particules sans masse : les photons. Par la suite, en 1924, Louis de Broglie a l'idée d'associer une onde à une particule de matière en mouvement ; on a depuis observé des interférences de particules (électrons, atomes, molécules...).

L'objectif de cet exercice est d'étudier, dans une première partie, les interférences lumineuses obtenues à l'aide d'un réseau et, dans une deuxième partie, un dispositif expérimental d'interférences utilisant des molécules de phtalocyanine.

**Données :**

- constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  ;
- intensité du champ de pesanteur :  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$  ;
- masse molaire moléculaire de la phtalocyanine :  $M = 514,5 \text{ g.mol}^{-1}$ .

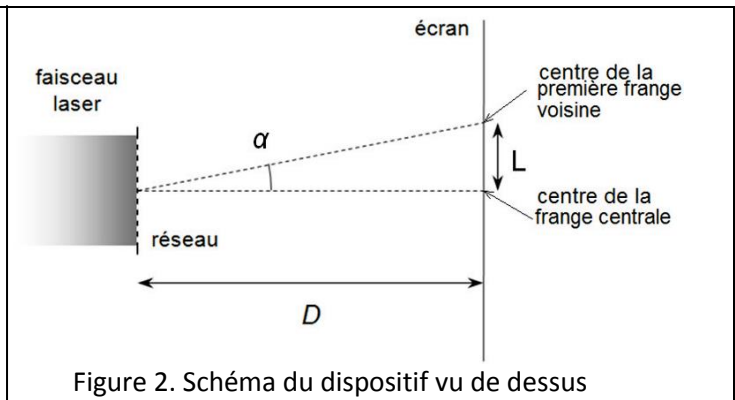
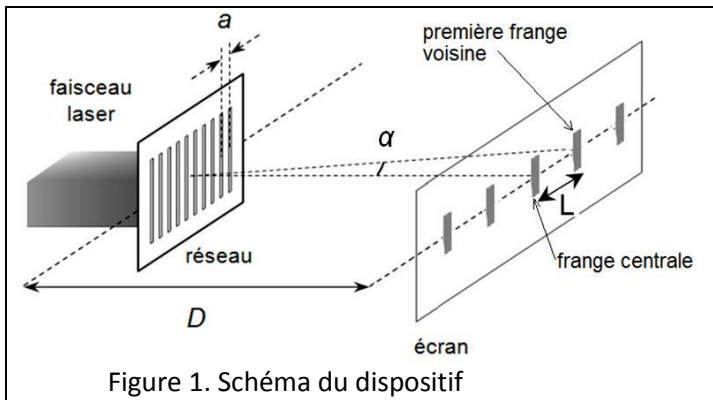
Les différentes parties sont indépendantes.

**PARTIE 1 : Interférences d'ondes lumineuses par un réseau**

On considère un réseau constitué d'une lame dans laquelle est gravée une série de fentes parallèles régulièrement espacées. La distance régulière entre les fentes, notée « a », est appelée « pas du réseau ». Lorsqu'on éclaire ce réseau avec un faisceau laser monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ , les ondes lumineuses diffractées par les différentes fentes se superposent sur un écran. En certains points de l'écran, les interférences sont constructives ; on observe alors sur l'écran une figure d'interférences constituée de franges lumineuses régulièrement espacées (figure 1).

On note L la distance entre le centre de la frange centrale et le centre de sa première voisine (voir figures 1 et 2). En utilisant les notations des schémas ci-dessous, on admet la relation suivante :

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{a}$$



**1.1.** À quelle condition obtient-on, en un point de l'écran, un phénomène d'interférences constructives lorsque deux ondes lumineuses cohérentes interfèrent ?

0,25
0,5
0,5

**1.2.** Si l'angle  $\alpha$ , indiqué sur les figures 1 et 2, est « petit » et exprimé en radians, on peut faire les approximations suivantes :  $\sin \alpha \approx \alpha$  et  $\tan \alpha \approx \alpha$

Montrer que la relation 1 est telle que :

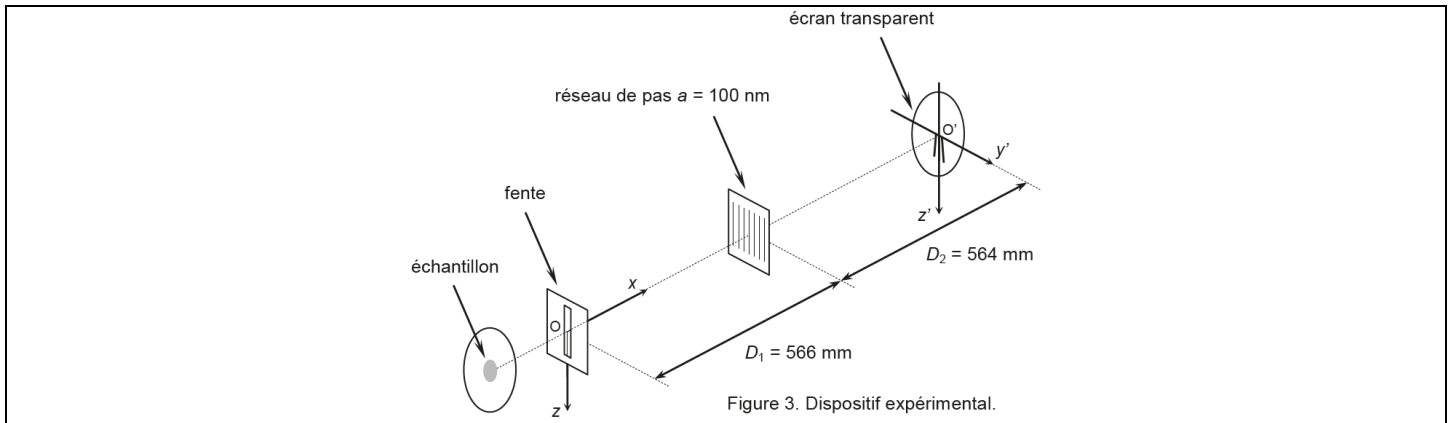
$$L = \frac{\lambda D}{a}$$

**1.3.** On remplace la source laser par une source de lumière blanche. On observe une frange centrale de couleur blanche et des franges latérales colorées. Sur la première frange voisine de la frange centrale, donner l'ordre dans lequel les couleurs bleu et rouge sont observées, en partant du centre de la tâche centrale. On argumentera sans calcul en utilisant la relation 1.

## PARTIE 2 : Interférences de molécules de phtalocyanine

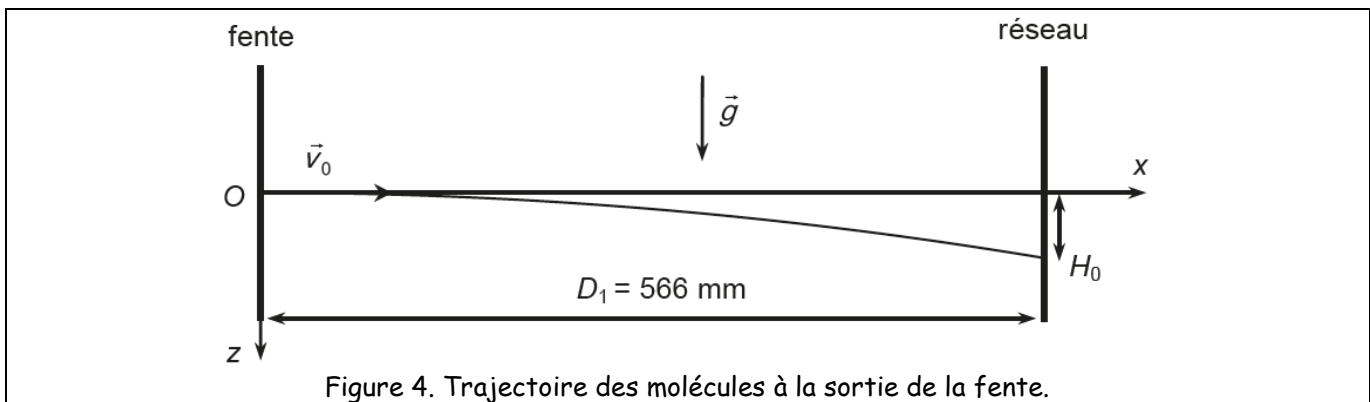
En mai 2012, une équipe de scientifiques a publié un article dans le magazine « Nature Nanotechnology ». Cet article décrit une expérience qui a permis d'observer un phénomène d'interférences obtenues à partir d'un faisceau de molécules de phtalocyanine.

On donne ci-dessous un schéma (figure 3) ainsi qu'un descriptif simplifié de l'expérience.



Les molécules de l'échantillon de phtalocyanine sont vaporisées pour former un faisceau horizontal de molécules se déplaçant suivant l'axe  $Ox$ . La vitesse des molécules varie de quelques dizaines à quelques centaines de mètres par seconde. Après avoir traversé la fente, les molécules se dirigent vers le réseau qu'elles traversent avant de se déposer sur un écran transparent. Éclairées par une lumière adéquate, les molécules deviennent fluorescentes et une figure d'interférences peut alors être observée à l'aide d'une caméra.

On s'intéresse au mouvement de chute dans le champ de pesanteur terrestre d'une molécule de phtalocyanine de masse  $m$ . La molécule se déplace dans un vide poussé et n'est donc soumise qu'à son poids. Elle sort de la fente horizontalement avec une vitesse initiale  $v_0$ . L'étude du mouvement est effectuée dans le référentiel du laboratoire, considéré comme galiléen. L'axe  $Oz$  est vertical, orienté vers le bas. La date  $t = 0$  est prise au moment où la molécule est au point  $O$ .



**2.1.** Démontrer que les équations horaires du mouvement de la molécule de phtalocyanine dans le repère  $(Ox, Oz)$  sont de la forme :

$$x(t) = v_0 t \quad \text{et} \quad z(t) = \frac{1}{2} g t^2$$

2,5

**2.2.** Vérifier par analyse dimensionnelle l'homogénéité des deux expressions précédentes.

0,5

**2.3.** Exprimer la date  $t_1$  à laquelle la molécule atteint le réseau en fonction de  $v_0$  et  $D_1$ . En déduire l'expression de la distance  $H_0$  (figure 4) en fonction de  $g$ ,  $D_1$  et  $v_0$ , puis calculer la valeur de cette distance pour une vitesse initiale  $v_0 = 1,5 \times 10^2 \text{ m.s}^{-1}$ .

1,25

**2.4.** Indiquer, en le justifiant brièvement, comment évolue la distance  $H_0$  lorsque la vitesse initiale  $v_0$  de la molécule augmente.

0,25

**Exercice 3 : Du fromage et du beurre (5 points)**

L'acide butanoïque est l'un des composés responsables de l'odeur très forte et du goût piquant de certains fromages et beurres rances.

Cet exercice se propose d'étudier quelques propriétés de l'acide butanoïque, sa formation dans les fromages et son titrage dans le beurre.



**Données :**

- l'acide butanoïque  $C_4H_8O_2$  est un acide faible ; le  $pK_a$  du couple acide / base auquel il appartient vaut 4,8 à 25 °C ;
- masse molaire de l'acide lactique :  $M_1 = 90,0 \text{ g.mol}^{-1}$  ;
- masse molaire de l'acide butanoïque :  $M_2 = 88,0 \text{ g.mol}^{-1}$  ;
- la conductivité  $\sigma$  d'une solution ionique peut s'exprimer en fonction de la concentration molaire  $[X_i]$  en ions dans la solution et de ses conductivités molaires ioniques  $\lambda_i$  de chaque ion  $X_i$ .

$$\sigma = \sum \lambda_i \times [X_i]$$

Les différentes parties sont indépendantes.

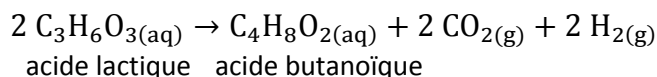
**PARTIE 1 : Quelques propriétés de l'acide butanoïque**

- |   |      |
|---|------|
| 1.1. Représenter la formule semi-développée de l'acide butanoïque.  | 0,25 |
| 1.2. Écrire l'équation de la réaction entre l'acide butanoïque et l'eau.  | 0,25 |
| 1.3. À 25 °C, le pH d'une solution aqueuse d'acide butanoïque de concentration $3,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ vaut 3,2. Cette valeur de pH est-elle en accord avec le caractère « acide faible » attribué à l'acide butanoïque ? | 0,75 |
| 1.4. Quelle espèce chimique du couple acide / base de l'acide butanoïque est prédominante dans la solution précédente ? Justifier.  | 0,5  |

**PARTIE 2 : La fermentation butyrique dans le fromage**

Dans les fromages, l'acide butanoïque est produit par fermentation de l'acide lactique du lait en présence de la bactérie *Clostridium tyrobutyricum*.

Cette fermentation, dite butyrique, est modélisée par la réaction totale d'équation :



Les premiers signes de fermentation butyrique sont généralement visibles après 6 à 10 semaines d'affinage. Cela se manifeste par un goût rance et, très souvent par un gonflement, voire un éclatement des fromages. Le phénomène peut conduire à la destruction de toute une production.

*D'après [www.agroscope.com](http://www.agroscope.com)*

- |  |      |
|--|------|
| 2.1. Justifier le gonflement des fromages lors de la fermentation butyrique.   | 0,25 |
| 2.2. Le site <a href="http://www.agroscope.com">www.agroscope.com</a> indique par ailleurs que la fermentation de 2,0 g d'acide lactique conduit à la formation d'environ 1 g d'acide butanoïque. Vérifier que cette information est correcte. | 0,75 |

### PARTIE 3 : Analyse d'un beurre

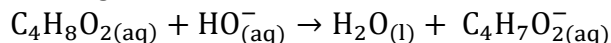
Un beurre est rance si le pourcentage en masse d'acide butanoïque qu'il contient est supérieur ou égal à 4 %, c'est-à-dire qu'il y a plus de 4 g d'acide butanoïque dans 100 g de beurre.

On peut titrer l'acide butanoïque contenu dans un beurre de la façon suivante. Dans un bécher, on introduit 8,0 g de beurre fondu auquel on ajoute un grand volume d'eau distillée. On agite afin de dissoudre dans l'eau la totalité de l'acide butanoïque présent dans le beurre.

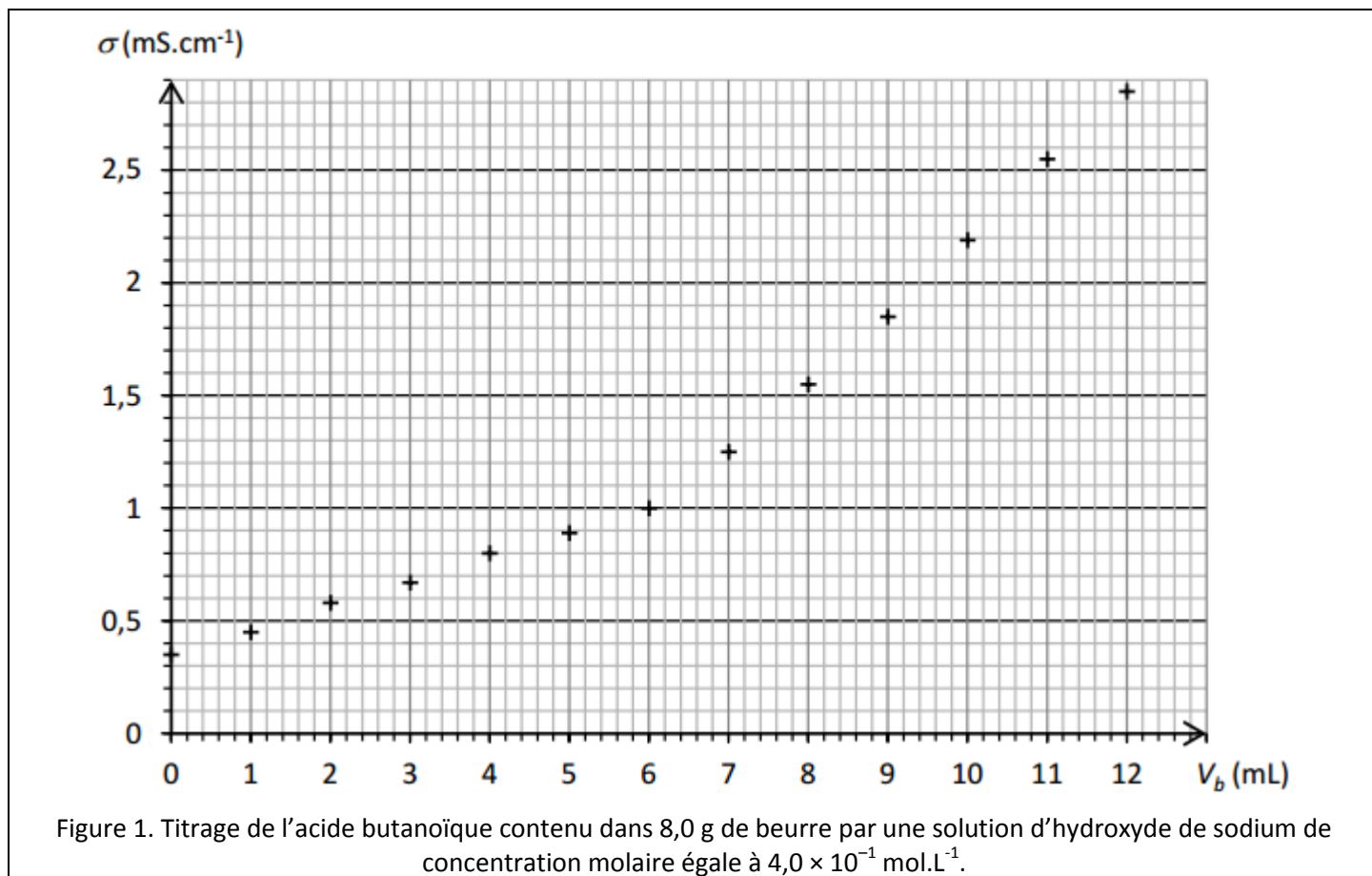
Dans le bécher, on plonge la sonde d'un conductimètre, puis on verse, mL par mL, une solution d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$ ) de concentration  $C = 4,0 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ . Après chaque ajout de solution titrante, on mesure la conductivité  $\sigma$  de la solution dans le bécher.

On considère que seul l'acide butanoïque réagit avec le réactif titrant.

L'équation de la réaction support du titrage est la suivante :



La courbe représentant les variations de la conductivité  $\sigma$  en fonction du volume  $V_b$  de solution d'hydroxyde de sodium versé est représentée sur la figure 1.



3.1. Déterminer la valeur de la quantité de matière d'ions hydroxyde versée à l'équivalence.

0,75

3.2. Le beurre analysé est-il rance ?

1,5

*Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti. La démarche suivie est évaluée et nécessite donc d'être correctement présentée.*

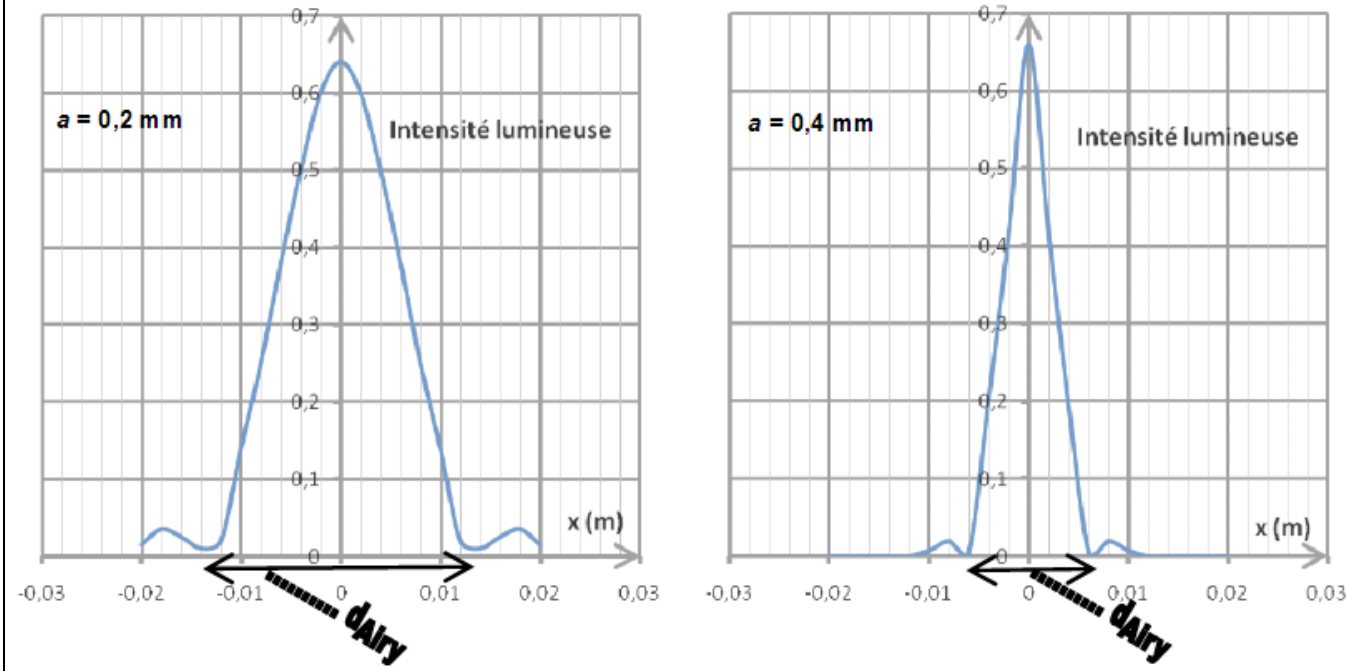


# Correction

## Exercice 1 : Le très grand télescope (9,25 points)

### PARTIE 1 : Un télescope du VLT

**Document 1** : Figures de diffraction : intensité lumineuse obtenue pour des ouvertures circulaires de diamètres 0,2 mm et 0,4 mm.



**1.1.** Le phénomène de diffraction correspond au changement de direction de propagation d'une onde après le passage d'une ouverture ou d'un obstacle. Ce phénomène est observable dès que la largeur de l'ouverture (ou de l'obstacle) est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde de l'onde qui se propage. Plus l'ouverture est petite devant la longueur d'onde, plus le phénomène est accentué.

**1.2.** Pour déterminer la valeur du diamètre  $d_{\text{Airy}}$  de chaque tache observée pour les deux ouvertures, on utilise l'échelle sur le document 1.

On mesure sur l'axe Ox : 5 carreaux = 25 div et 25 div = 0,05 m soit 1 div =  $2 \cdot 10^{-3}$  m

- pour  $a = 0,2$  mm on a :  $d_{\text{Airy}} = 12$  div =  $12 \times 2 \cdot 10^{-3}$  m soit  $d_{\text{Airy}} = 0,024$  m
- pour  $a = 0,4$  mm on a :  $d_{\text{Airy}} = 6$  div =  $6 \times 2 \cdot 10^{-3}$  m soit  $d_{\text{Airy}} = 0,012$  m

On constate que le diamètre de la tache diminue quand l'ouverture du télescope augmente.

**1.3.** Les objets observés étant très éloignés, l'angle  $\theta$  est petit et on peut écrire :  $\tan \theta \approx \theta$  avec  $\theta$  en radian.

D'après le document 2 :  $\tan \theta_{\text{min}} = \frac{d_{\text{min}}}{D_{\text{T-L}}} \approx \theta_{\text{min}}$  et on sait que  $\theta_{\text{min}} = 1,22 \times \frac{\lambda}{a}$

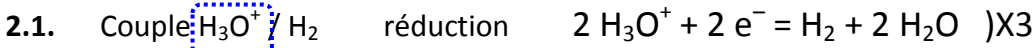
La valeur minimale de la distance  $d_{\text{min}}$  pour que les deux objets puissent être séparés est telle que :

$$\frac{d_{\text{min}}}{D_{\text{T-L}}} = 1,22 \times \frac{\lambda}{a} \quad \text{soit} \quad d_{\text{min}} = 1,22 \times \frac{\lambda \times D_{\text{T-L}}}{a}$$

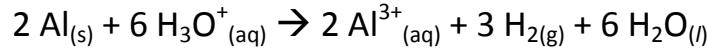
- pour un télescope terrestre de diamètre 4,0 m :  $d_{\text{min}} = 1,22 \times \frac{560 \cdot 10^9 \times 3,8 \cdot 10^8}{4,0} = 65$  m
- pour un télescope du VLT :  $d_{\text{min}} = 1,22 \times \frac{560 \cdot 10^9 \times 3,8 \cdot 10^8}{8,2} = 32$  m

**1.4.** Au vu des résultats obtenus, plus le diamètre du télescope est grand, plus le pouvoir de séparation du télescope est grand (le VLT permet de séparer 2 objets distants de seulement 32 m contre 65 m pour un télescope classique), plus la qualité de l'image obtenue est importante. L'implantation en altitude permet d'éviter les fluctuations atmosphériques gênantes pour l'observation.

## PARTIE 2 : Entretien des miroirs du VLT



En additionnant les demi-équations électroniques, de façon à ce qu'autant d'électrons soient produits que d'électrons soient consommés, on retrouve bien :



2.2. Il s'agit d'une réaction d'oxydoréduction qui met en jeu un transfert d'électrons du réducteur Al (à droite dans le couple Ox/Réd) vers l'oxydant  $\text{H}_3\text{O}^+$  (à gauche dans le couple Ox/Réd).

**Point mnémotechnique : "règle de l'ORGE" : l'Oxydant se Réduit en Gagnant des Electrons**

Ainsi : - l'oxydant gagne des électrons (et le réducteur en cède)

- une réduction est un gain d'électrons (et une oxydation une perte d'électrons).

2.3. Le miroir a une surface  $S = 50 \text{ m}^2$  et la couche d'aluminium a une épaisseur  $e = 80 \text{ nm}$ .

Le volume d'aluminium est donc :  $V_{\text{Al}} = S \cdot e$

$$V_{\text{Al}} = 50 \times 80 \times 10^{-9} = 4,0 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Par définition :

$$\begin{cases} \rho_{\text{Al}} = \frac{m_{\text{Al}}}{V_{\text{Al}}} \\ n_{\text{Al}} = \frac{m_{\text{Al}}}{M_{\text{Al}}} \end{cases} \quad \text{donc} \quad \rho_{\text{Al}} = \frac{n_{\text{Al}} \cdot M_{\text{Al}}}{V_{\text{Al}}} \Leftrightarrow n_{\text{Al}} = \frac{\rho_{\text{Al}} \cdot V_{\text{Al}}}{M_{\text{Al}}}$$

*Annotations :  $\rho_{\text{Al}}$  (g.m<sup>-3</sup>),  $V_{\text{Al}}$  (m<sup>3</sup>),  $M_{\text{Al}}$  (g.mol<sup>-1</sup>)*

$$n_{\text{Al}} = \frac{2,7 \times 10^6 \times 4,0 \times 10^{-6}}{27} = 0,40 \text{ mol}$$

2.4. D'après l'équation de réaction, il faut 6 mol de  $\text{H}_3\text{O}^+$  pour 2 mol d'Al donc :

$$\frac{n_{\text{H}_3\text{O}^+}}{6} = \frac{n_{\text{Al}}}{2} \quad \text{ou.} \quad \frac{n_{\text{H}_3\text{O}^+}}{3} = n_{\text{Al}} \quad \text{ou encore} \quad n_{\text{H}_3\text{O}^+} = 3 \cdot n_{\text{Al}}$$

Il faut 3 fois plus de  $\text{H}_3\text{O}^+$  que d'Al :  $n_{\text{H}_3\text{O}^+} = 3 \times 0,40 = 1,2 \text{ mol}$ .

2.5. La solution d'acide chlorhydrique est à 37 % en masse et a une densité  $d_{\text{sol}} = 1,188$ .

Pour répondre à la question, il est important de distinguer la solution et le soluté (ici HCl dissous dans l'eau) que l'on notera A :

Par définition :  $C_A = \frac{n_A}{V_{\text{sol}}} = \frac{m_A}{V_{\text{sol}} \cdot M_A}$

Or,  $m_A = 0,37 \cdot m_{\text{sol}}$  (37 % en masse d'acide)

Par définition :  $d_{\text{sol}} = \frac{\rho_{\text{sol}}}{\rho_{\text{eau}}}$  et  $\rho_{\text{sol}} = \frac{m_{\text{sol}}}{V_{\text{sol}}}$  donc  $m_{\text{sol}} = d_{\text{sol}} \cdot \rho_{\text{eau}} \cdot V_{\text{sol}}$

$$C_A = \frac{0,37 \times 1,188 \times 1,0 \times 10^3}{36,46} = 12 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$C_A = \frac{0,37 \cdot d_{\text{sol}} \cdot \rho_{\text{eau}} \cdot V_{\text{sol}}}{V_{\text{sol}} \cdot M_A} = \frac{0,37 \cdot d_{\text{sol}} \cdot \rho_{\text{eau}}}{M_A}$$

*Annotation :  $\rho_{\text{eau}}$  (g.L<sup>-1</sup>)*

**2.6.** Il faut donc effectuer une dilution.

Solution mère :

$$C_A = 12 \text{ mol.L}^{-1}$$

$V_A$  à prélever ?

Solution fille :

$$C_1 = C_A/100$$

$V_1 = 250,0 \text{ mL}$  à préparer

Au cours d'une dilution, la quantité de matière de soluté se conserve :  $n_A = n_1$ .

$$C_A \times V_A = C_1 \times V_1$$

$$V_A = \frac{C_1 \cdot V_1}{C_A} = \frac{\frac{C_A}{100} \cdot V_1}{C_A} = \frac{V_1}{100} \quad \text{soit} \quad V_A = 2,5 \text{ mL}$$

**Protocole de la dilution :**

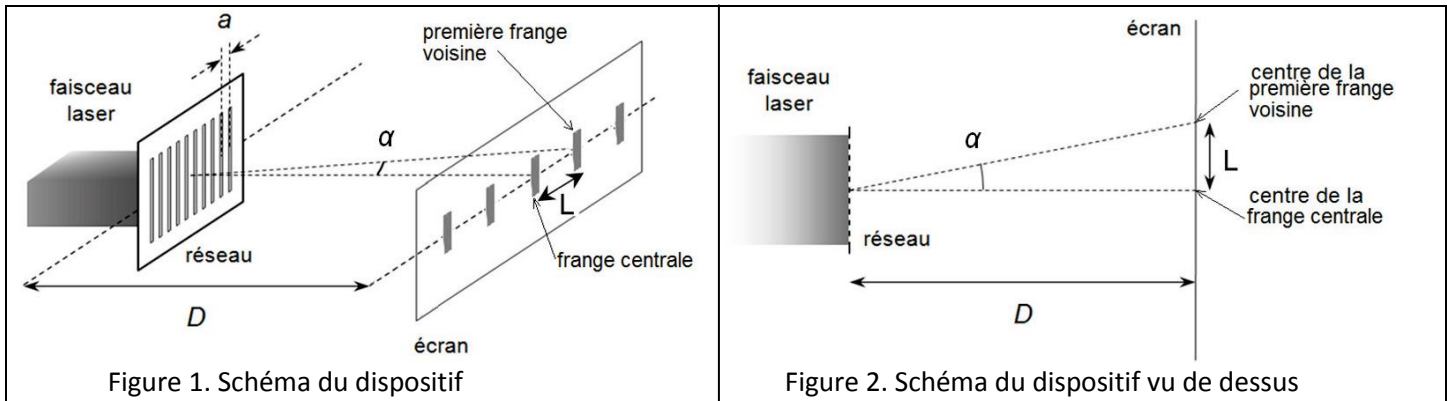
- Verser un peu de solution mère dans un bécher (propre et sec),
- Prélever 2,5 mL de solution mère à l'aide d'une pipette graduée de 5,0 mL et d'une propipette.
- Verser le prélèvement dans une fiole jaugée de 250 mL.
- Remplir d'eau distillée aux  $\frac{3}{4}$ , boucher et agiter pour homogénéiser.
- Compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, boucher et agiter à nouveau.

**2.7.** On a établi au **2.4.** que la quantité d'ions oxonium nécessaire est  $n_{H_3O^+} = 1,2 \text{ mol}$ .

$$\text{Or } n_{H_3O^+} = C_1 \cdot V_1 = \frac{C_A}{100} \cdot V_1 \quad \text{donc. } V_1 = \frac{100 \cdot n_{H_3O^+}}{C_A} \quad \text{soit } V_1 = \frac{100 \times 1,2}{12} = 10 \text{ L}$$

**Exercice 2 : Interférences des molécules (5,75 points)**

**PARTIE 1 : Interférences d'ondes lumineuses par un réseau**



**1.1.** On observe un phénomène d'interférences constructives lorsque deux ondes lumineuses cohérentes sont en phase. Ce qui signifie que leur différence de marche  $\delta$  est égale à un nombre entier de longueur d'onde soit  $\delta = k \times \lambda$ .

**1.2.** Si l'angle  $\alpha$ , indiqué sur les figures 1 et 2, est « petit » et exprimé en radians, on peut faire les approximations suivantes :  $\sin \alpha \approx \alpha$  et  $\tan \alpha \approx \alpha$ .

Or d'après le texte, on sait que :  $\sin \alpha = \frac{\lambda}{a} \approx \alpha$

Et d'après la figure 2, on peut écrire :  $\tan \alpha = \frac{L}{D} \approx \alpha$  d'où  $\frac{\lambda}{a} = \frac{L}{D}$  soit  $L = \frac{\lambda D}{a}$

**1.3.** On voit d'après la relation précédente que la largeur  $L$  est proportionnelle à la longueur d'onde  $\lambda$ . On sait aussi que la longueur d'onde d'une radiation bleue est plus petite que la longueur d'onde d'une radiation rouge ( $\lambda_{\text{bleu}} < \lambda_{\text{rouge}}$ ) donc on aura  $L_{\text{bleu}} < L_{\text{rouge}}$ . A partir de la frange centrale, on verra donc une frange bleue puis une frange rouge.

**PARTIE 2 : Interférences de molécules de phtalocyanine**

**2.1.** On cherche à démontrer les équations horaires du mouvement de la molécule de phtalocyanine

Inventaire des forces

Système : {molécule de phtalocyanine de masse  $m$ } (la molécule sera assimilée à son centre d'inertie  $M$ )

Référentiel terrestre (du laboratoire) supposé galiléen

L'origine du repère  $(Ox, Oz)$  est placée à la sortie de la fente.

Le champ de pesanteur  $\vec{g}$  est supposé constant

$$\vec{g} \begin{pmatrix} g_x = 0 \\ g_z = +g \end{pmatrix}$$

Une seule force s'exerce sur le système :

- le poids de la molécule  $\vec{P} = m \times \vec{g}$

$$\vec{P} \begin{pmatrix} P_x = 0 \\ P_z = m \times g \end{pmatrix}$$

Les conditions initiales

$$\overrightarrow{OM}_0 \begin{pmatrix} x_0 = 0 \text{ m} \\ z_0 = 0 \text{ m} \end{pmatrix} \text{ et } \vec{v}_0 \begin{pmatrix} v_{0x} = v_0 \\ v_{0z} = 0 \text{ m.s}^{-1} \end{pmatrix}$$

### Application de la 2<sup>ème</sup> loi de Newton

Le référentiel terrestre est considéré comme galiléen. Nous pouvons appliquer la 2<sup>ème</sup> loi de Newton (ou le principe fondamental de la dynamique)

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \frac{d(\vec{p}(t))}{dt} = \frac{d(m \times \vec{v}(t))}{dt}$$

La masse du système est constante donc :

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \times \frac{d(\vec{v}(t))}{dt} = m \times \vec{a}(t)$$

**Erreur souvent rencontrée : Confusion entre le poids  $\vec{P} = m \times \vec{g}$  et la quantité de mouvement  $\vec{p} = m \times \vec{v}$**

or  $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{P} = m \times \vec{g}$   
donc  $\vec{P} = m \times \vec{g} = m \times \vec{a}(t)$   
soit  $\vec{a}(t) = \vec{g}$

### Coordonnées du vecteur accélération

D'après l'égalité vectorielle précédente, on en déduit les coordonnées du vecteur accélération  $\vec{a}(t)$  :

$$\vec{a}(t) \begin{pmatrix} a_x(t) = 0 \\ a_z(t) = g \end{pmatrix}$$

### Coordonnées du vecteur vitesse (ou équations horaires de la vitesse)

On sait que :

$$\vec{a}(t) = \frac{d(\vec{v}(t))}{dt}$$

Pour déterminer les coordonnées du vecteur vitesse  $\vec{v}(t)$  (ou équations horaires de la vitesse), on cherche la primitive de  $\vec{a}(t)$  :

$$\vec{v}(t) \begin{pmatrix} v_x(t) = C_1 \\ v_z(t) = g \times t + C_2 \end{pmatrix}$$

Pour déterminer la valeur des constantes  $C_1$  et  $C_2$ , on se place à l'instant initial ( $t = 0$  s)

$$\vec{v}(t = 0 \text{ s}) = \vec{v}_0 \begin{pmatrix} v_x(t = 0 \text{ s}) = C_1 = v_{0x} = v_0 \\ v_z(t = 0 \text{ s}) = +g \times 0 + C_2 = C_2 = v_{0z} = 0 \end{pmatrix}$$

On déduit que :

$$\vec{v}(t) \begin{pmatrix} v_x(t) = v_0 \\ v_z(t) = g \times t \end{pmatrix}$$

### Coordonnées du vecteur position (ou équations horaires du mouvement)

On sait que :

$$\vec{v}(t) = \frac{d(\overline{OM}(t))}{dt}$$

Pour déterminer les coordonnées du vecteur position  $\overline{OM}(t)$  (ou équations horaires du mouvement), on cherche la primitive de  $\vec{v}(t)$  :

$$\overline{OM}(t) \begin{pmatrix} x(t) = v_0 \times t + C_3 \\ z(t) = \frac{1}{2} \times g \times t^2 + C_4 \end{pmatrix}$$

Pour déterminer la valeur des constantes  $C_3$  et  $C_4$ , on se place à l'instant initial ( $t = 0$  s)

$$\overline{OM}(t = 0 \text{ s}) = \overline{OM}_0 \begin{pmatrix} x(t = 0 \text{ s}) = v_0 \times 0 + C_3 = C_3 = x_0 = 0 \text{ m} \\ z(t = 0 \text{ s}) = \frac{1}{2} \times g \times 0^2 + C_4 = C_4 = z_0 = 0 \text{ m} \end{pmatrix}$$

On déduit que :

$$\overline{OM}(t) \begin{pmatrix} x(t) = v_0 \times t \\ z(t) = \frac{1}{2} \times g \times t^2 \end{pmatrix}$$

**2.2.** On vérifie l'homogénéité des deux équations horaires de mouvement.

$$[x(t)] = m$$

$$[v_0 \times t] = [v_0] \times [t] = m \cdot s^{-1} \times s = m$$

$$[z(t)] = m$$

$$[1/2 \times g \times t^2] = [g] \times [t]^2 = m \cdot s^{-2} \times s^2 = m$$

Les deux équations horaires de mouvement sont bien homogènes à une longueur.

**2.3.** On s'intéresse à la position de la molécule à la date  $t_1$  lorsqu'elle atteint le réseau.

$$\overrightarrow{OM}(t_1) \begin{pmatrix} x(t_1) = v_0 \times t_1 = D_1 \\ z(t_1) = \frac{1}{2} \times g \times t_1^2 = H_0 \end{pmatrix}$$

La première égalité nous permet d'écrire :

$$t_1 = \frac{D_1}{v_0}$$

**Erreur souvent rencontrée :** Utilisation de la relation de la vitesse moyenne  $v_{moy} = \frac{d}{t}$ . Dans cet exercice, cela donne la même réponse car le vecteur vitesse est suivant un seul axe (Ox) !

On remplace  $t_1$  dans la deuxième égalité pour exprimer  $H_0$  en fonction des autres grandeurs :

$$H_0 = \frac{1}{2} \times g \times t_1^2 = \frac{1}{2} \times g \times \left(\frac{D_1}{v_0}\right)^2 = \frac{1}{2} \times 9,81 \times \left(\frac{566 \cdot 10^{-3}}{1,5 \cdot 10^2}\right)^2 = 7,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

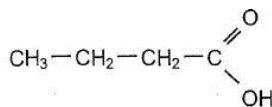
**2.4.** Quand la vitesse  $v_0$  augmente, la distance  $H_0$  diminue (et tend vers 0) car les deux grandeurs sont inversement proportionnelles.

**Erreur souvent rencontrée :** La vitesse ne modifie pas le champ de pesanteur ou le poids.

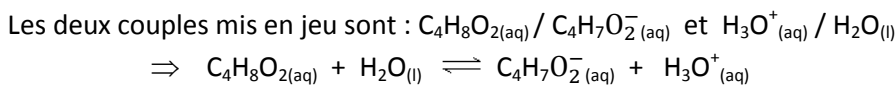
### Exercice 3 : Du fromage et du beurre (5 points)

#### PARTIE 1 : Quelques propriétés de l'acide butanoïque.

1.1. Formule semi-développée de l'acide butanoïque :



1.2. Equation de la réaction entre l'acide butanoïque et l'eau :



1.3. On sait que  $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$ , donc  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$ .

$$\text{pH} = 3,2 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3,2} = 6,31 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Si l'acide butanoïque était un acide fort, la réaction serait totale, on aurait donc :

$$x_f = x_{\text{max}} = \frac{n(\text{H}_3\text{O}^+)}{1} = [\text{H}_3\text{O}^+] \times V \quad \text{et} \quad x_{\text{max}} = \frac{n(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2)}{1} = C \times V$$

donc  $[\text{H}_3\text{O}^+] = C$

Or  $C = 3,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  donc  $[\text{H}_3\text{O}^+] < C$ , l'acide butanoïque est donc un acide faible.

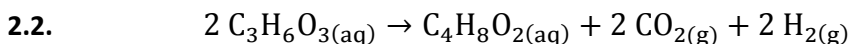
1.4. Lorsque  $\text{pH} > \text{pK}_A$  la forme basique ( $\text{C}_4\text{H}_7\text{O}_2^-(\text{aq})$ ) est prédominante

Lorsque  $\text{pH} < \text{pK}_A$  la forme acide ( $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2(\text{aq})$ ) est prédominante

Comme le  $\text{pK}_A = 4,8$  à  $\text{pH} = 3,2$ , le pH l'espèce prédominante est l'acide butanoïque  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2(\text{aq})$ .

#### PARTIE 2 : La fermentation butyrique dans le fromage

2.1. Le gonflement des fromages lors de la fermentation butyrique est due à la formation de deux gaz, le dioxyde de carbone et le dihydrogène.



D'après l'équation de la réaction 1 mole d'acide butanoïque ( $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ ) est formée lorsque 2 moles d'acide lactique ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ ) réagissent.

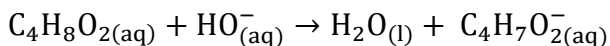
On peut donc écrire :

$$\begin{aligned} n(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2) &= \frac{n(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3)}{2} \\ n(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2) &= \frac{m(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3)}{2 \times M(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3)} \\ m(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2) &= n(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2) \times M(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2) \\ m(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2) &= \frac{m(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3) \times M(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2)}{2 \times M(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3)} \\ m(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2) &= \frac{2,0 \times 88}{2 \times 90} = 0,98 \text{ g} \end{aligned}$$

L'information indiquant que la fermentation de 2,0 g d'acide lactique conduit à la formation d'environ 1 g d'acide butanoïque est donc correcte.

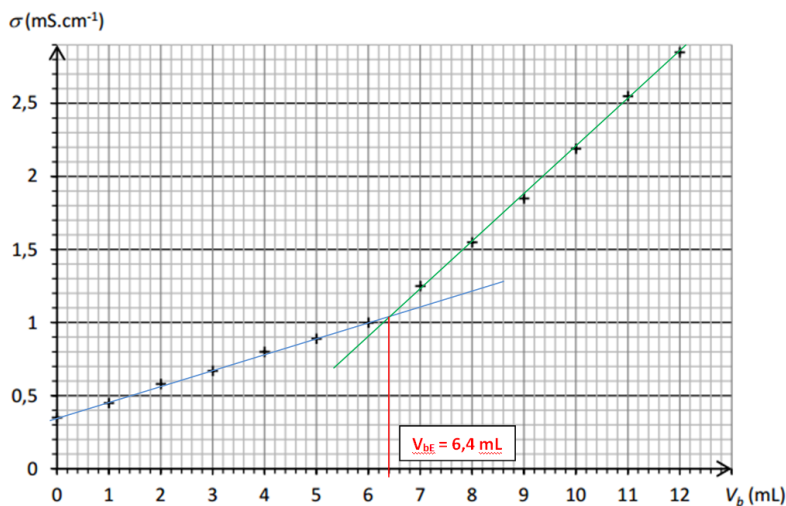
#### PARTIE 3 : Analyse d'un beurre

L'équation de la réaction support du titrage est la suivante :



3.1. Pour déterminer la valeur de la quantité de matière d'ions hydroxyde versée à l'équivalence, on cherche l'équivalence à l'aide de la courbe représentant la conductivité de la solution  $\sigma$  en fonction du volume de solution titrante versée. La courbe présente 2 droites de pentes distinctes : Le point d'équivalence correspond au point d'intersection de ces 2 droites.

Le volume équivalent est  $V_{\text{bE}} = 6,4 \text{ mL}$ .



$$n_{(\text{HO}^-)} = C \times V_{\text{bE}} = 4,0 \cdot 10^{-1} \times 6,4 \cdot 10^{-3}$$

$$n_{(\text{HO}^-)} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

**3.2.** D'après l'énoncé un beurre est rance si le pourcentage en masse d'acide butanoïque qu'il contient est supérieur ou égal à 4 %, c'est-à-dire qu'il y a plus de 4 g d'acide butanoïque dans 100 g de beurre.

On va chercher la masse d'acide butanoïque contenue dans les 8,0 g de beurre analysé.

on sait que :  $m_{(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2)} = n_{(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2)} \times M_{(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2)}$

La quantité de matière est déterminée à partir du titrage :

A l'équivalence les réactifs sont entièrement consommés, on a donc :

$$n_{(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2)} = n_{(\text{HO}^-)} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$m_{(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2)} = 2,6 \cdot 10^{-3} \times 88$$

$$m_{(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2)} = 2,3 \cdot 10^{-1} \text{ g}$$

La masse d'acide contenue dans 100 g serait alors :

$$m = \frac{2,3 \cdot 10^{-1} \times 100}{8} = 2,9 \text{ g.}$$

Le pourcentage masse d'acide butanoïque contenu dans le beurre étudié est 2,9%.

Ce pourcentage étant inférieur à 4% on peut conclure que le beurre n'est pas rance.