BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2017

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Épreuve du mercredi 31 mai

Durée de l'épreuve : 3 heures 30
Coefficient : 6

L'usage de la calculatrice est autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Le sujet comporte trois exercices présentés sur 11 pages numérotées de 1/11 à 11/11, y compris celle-ci.

Documents à rendre avec la copie :

Annexes de l'exercice II et de l'exercice III… ……..page 11/11.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

Obligatoire

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

EXERCICE I : LA MÉCANIQUE AU SERVICE DE LA PÉTANQUE (5 points)

La pétanque est un jeu de boules dérivé du jeu provençal aussi appelé "la longue". Le but du jeu consiste tout simplement à lancer la boule le plus près possible du "but" matérialisé par le bouchon. Le terrain de jeu est horizontal.

Au début d'une partie de pétanque, un joueur trace un cercle sur le sol, il se place dans ce cercle et lance le bouchon à une distance entre 6 et 10 mètres de ce cercle.

Les joueurs de pétanque ont le choix entre *pointer* c'est-à-dire tenter de placer leur boule plus près du but que l'adversaire ou *tirer* c'est-à-dire déplacer la boule adverse pour l'éloigner du "but" et remporter le point.

Le pointeur joue avec des boules de petit diamètre (71 à 74 mm) pour offrir moins de surface au tireur, assez lourdes pour un meilleur contrôle (710 à 740 g). Le tireur joue avec des boules de gros diamètre (74 à 78 mm), légères afin de limiter la fatigue (670 à 700 g),

D'après http://www.la boule bleue.fr

Cet exercice aborde l'étude d'un lancer d'une boule par un pointeur, puis par un tireur. Dans tout l'exercice, les frottements seront négligés.

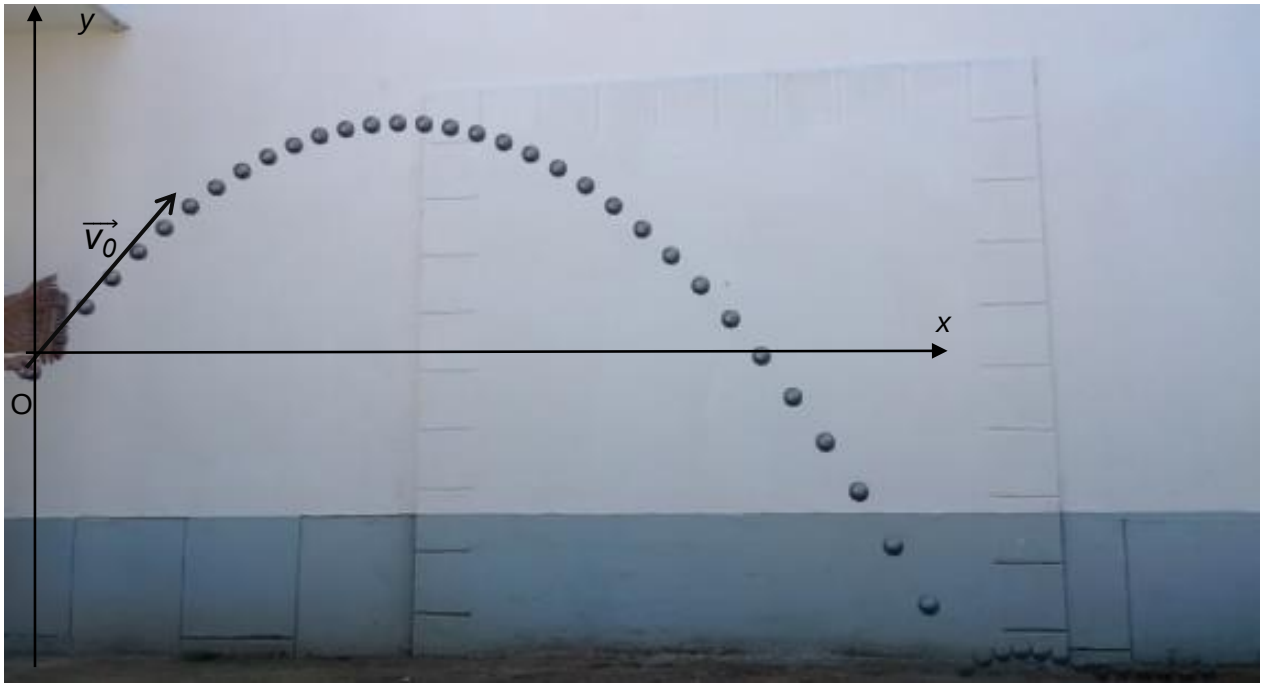
Partie A - Le pointeur

Le pointeur lance sa boule de masse $m = 710$ g avec une vitesse initiale $\overrightarrow{V_0}$ faisant un angle α par rapport à l'horizontale. L'origine O est prise au point où le pointeur lâche la boule. Le modèle de la chute libre conduit aux équations horaires du mouvement du centre G de la boule dans le repère (O, *x*, *y*) :

$$\begin{cases} x = V_0 . \cos(\alpha) . t \\ y = -\frac{1}{2} g.t^2 + V_0 . \sin(\alpha) . t \end{cases}$$

Donnée : intensité du champ de pesanteur sur Terre : $g = 9{,}81$ m.s^{-2}

1. On réalise la chronophotographie du mouvement de la boule lancée par le pointeur. Cette chronophotographie est représentée ci-dessous ; l'intervalle de temps entre deux prises de vue est de 33,3 ms.



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

Quelques coordonnées du centre de la boule de pétanque

Date t (s)	x (m)	y (m)
0,000	0,000	0,000
0,033	0,117	0,117
0,067	0,243	0,243
0,100	0,346	0,360

1.1. Déterminer, à partir de la chronophotographie, la valeur de l'angle α entre l'horizontale et le vecteur vitesse à l'origine des dates en précisant la méthode choisie.

1.2. En exploitant le modèle de la chute libre et en utilisant les résultats expérimentaux, déterminer la valeur de la vitesse initiale V_0.

2. Le pointeur lance la boule en direction du bouchon et la lâche au point O origine du repère choisi. Le point O est situé à une hauteur de 1,2 m du sol.

2.1. Montrer que la boule suit une trajectoire parabolique d'équation :

$$y = -\frac{1}{2}g\frac{x^2}{(V_0 . \cos(\alpha))^2} + \tan(\alpha).x$$

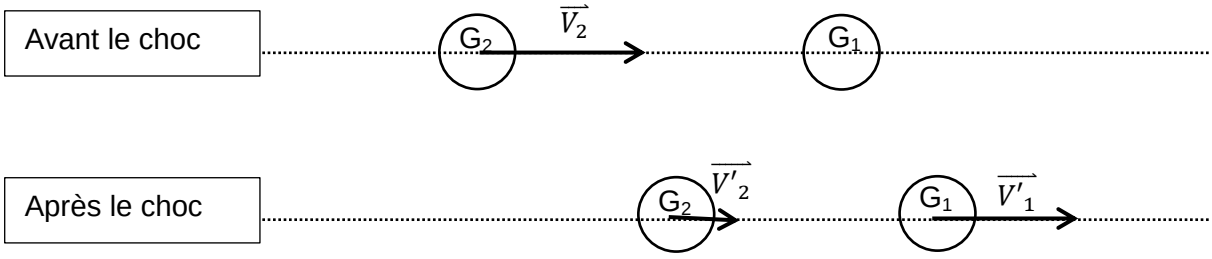
2.2. Pour un angle α de 51° et une vitesse initiale de valeur égale à 5,5 m.s^{-1}, la boule touche le sol, puis roule vers le bouchon.
Calculer l'abscisse du point d'impact de la boule avec le sol.

Partie B - Le tireur

La boule lancée par le pointeur étant proche du bouchon, le tireur de l'équipe adverse va chercher à la déplacer. Le tireur lance sa boule à quelques centimètres de la boule visée ; la boule du tireur roule puis percute la boule du pointeur de plein fouet avec une vitesse V_2 = 8,0 m.s^{-1}.

Dans le référentiel terrestre, après le choc, les deux boules, de masses respectives m_1 et m_2, possèdent les vecteurs vitesse $\overrightarrow{V'_1}$ et $\overrightarrow{V'_2}$ portés par la même direction.

On étudie le cas de figure du choc donné par le schéma suivant :



1. Lors de ce choc, deux grandeurs se conservent et permettent d'écrire les relations suivantes :

$$m_2.\overrightarrow{V_2} = m_1.\overrightarrow{V'_1} + m_2.\overrightarrow{V'_2}$$

$$\frac{1}{2}m_2.V_2^{\,2} = \frac{1}{2}m_1.(V'_1)^2 + \frac{1}{2}m_2.(V'_2)^2$$

Nommer les deux grandeurs dont la conservation est exprimée par ces relations.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

2. La résolution du système précédent permet d'écrire les relations vectorielles suivantes :

$$\overrightarrow{V'_1} = \frac{2\,m_2}{m_1 + m_2}.\overrightarrow{V_2} \quad \text{et} \quad \overrightarrow{V'_2} = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}.\overrightarrow{V_2}$$

À partir de ces relations vectorielles, associer les relations A, B et C comparant les masses aux trois propositions 1, 2 et 3 :

$m_1 = m_2$	A
$m_1 > m_2$	B
$m_1 < m_2$	C

1	la boule G_2 repart en sens inverse
2	la boule G_2 suit la boule G_1
3	les boules échangent leurs vitesses

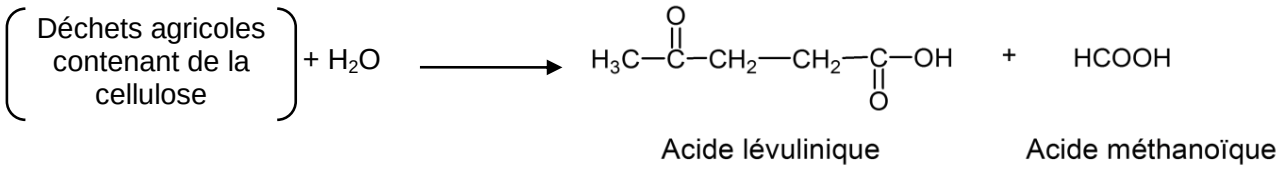
Reporter vos réponses sur votre copie et justifier chaque choix.

3. Que se passe-t-il si la masse m_1 est très largement supérieure à la masse m_2 ?

EXERCICE II : L'ACIDE LÉVULINIQUE, UNE MOLÉCULE QUI A DE L'AVENIR (10 points)

Cet exercice porte sur l'optimisation de la synthèse de l'acide lévulinique et sur la transformation de l'acide lévulinique en valérolactone.

L'acide lévulinique est synthétisé à partir de la cellulose présente dans les déchets agricoles. Il s'agit d'une molécule « plateforme » au sens où elle peut mener, par différentes transformations chimiques, à de nombreux produits d'intérêts tels que les composés pharmaceutiques, les plastiques, les parfums… Elle pourrait même remplacer à terme le pétrole comme matière première de l'industrie chimique.

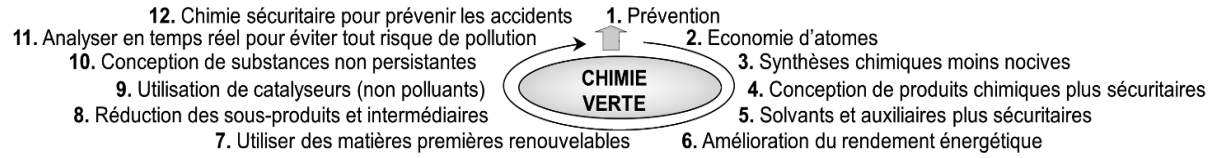


La cellulose est une macromolécule de formule brute $(C_6H_{10}O_5)_n$ constituée d'une succession de n motifs.

Données :

	Motif de la cellulose	Acide lévulinique	Acide méthanoïque	Valérolactone
Masse molaire M ($g \cdot mol^{-1}$)	162,1	116,1	46,0	100,1
Masse volumique ρ ($g \cdot mL^{-1}$)	1,50	1,14	1,22	1,05

- Les 12 principes de la chimie verte :



D'après http://culturesciences.chimie.ens.fr/

- Table des nombres d'onde :

Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité F : fort ; m : moyen	Famille
C_{tet}-H	2850-3000 et 1430-1480	F	Alcane
O-$H_{lié}$	3200-3400	F (large)	Alcool
O-$H_{lié}$	2500-3200	F à m (large)	Acide carboxylique
C_{tri}=O	1700-1740	F	Cétone
C_{tri}=O	1700-1725	F	Acide carboxylique
C_{tri}=O	1735-1750	F	Ester

C_{tet} : carbone tétragonal (tétraédrique) C_{tri} : carbone trigonal

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

1. Optimisation du protocole de synthèse de l'acide lévulinique

Pour optimiser la synthèse de l'acide lévulinique, les chercheurs ont réalisé 6 synthèses en faisant varier différents paramètres.

Protocole général

Chaque synthèse a été réalisée sous agitation à 200 °C. Un volume d'eau V = 24 mL contenant le catalyseur en quantité désirée a été mélangé à une masse m = 1,75 g de matière première (déchets agricoles) réduite en poudre sous atmosphère inerte de diazote.

Les résultats des synthèses numérotées de 1 à 6 sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Synthèse	Matière première	Teneur en cellulose (% massique)	Irradiation micro-ondes	Durée de la synthèse (min)	Catalyseur (quantité en mol pour 1 mole de cellulose)	Rendement de la synthèse (%)
1	Branches d'olivier non productrices d'olives	39,4	Oui	15	0,0115 Acide chlorhydrique	51
2	Sciure de peuplier	57,6	Non	60	0,0115 Acide chlorhydrique	37
3	Sciure de peuplier	57,6	Oui	15	0,0115 Acide chlorhydrique	45,8
4	Boues de papier	57,1	Non	60	0,0115 Acide chlorhydrique	55,1
5	Boues de papier	57,1	Oui	15	0,0115 Acide chlorhydrique	55,5
6	Boues de papier	57,1	Non	60	0,0115 Acide sulfurique	26,5

d'après Galetti et al. (2012). Levulinic Acid from waste, BioResources.

1.1. Citer les paramètres que les chercheurs ont fait varier pour optimiser cette synthèse.

1.2. Identifier le paramètre favorisant le rendement de la synthèse qui est mis en évidence dans les synthèses 2 et 3. Justifier.

1.3. Identifier le paramètre ayant une influence sur le rendement de la synthèse qui est mis en évidence par les synthèses 2 et 4. Préciser son influence.

1.4. Quel catalyseur est-il préférable de choisir ? Justifier.

1.5. Quelle expérience, parmi celles proposées, correspond à la synthèse de l'acide lévulinique la plus « verte » possible ? Justifier.

1.6. Si le rendement était de 100 %, on obtiendrait une mole d'acide lévulinique pour une mole d'un motif de cellulose transformée. Déterminer la masse expérimentale m_{exp} réellement obtenue en acide lévulinique dans l'expérience 5.

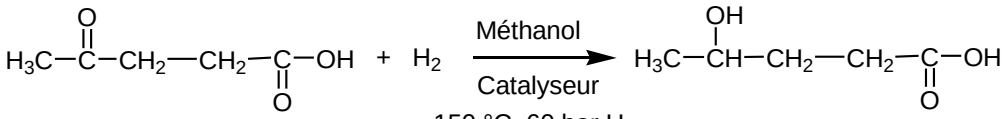
2. Transformation de l'acide lévulinique en valérolactone

La valérolactone est un précurseur de nombreux composés pharmaceutiques permettant de lutter, par exemple, contre l'hypertension ou la leucémie. L'objectif de cette partie est d'étudier deux voies de synthèse de la valérolactone.

2.1. Étude théorique d'une première voie de synthèse de la valérolactone

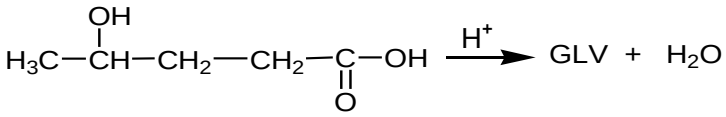
La valérolactone peut être synthétisée directement à partir de l'acide lévulinique par deux réactions successives 1 et 2 dont les équations sont données ci-après :

réaction 1



Acide lévulinique — composé 1

réaction 2



composé 1 — valérolactone

2.1.1. Recopier l'équation de la réaction 1 en utilisant les formules topologiques. Entourer les groupes caractéristiques et nommer les fonctions correspondantes.

2.1.2. À quelle catégorie de réaction, la réaction 1 appartient-elle ?

2.1.3. Recopier la formule semi-développée de l'acide lévulinique sur votre copie, entourer les groupes de protons équivalents et prédire la multiplicité du signal en RMN du proton pour chaque groupe de protons.

2.1.4. Expliquer comment les chercheurs peuvent s'assurer de l'existence du composé 1, à la fin de la réaction 1, par spectroscopie infrarouge (IR) et par résonance magnétique nucléaire du proton (RMN).

2.1.5. Au cours de la réaction 1, deux stéréoisomères du composé 1 sont obtenus. Donner les représentations de Cram de ces deux stéréoisomères.
Par quelle relation de stéréoisomérie sont-ils liés ? Justifier.

2.1.6. La réaction 2 est une estérification particulière : la molécule du composé 1 possède les deux fonctions qui peuvent réagir entre elles pour donner un ester cyclique, la valérolactone.
Sur une partie du mécanisme simplifié d'estérification intramoléculaire donné en **annexe à rendre avec la copie**, compléter les étapes a et b à l'aide du formalisme des flèches courbes.

2.2. Étude de la deuxième voie de synthèse sélective d'un stéréoisomère de la valérolactone

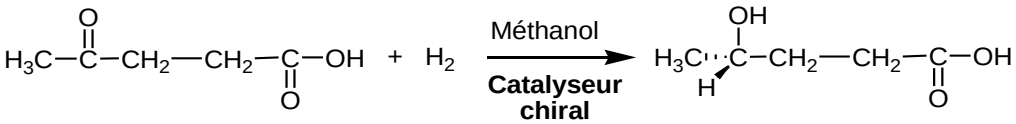
Dans une publication de juillet 2015, des chercheurs expliquent comment ils sont parvenus à synthétiser de manière préférentielle l'un des stéréoisomères de la valérolactone à l'aide d'un catalyseur chiral. Deux réactions chimiques successives mènent à ce stéréoisomère.

Protocole de la synthèse sélective du stéréoisomère de la valérolactone

Un volume V = 0,75 mL d'une solution méthanolique d'acide lévulinique à la concentration massique C_m = 785 g·L^{-1} est placé sous une atmosphère chargée en dihydrogène (H_2) à la pression P = 60 bar et chauffé à une température de 150 °C en présence de 0,009 mmol du catalyseur chiral sous agitation pendant 20 h. Après traitement du milieu réactionnel et purification, un volume V' = 0,38 mL du stéréoisomère de la valérolactone est obtenu sous la forme d'un liquide incolore.

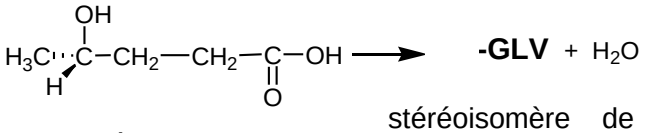
Les équations des deux réactions sont données par :

réaction 1'



Acide lévulinique — 150 °C, 60 bar H_2 — composé 2 100 %

réaction 2'



composé 2 100 % — stéréoisomère de la valérolactone 78 %

D'après József M. Tukacs et al. 2015. Direct asymmetric reduction of levulinic acid to γ-valerolactone: synthesis of a chiral platform molecule, Green Chem.

2.2.1. Justifier la nécessité de trouver des synthèses ne menant qu'à un seul stéréotiomère dans l'industrie pharmaceutique.

2.2.2. Quelle est la quantité initiale n_{acide} d'acide lévulinique transformée lors de cette synthèse ?

2.2.3. Calculer le volume maximal théorique V_{max} de valérolactone susceptible d'être obtenu lors de cette synthèse si le rendement des deux réactions était de 100 % et le dihydrogène H_2 introduit en excès. Le volume V' réellement obtenu du stéréoisomère de la valérolactone est-il compatible avec le rendement de 78% de la réaction 2' indiqué dans la publication ?

EXERCICE III : INTERFÉRENCE AVEC DES ATOMES FROIDS (5 points)



En 1929, le prix Nobel de physique est attribué au mathématicien et physicien français Louis de Broglie pour sa découverte de la nature ondulatoire des électrons. Ses travaux sont considérés aujourd'hui comme fondateurs de la physique quantique, dont une des lois fondamentales, dite loi de de Broglie, peut s'énoncer de la façon suivante :

« À toute particule matérielle de masse m et de vitesse v est associée une onde de matière de longueur d'onde λ :

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

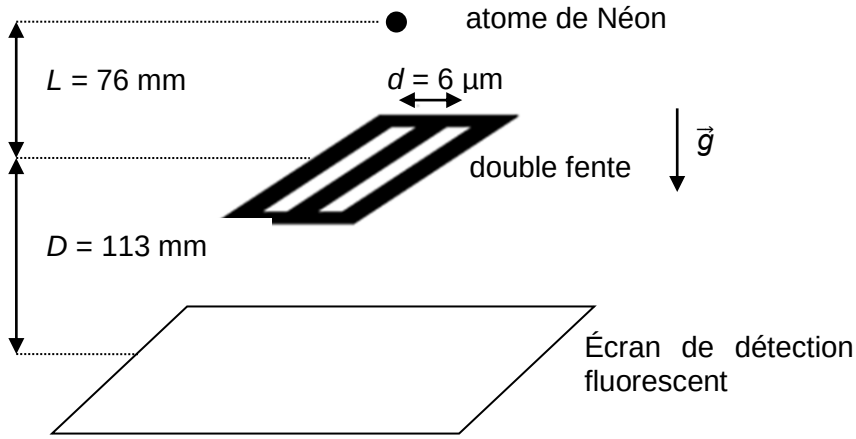
h étant la constante de Planck et p la quantité de mouvement de la particule. »

De nos jours, cette loi est à la base du principe de fonctionnement de certains gravimètres, appareils permettant d'obtenir une valeur très précise de l'intensité de pesanteur. Une application des gravimètres est la détection d'anomalies gravitationnelles permettant d'anticiper la détection de séismes ou de faire de la prospection pétrolière ou archéologique.

Un gravimètre à atomes froids utilise un dispositif vertical dont le principe de fonctionnement simplifié est schématisé ci-dessous. Il utilise des atomes de Néon piégés et refroidis à une température de 2,5 millikelvins. Ces atomes quittent le piège sans vitesse initiale et tombent dans le champ de pesanteur $\vec{g}$.

Le piège est situé à une hauteur L au-dessus de deux fentes séparées d'une distance d.

Un écran de détection est placé à une distance D des deux fentes ; il permet de détecter chaque impact d'atome de Néon.



On obtient sur l'écran de détection une figure d'interférences constituée d'environ 6000 impacts d'atomes.

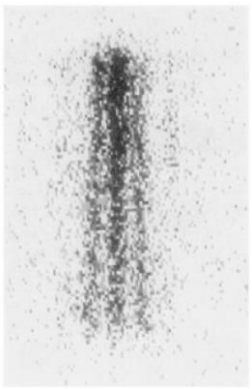


Figure d'interférences observée sur l'écran de détection

D'après F. Shimizu, K. Shimizu, H. Takuma, "Double-slit Interference whith ultracold metastable neon atoms"; Physical Rewiew A; 1992.

Données :

- masse d'un atome de Néon : $m = 3{,}35\times10^{-26}$ kg ;
- constante de Planck : $h = 6{,}63\times10^{-34}$ J.s ;
- vitesse des atomes au niveau de la double fente : $v_F = 1{,}2$ m.s^{-1}.

On applique successivement deux modèles mécaniques aux atomes de Néon pour expliquer le fonctionnement du gravimètre.

1. Chute de l'atome avec le modèle de Newton

On utilise la mécanique de Newton pour décrire la chute libre d'un atome de Néon entre le moment où il quitte le piège et celui où il atteint la double fente.

1.1. Montrer que la vitesse d'un atome au niveau de la double fente est verticale et que sa valeur est donnée par la relation :

$$v_F = \sqrt{2.g.L}$$

1.2. Dans le cadre de la mécanique de Newton, on suppose que les atomes issus du piège arrivent sur les deux fentes avec une vitesse verticale égale à $\sqrt{2.g.L}$. Dans cette hypothèse, dessiner sur la copie la répartition d'un grand nombre d'atomes détectés sur l'écran. Un impact sera représenté par un point noir.

2. Le modèle de de Broglie

La figure obtenue sur l'écran du dispositif est une image d'interférences.

2.1. Quel caractère de la matière est ainsi mis en évidence ?

2.2. Quelle relation mathématique lie les grandeurs physiques p, m et v_F au niveau de la fente ? Préciser l'unité de chaque grandeur.

2.3. Montrer que, dans le modèle de de Broglie, la longueur d'onde λ_{th} associée à un atome de Néon, au niveau de la double fente, est égale à $1{,}6\times10^{-8}m$.

2.4. À partir du document fourni en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, déterminer, avec le plus de précision possible, la valeur de l'interfrange.

2.5. Déterminer, parmi les propositions suivantes, la formule qui permet de calculer l'interfrange à partir des caractéristiques de l'expérience. Préciser la méthode utilisée.

$$i = \frac{\lambda . D}{d} \qquad i = \frac{\lambda^2 . d}{D} \qquad i = \frac{d . D}{\lambda^2}$$

2.6. En déduire la valeur expérimentale de la longueur d'onde de de Broglie, λ_{exp},, associée aux atomes de Néon.

2.7. Comparer les longueurs d'onde λ_{exp} et λ_{th}.

2.8. Analyse des résultats

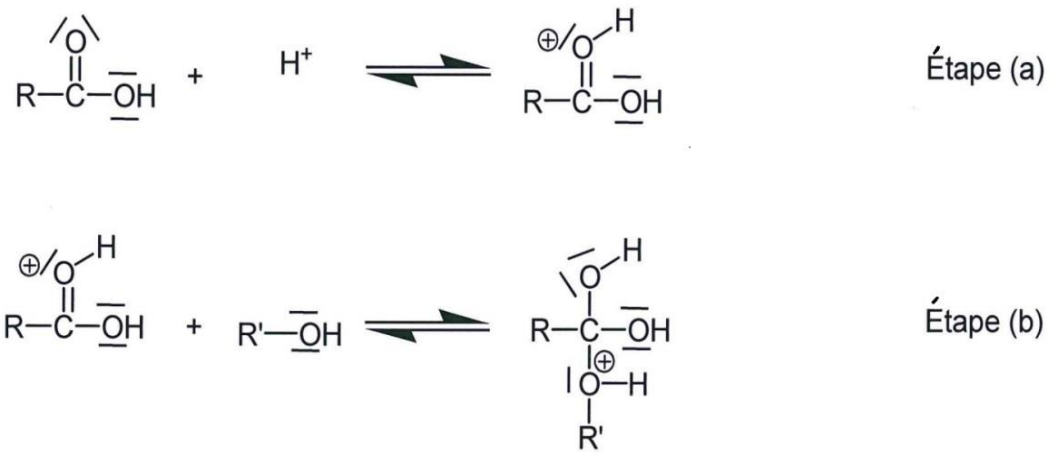
2.8.1. Après les deux fentes, la mécanique classique ne peut plus être utilisée. Par contre, la gravitation continue de s'exercer après les fentes. Comment évolue la quantité de mouvement associée aux atomes de Néon entre la double fente et l'écran ?

2.8.2. Comparer qualitativement la longueur d'onde associée aux atomes de Néon au niveau de la double fente et au niveau de l'écran.

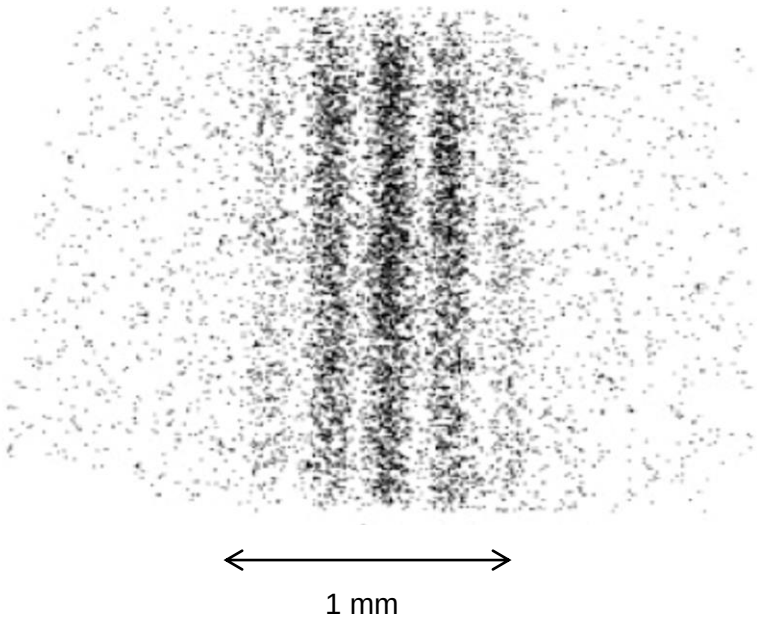
2.8.3. À quelle longueur d'onde aurait-on dû comparer la longueur d'onde obtenue expérimentalement ?

ANNEXES À RENDRE AVEC LA COPIE

Annexe de l'exercice II : Mécanisme d'estérification de la réaction 2



Annexe de l'exercice III : Détermination de l'interfrange



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

Modèle CMEN-DOC v2 A4 ©NEOPTEC

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription :

Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)