

LYCÉE JEAN-PIERRE VERNANT — SÈVRES
BAC BLANC

MAI 2017

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30 – COEFFICIENT : 6

L'usage d'une calculatrice est autorisée.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

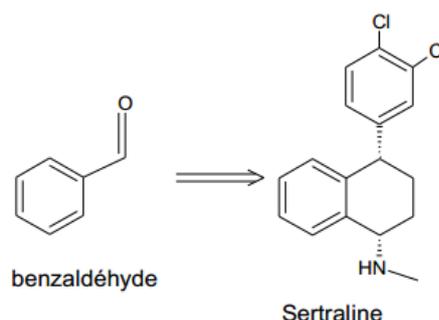
Ce sujet comporte 3 exercices présentés sur 11 pages numérotées de 1 à 11, y compris celle-ci.

Vous rendrez une copie par exercice et vous indiquerez votre classe en en-tête de chaque copie.

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

EXERCICE I. SYNTHÈSE D'UN ANTIDÉPRESSEUR : LA SERTRALINE (10 points)

Le benzaldéhyde est un liquide incolore, couramment utilisé comme additif alimentaire pour son odeur d'amande amère. Il s'avère également être d'une grande utilité en chimie organique de synthèse : par exemple, la synthèse de la sertraline se fait à partir du benzaldéhyde. Cet exercice comporte 4 parties indépendantes : obtention du benzaldéhyde par extraction, obtention du benzaldéhyde par synthèse, conservation du benzaldéhyde et synthèse de la sertraline à partir du benzaldéhyde.



Données

- **Benzaldéhyde :**
 - Masse molaire moléculaire : $M = 106 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
 - Masse volumique : $\rho = 1,04 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$
- **Alcool benzylique :**
 - Masse molaire moléculaire : $M = 108 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
 - Masse volumique : $\rho = 1,04 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$
- **Pureté d'un réactif :**

$$p = \frac{\text{quantité réelle présente dans l'échantillon}}{\text{quantité théorique présente dans l'échantillon pur}}$$

- **Table simplifiée en spectroscopie IR :**

Liaison	Nombre d'onde (en cm^{-1})	Intensité
O-H alcool	3200 - 3400	Forte, large
O-H acide carboxylique	2500 - 3200	Forte à moyenne, large
C=O aldéhyde et cétone	1650-1730	Forte
C=O acide carboxylique	1680-1710	Forte
C-O acide carboxylique	1200-1320	Forte

Partie 1 – obtention du benzaldéhyde par extraction de l'essence d'amande amère

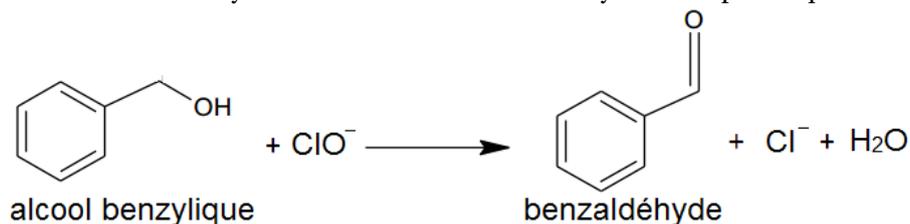
On trouve du benzaldéhyde dans l'essence d'amande amère, extraite du noyau des fruits comme l'abricot. Cette essence est récupérée par hydrodistillation des fruits à l'issue de laquelle on récupère un mélange constitué majoritairement d'eau et de divers composés dont le benzaldéhyde. A l'aide d'une ampoule à décanter, on procède alors à une extraction par solvant du benzaldéhyde. On dispose de quatre solvants dont les caractéristiques sont fournies ci-dessous.

Solvant S	Densité	Solubilité du benzaldéhyde dans S	Miscibilité avec l'eau
eau	1,0	Légèrement soluble	—
éthanol	0,786	Très soluble	Oui
acétone	0,789	Très soluble	Oui
éther	0,713	Très soluble	Non

- 1.1. Quel solvant semble le plus adapté à l'extraction du benzaldéhyde? Justifier.
- 1.2. **SUR L'ANNEXE PAGE 11 À RENDRE AVEC LA COPIE**, compléter le schéma de l'ampoule à décanter fourni en y indiquant le contenu de chaque phase et en justifiant leurs positions relatives.

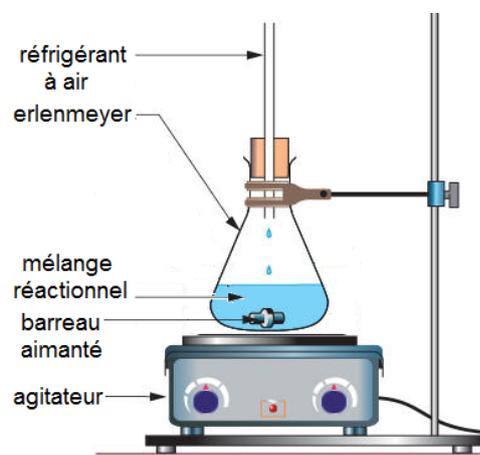
Partie 2 – obtention du benzaldéhyde par synthèse

Le produit naturel ayant un coût élevé, on lui préfère souvent le benzaldéhyde de synthèse. Il est possible de synthétiser le benzaldéhyde à partir de l'oxydation de l'alcool benzylique par l'eau de Javel (renfermant des ions hypochlorite ClO^-). Cette réaction est lente et totale. Elle se déroule en présence d'un catalyseur : le bromure de tétrabutylammonium. La réaction de synthèse a pour équation :



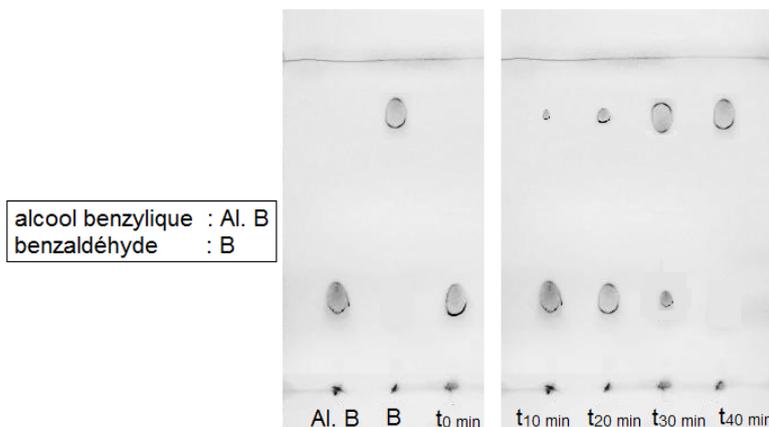
Protocole de la synthèse

- (a). Placer dans un erlenmeyer de 250mL :
 - un barreau aimanté,
 - environ 25 mL d'éthanoate d'éthyle (solvant),
 - 1,0 mL d'alcool benzylique,
 - environ 0,6 g de bromure de tétrabutylammonium.
- (b). Ajouter au contenu de l'erlenmeyer environ 50 mL d'eau de javel diluée (ClO^- sera le réactif en excès) et déclencher simultanément le chronomètre.
- (c). Des micro-prélèvements et des dépôts sur plaque à chromatographie seront effectués aux dates : 10 min, 20 min, 30 min, 40 min. Une fois les 5 dépôts réalisés, procéder à l'élu-tion et révéler à la lampe UV sous la hotte. On considère que les micro-prélèvements n'ont pas modifié les volumes de mélange réactionnel.



Chromatographie

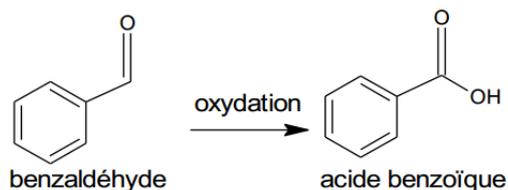
À l'état final, on récupère une masse de benzaldéhyde égale à 1,02 g. Les chromatogrammes obtenus après révélation à la lampe UV sont fournis ci-dessous :



- 2.1. Définir le terme « catalyseur ».
- 2.2. Exploiter les chromatogrammes pour trouver une estimation de la durée de la synthèse.
- 2.3. Calculer le rendement et vérifier que la réaction est totale.

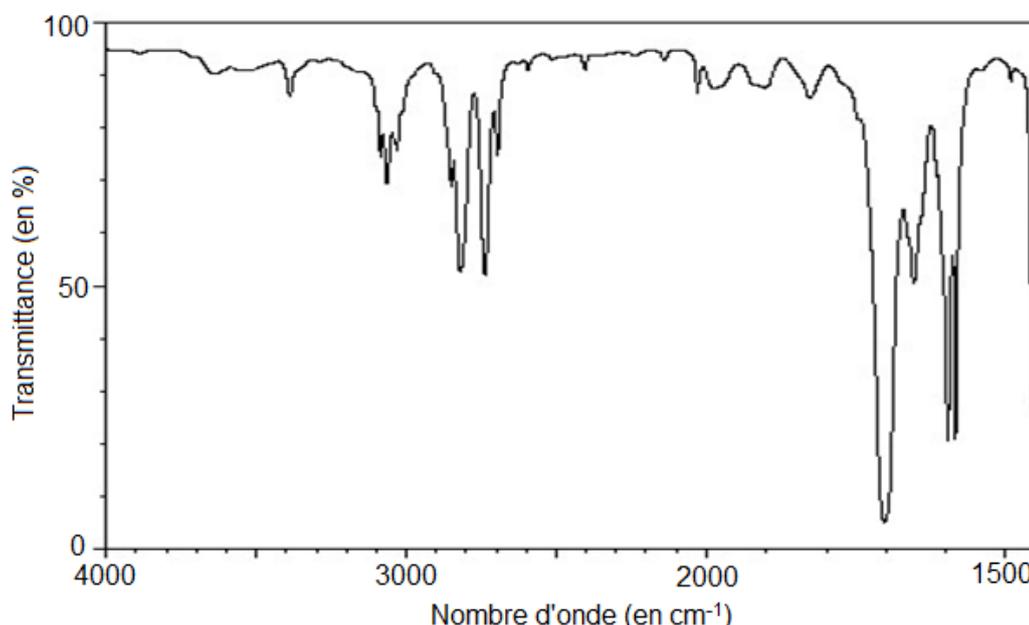
Partie 3 – conservation et pureté du benzaldéhyde

À température ambiante, le benzaldéhyde s'oxyde spontanément en acide benzoïque lorsque le flacon est entamé : pour chaque molécule de benzaldéhyde oxydé, une molécule d'acide benzoïque est formée. Aussi, il convient de vérifier sa pureté avant de l'utiliser comme réactif.



3.1. Sur les molécules de benzaldéhyde et d'acide benzoïque reproduites **SUR L'ANNEXE PAGE 11 À RENDRE AVEC LA COPIE**, entourer les groupes caractéristiques et nommer les fonctions correspondantes.

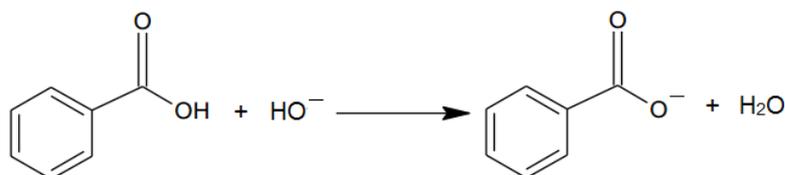
3.2. Afin de vérifier la pureté d'un flacon entamé de benzaldéhyde, il est possible de procéder à une analyse par spectroscopie infrarouge. Le spectre infrarouge du benzaldéhyde est fourni ci-après.



Indiquer à quelles modifications du spectre on doit s'attendre si une partie du benzaldéhyde a été oxydée.

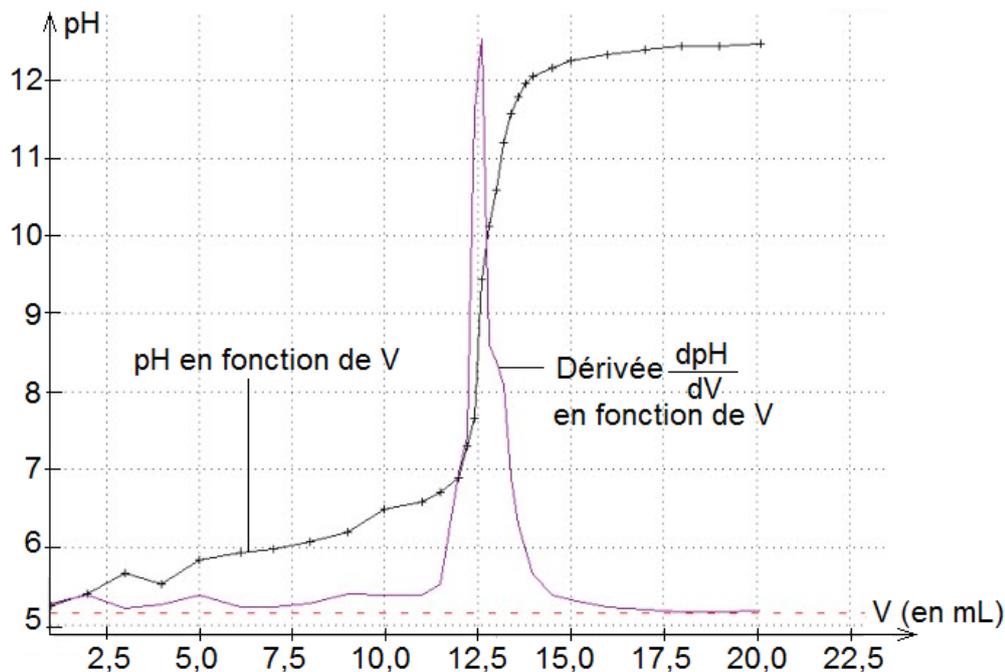
3.3. On cherche alors à déterminer quantitativement la pureté du benzaldéhyde dans le flacon entamé. Pour cela, on réalise le titrage de l'acide benzoïque formé dans un prélèvement de 10,0 mL du flacon entamé de benzaldéhyde par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium, ($\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$), de concentration molaire $1,00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

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



3.3.1. **SUR L'ANNEXE PAGE 11 À RENDRE AVEC LA COPIE**, compléter le mécanisme associé à la réaction se produisant lors du titrage.

Le titrage étant suivi par pH-métrie, on a tracé la courbe $pH = f(V)$ et la courbe « dérivée de pH » (notée $\frac{dpH}{dV}$) en fonction de V .



3.3.2. Parmi les indicateurs colorés proposés ci-dessous, choisir en justifiant l'indicateur coloré adapté à la mise en œuvre de ce même titrage. Indiquer le changement de couleur qui permettrait alors de repérer l'équivalence.

Nom	Zone de virage	Couleur de la forme acide	Couleur de la forme basique
Hélianthine	3,1 – 4,4	Rouge	Jaune
Bleu de thymol	8,0 – 9,6	Jaune	Bleu
Bleu de Nil	10,1 – 11,1	Bleu	Rouge

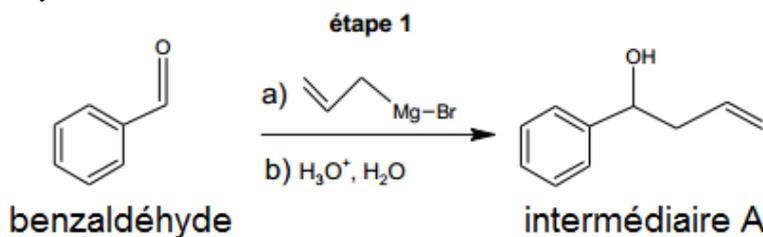
3.3.3. Déterminer la valeur de la pureté de la solution du flacon entamé de benzaldéhyde.
Le candidat est invité à prendre des initiatives et toute tentative de démarche sera valorisée.

Partie 4 – synthèse de la sertraline à partir du benzaldéhyde

La synthèse de la sertraline à partir du benzaldéhyde peut s'effectuer en neuf étapes, seules les étapes 1 et 7 seront étudiées ici.

Étape n° 1

La première étape de la synthèse de la sertraline est décrite ci-dessous :

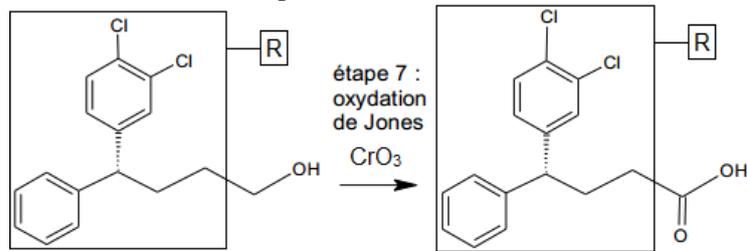


4.1. À l'issue de l'étape 1, on obtient l'intermédiaire A. Ce dernier peut exister sous deux formes stéréoisomères.

Représenter sur la copie les deux formes en utilisant la représentation de Cram. Préciser, en le justifiant, le type de relation de stéréoisomérisie qui les lie.

Étape n° 7

L'étape 7 de la synthèse de la sertraline est présentée ci-dessous :



Intermédiaire Y (noté R-CH₂-OH)
 $M(Y) = 295,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Intermédiaire Z (noté R-COOH)
 $M(Z) = 309,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

L'équation associée à ce processus est la suivante :



Une variante dite « verte » peut être envisagée, en utilisant une solution de peroxyde d'hydrogène H₂O₂ (couplée à un catalyseur). L'équation de la réaction associée à cette variante est la suivante :



Données

• Risques liés à certains composés :

Espèce chimique	Composés du chrome CrO ₃	Peroxyde d'hydrogène H ₂ O ₂ (en solution aqueuse) Masse molaire : 34,0 g · mol ⁻¹
Pictogramme		
Mention de danger	Peut provoquer le cancer.	Provoque de graves brûlures de la peau et des lésions oculaires.

• Économie d'atomes

Soit la réaction d'équation : $aA + bB \longrightarrow pP + qQ$

A et B sont les réactifs, P le produit principal et Q un sous-produit. a , b , p et q sont les coefficients stœchiométriques correspondants. L'économie d'atomes associée à l'équation de réaction précédente a pour expression :

$$E_{at} = \frac{p \cdot M(P)}{a \cdot M(A) + b \cdot M(B)}$$

où $M(A)$, $M(B)$ et $M(P)$ sont respectivement les masses molaires des espèces A , B et P .

Plus l'économie d'atomes est élevée, plus la perte d'atomes en sous-produits est faible et meilleure est la voie de synthèse associée.

4.2. Étude de l'étape 7

4.2.1. Donner un argument qui explique pourquoi cette variante dite « verte » est plus compatible avec la notion de chimie durable que l'oxydation de Jones.

4.2.2. L'économie d'atomes associée au processus associé à l'équation 1 vaut 0,71. La variante dite « verte » de l'étape 7 (équation 2) constitue-t-elle une meilleure alternative du point de vue de l'économie d'atomes? Justifier.

EXERCICE II. BOND... JAMES BOND (5 points)

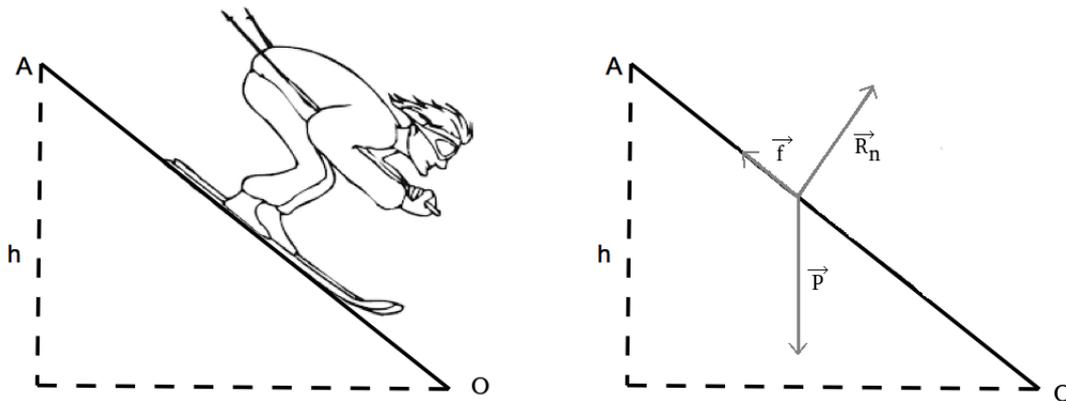
Le contexte

Dans un des épisodes de James Bond, le héros est obligé d'arriver en ski sur la base ennemie. On souhaite modéliser le déplacement d'un skieur, de masse $m = 90 \text{ kg}$. Il démarre sa folle course au point A sans vitesse initiale. Au point O , il va devoir franchir un ravin. On cherche dans un premier temps à connaître sa vitesse au point O .

L'ensemble des frottements dus à l'air et au sol enneigé sera modélisé par une force de frottement dont la direction est parallèle à la pente.

Modélisation

James Bond est assimilé à un point matériel S et on représente sur le schéma de droite ci-dessous les forces qui s'appliquent sur celui-ci. On note \vec{P} le poids de James Bond, \vec{R}_n la réaction normale de la piste et \vec{f} la force de frottement.



avec $h = 500 \text{ m}$, $AO = 700 \text{ m}$, la masse m de James Bond est de 90 kg et l'intensité du champ de pesanteur g sera prise égale à $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Énergie cinétique et travail d'une force

Dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie cinétique ΔE_c d'un solide au cours d'un déplacement d'un point A à un point O est égale à la somme des travaux de toutes les forces extérieures agissant sur ce solide au cours du déplacement.

Partie 1

Dans un premier temps, on néglige les frottements.

- 1.1. Déterminer la vitesse au points O . Détailler la démarche.

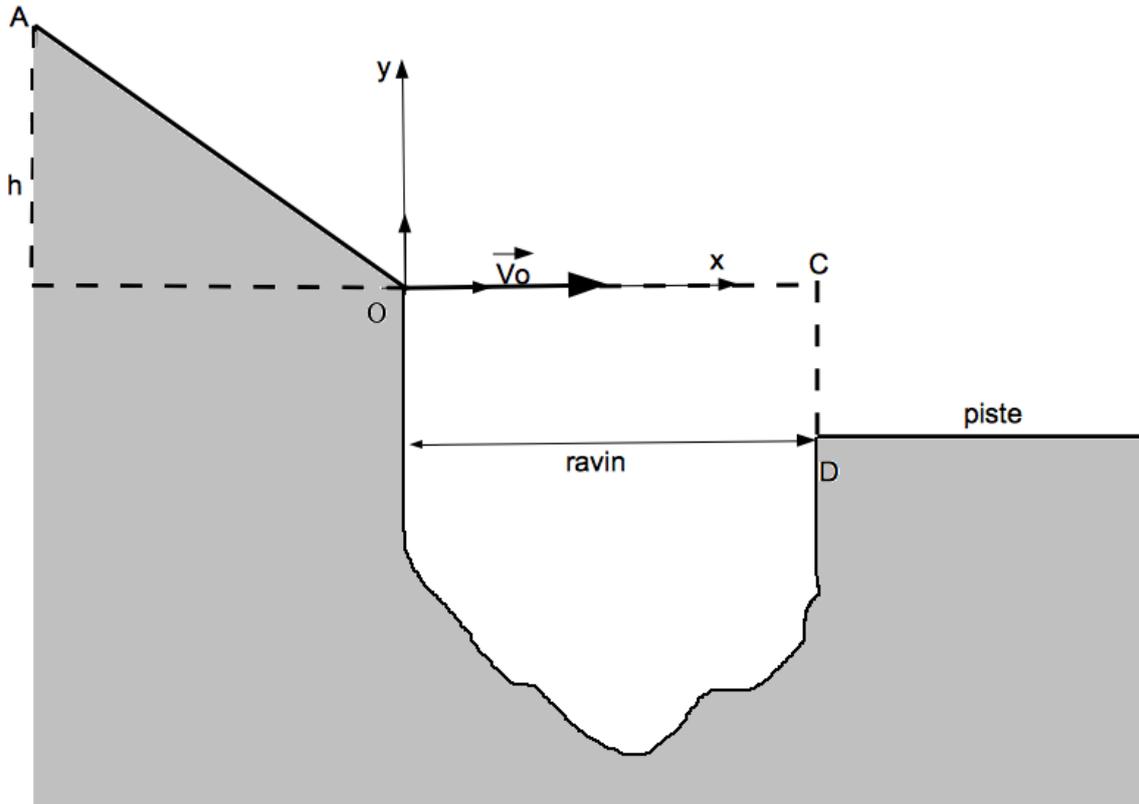
En réalité, le record du monde de vitesse en ski est de l'ordre de $250 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Nous avons bien sur négligé les frottements... On va considérer que James Bond, poursuivi par des méchants ennemis, est capable d'atteindre une telle vitesse (trop fort ce James!)

- 1.2. Déterminer la valeur de la force de frottement. Détailler la démarche.
- 1.3. Que peut-on dire de l'évolution de l'énergie mécanique entre A et O dans les deux études avec et sans frottements?

Partie 2

Dans cette seconde partie, on considérera que les frottements sont négligeables.

Arrivant devant le ravin, on se propose de vérifier que James Bond atteint bien l'autre côté du ravin. Il démarre son saut au point O avec la vitesse initiale \vec{V}_0 dont la norme vaut $70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Il doit atteindre au minimum le point D .



Données : $AO = 20 \text{ m}$ et $CD = 3 \text{ m}$.

On prendra comme origine des temps, $t = 0$, le moment où James Bond arrive au point O .

2.1. Montrer que dans le repère (O, x, y) , nous avons les équations suivantes :

$$\begin{cases} x(t) = V_0 \cdot t \\ y(t) = -g \cdot \frac{t^2}{2} \end{cases} \quad (1)$$

2.2. Montrer que l'équation de la trajectoire dans le repère (O, x, y) est : $y(x) = -\frac{g \cdot x^2}{2 \cdot V_0^2}$

2.3. James Bond parvient-il à traverser le ravin et atteindre la piste de l'autre côté? Justifier.

EXERCICE III. ONDES ET/OU PARTICULES? (5 points)

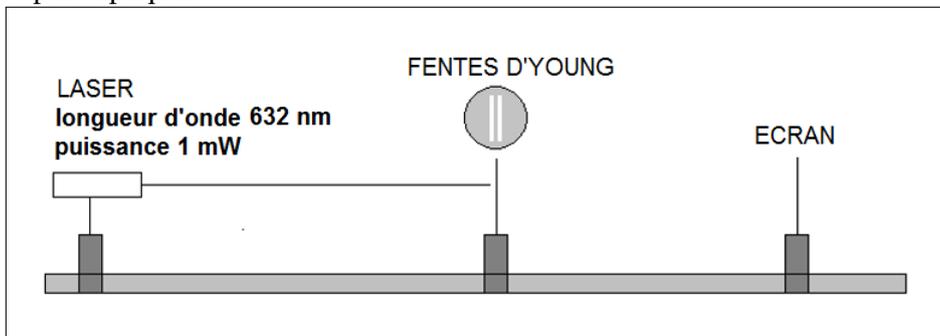
Données

- Énergie d'un photon : $W = h \cdot \nu$
- Célérité de la lumière : $c = 3 \times 10^8$ m/s
- Longueur d'onde de De Broglie : $\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$
- Constante de Planck : $h = 6,62 \times 10^{-34}$ J · s
- Une puissance de 1 W correspond à un débit d'énergie de 1 J par s.
- masse de l'électron : $m = 9,1 \times 10^{-31}$ kg

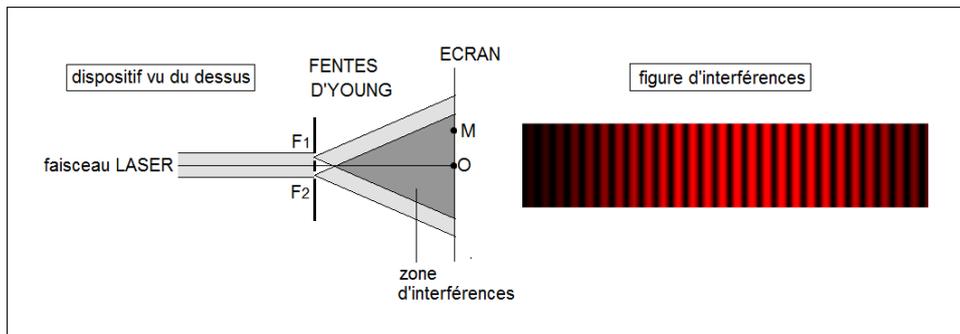
Partie 1

L'expérience "classique" des fentes d'Young

Les fentes d'Young (ou interférences d'Young) désignent en physique une expérience qui consiste à faire interférer deux faisceaux de lumière issus d'une même source, en les faisant passer par deux petites fentes percées dans un plan opaque.



Cette expérience fut réalisée pour la première fois par Thomas Young en 1801 : sur un écran disposé en face des fentes de Young, on observe une figure d'interférences qui est une zone où alternent des franges sombres et brillantes. Ceci permet alors de mettre en évidence la nature ondulatoire de la lumière.

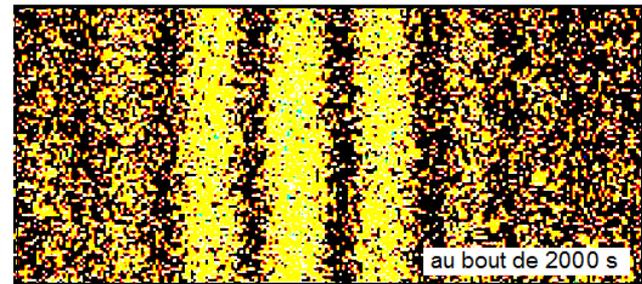
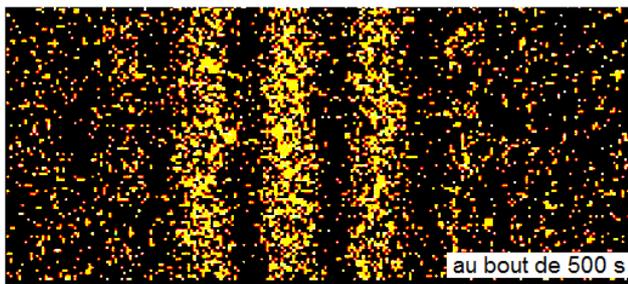
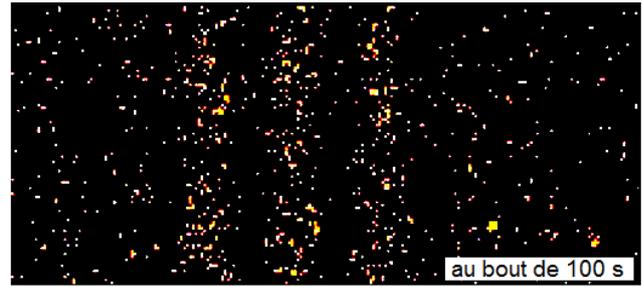
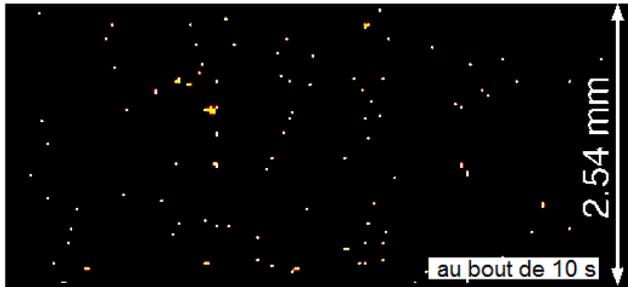
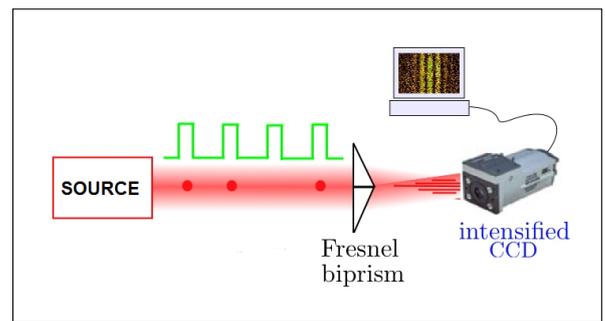


- 1.1. L'interprétation des interférences repose sur le principe de superposition des ondes. Expliquer brièvement en quoi consiste ce principe.
- 1.2. On considère un point M de l'écran situé dans la zone d'interférences.
 - 1.2.1. Qu'appelle-t-on différence de marche au point M?
 - 1.2.2. À quelle condition y a-t-il interférences constructives? On donnera une condition en terme de signaux, puis en terme de différence de marche.
 - 1.2.3. À quelle condition y a-t-il interférences destructives? On donnera une condition en terme de signaux, puis en terme de différence de marche.
- 1.3. L'expérience d'Young est ici réalisée avec un LASER. Montrer que ce LASER envoie de l'ordre de 3 millions de milliards de photons par seconde dans le dispositif.

Partie 2

Une expérience contemporaine d'interférences

Une autre expérience d'interférences a été réalisée à l'ENS de Cachan récemment. Dans cette expérience les fentes d'Young sont remplacées par un autre dispositif, le biprisme de Fresnel. La source émet un flux lumineux très faible, et l'écran est remplacé par une caméra CCD intensifiée.



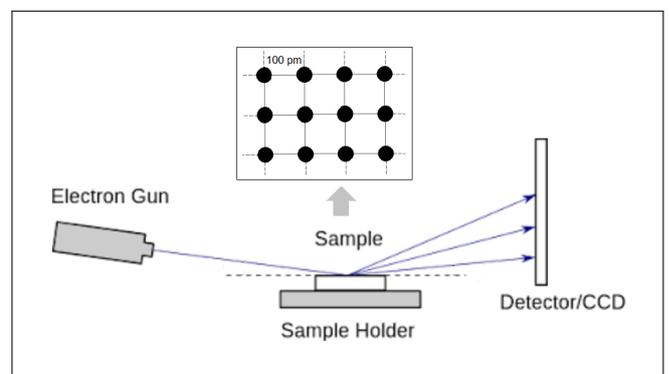
- 2.1. En quoi cette expérience illustre-t-elle la dualité onde/particule (aussi nommée dualité onde/corpuscule)? On attend une explication en quelques lignes qui s'appuie sur les images obtenues par la caméra CCD.
- 2.2. Expliquer pourquoi l'expérience "classique" d'Young ne permet pas d'accéder à l'aspect corpusculaire de la lumière.

Partie 3

Quand les électrons remplacent les photons

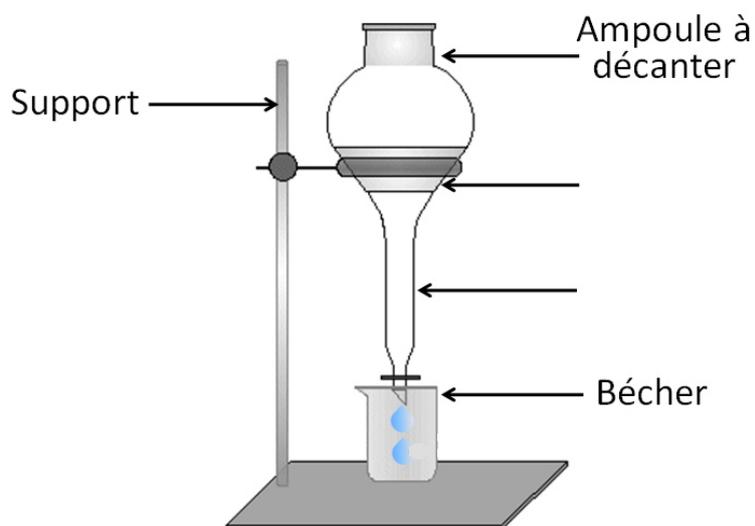
La diffraction des électrons est une technique utilisée pour l'étude de la matière, qui consiste à bombarder d'électrons un échantillon et à observer la figure de diffraction résultante.

L'échantillon est un solide cristallin, c'est à dire un solide constitué d'atomes régulièrement disposés dans l'espace, avec un écart entre atomes de l'ordre de 100 pm.



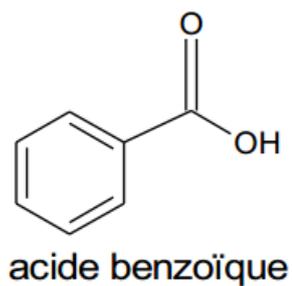
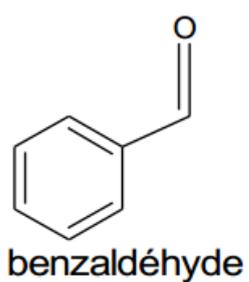
- 3.1. Comment les physiciens interprètent-ils l'observation d'une figure de diffraction avec des électrons, alors que le phénomène de diffraction est caractéristique des ondes?
- 3.2. Déterminer l'ordre de grandeur de la vitesse des électrons qui permet d'observer une figure de diffraction.

Question 1.2.



Justification des positions relatives des phases :

Question 3.1.



Question 3.3.1.

