

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL BLANC

Lycée Français International de Bangkok
Session 2019

PHYSIQUE-CHIMIE

Jeudi 7 mars 2019

Série S

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

L'usage d'une calculatrice EST autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 11 pages numérotées de 1 à 11 :

Exercice 1 : Synthèse organique (8 points)

Exercice 2 : Le monde selon Hubble (7 points)

Exercice 3 : La poudre de cacao (5 points)

La page d'annexe (page 11) EST À RENDRE AVEC LA COPIE, même si elle n'a pas été complétée.

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

Exercice n° 1 : Synthèse organique (8 points)

Le 2-méthylpropan-2-ol est un alcool tertiaire de formule brute $C_4H_{10}O$. Sous pression atmosphérique, à température supérieure à $24,3\text{ }^\circ\text{C}$, c'est un liquide incolore très soluble dans l'eau et infiniment soluble dans l'éthanol et l'éther.

Le 2-méthylpropan-2-ol est utilisé comme solvant pour les peintures, dans les carburants pour augmenter l'indice d'octane, ou comme intermédiaire dans la synthèse d'autres produits chimiques communs comme les parfums.

On synthétise le 2-méthylpropan-2-ol par hydrolyse (action de l'eau) du 2-chloro-2-méthylpropane de formule brute C_4H_9Cl dans un solvant eau/éthanol. La réaction étudiée est lente et totale :



Le groupe R représentant la chaîne carbonée et ses ramifications.

1. ASPECT MACROSCOPIQUE DE LA TRANSFORMATION CHIMIQUE

- 1.1. Écrire la formule développée du 2-méthylpropan-2-ol et préciser la classe de cet alcool.
- 1.2. À quelle catégorie de réaction chimique appartient cette transformation ?
- 1.3. Cette réaction correspond-elle à des modifications de groupes caractéristiques ou de chaîne ?

2. ASPECT MICROSCOPIQUE DE LA TRANSFORMATION CHIMIQUE

En annexe on a représenté le mécanisme réactionnelle en 3 étapes de cette synthèse. L'annexe sera à compléter à la question 2.3 et à rendre avec la copie.

Document 1 : Électronégativité de quelques éléments chimiques

Atome	C	N	O	Cl	Br	I
Électronégativité (Échelle de Pauling)	2,5	3,0	3,5	3,2	3,0	2,7

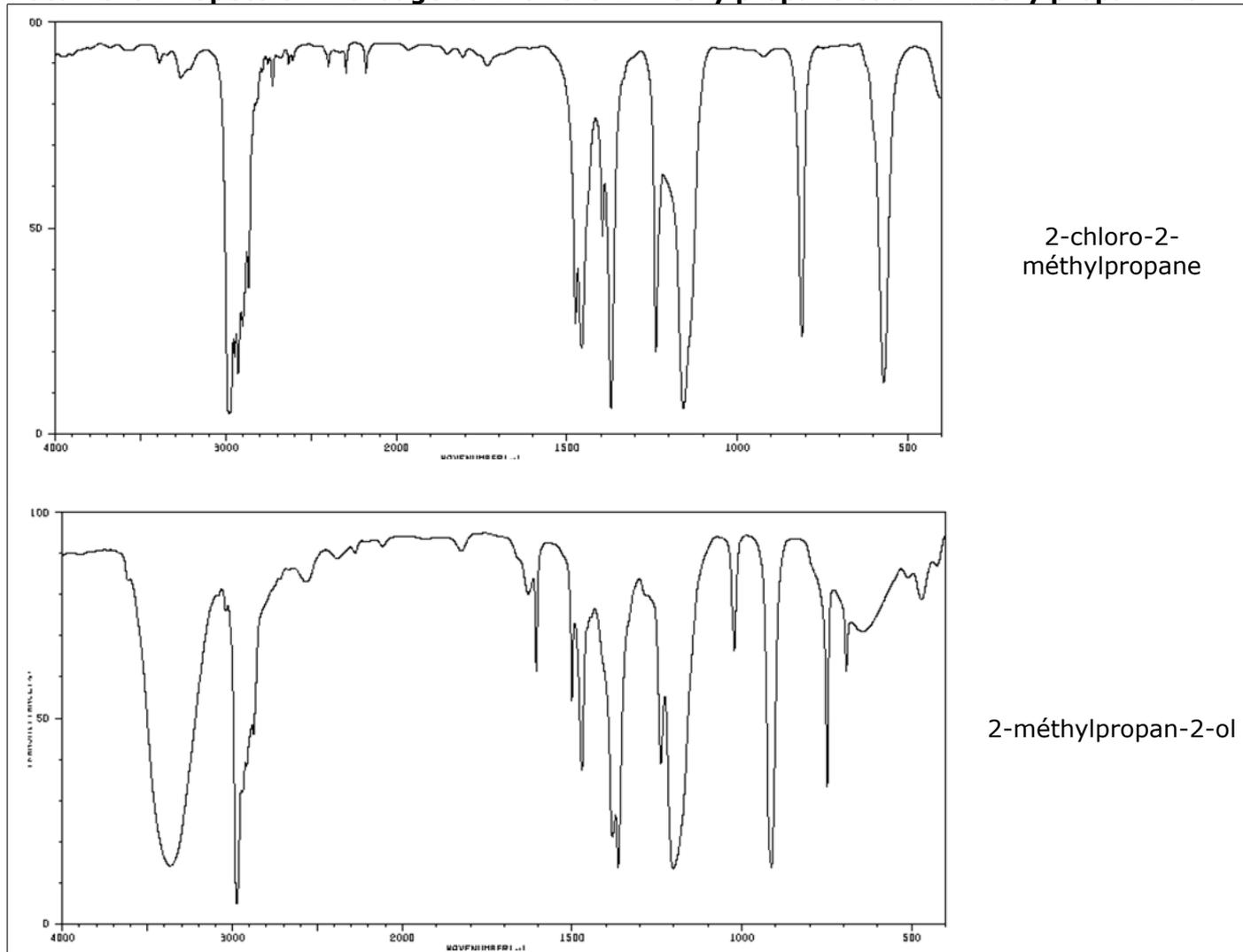
- 2.1. Dans la première étape du mécanisme, il y a rupture de la liaison C-Cl. Proposer une explication en utilisant le vocabulaire scientifique adapté.
- 2.2. Pour la deuxième et troisième étape, déterminer les sites accepteurs d'électrons et les sites donateurs d'électrons.
- 2.3. Sur l'annexe à rendre avec la copie représenter par une flèche courbe le mouvement des doublets d'électrons pour chaque étape.

3. SUIVI DE LA RÉACTION PAR SPECTROSCOPIE IR

3.1. Expliquer comment suivre l'évolution de la réaction à l'aide de tracés de spectre infrarouge.

Vous argumenterez votre réponse en vous appuyant sur les différences notables entre les deux spectres fournis dans le document 2 et en attribuant les bandes aux liaisons concernées à partir de l'extrait des tables IR (doc. 3).

Document 2 : Spectre infrarouge du 2-chloro-2-méthylpropane et du 2-méthylpropan-2-ol



2-chloro-2-méthylpropane

2-méthylpropan-2-ol

Document 3 : Extrait des tables infrarouge

Liaison	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Intensité (1)
C-H alcane	2810 - 3000	F
	1365 - 1385	F
C-H alcène	3000 - 3100	m
C - F C - Cl C - Br	1000 - 1200	F
	550 - 700	m ou F (fine)
	500 - 600	F

Liaison	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Intensité (1)
O-H (alcool libre)	3580 - 3670	F (fine)
O-H (alcool avec liaison H)	3200 - 3400	F (large)
O - H (acide carboxylique)	2500 - 3200	F (large)
C-O alcool primaire alcool secondaire alcool tertiaire	1040-1060	F
	~1100	F
	1150-1200	m

(1) **F** forte ; **m** moyenne ; **f** faible

4. SUIVI CINÉTIQUE DE LA TRANSFORMATION CHIMIQUE

Dans cette partie on s'intéresse à l'influence du solvant sur la durée de la réaction. En effet, plus cette durée est importante et plus le coût de la synthèse sera élevé. Le chimiste doit donc trouver les conditions optimales en termes de vitesse de réaction.

On réalise donc 2 expériences, décrites dans le document 4, en modifiant uniquement la nature du solvant. Dans les deux expériences on a mesuré l'avancement x au cours du temps. Les mesures ont été reporté dans le document 5.

Document 4 : Protocole expérimental et données chimiques

Expérience 1

On verse précisément 5,0 mL d'une solution de 2-chloro-2 méthylpropane de concentration massique $t = 93$ g/L dans un grand volume d'eau en excès ($V = 100$ mL).

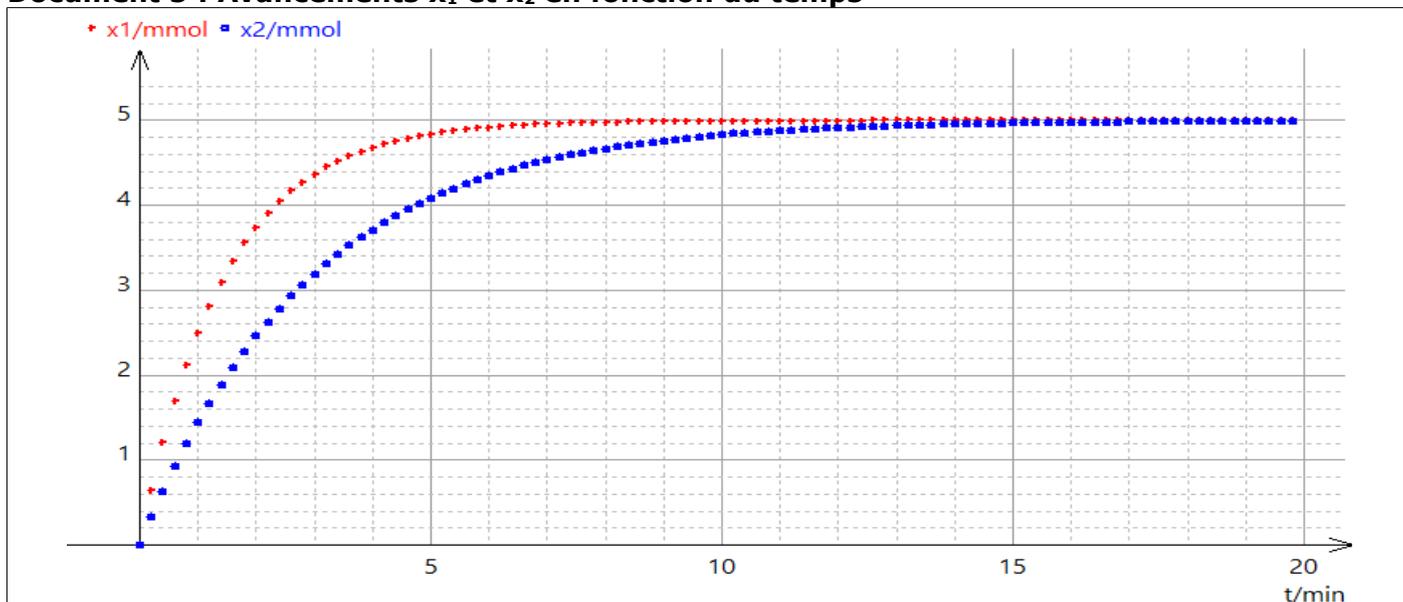
Expérience 2

On verse précisément 5,0 mL d'une solution de 2-chloro-2 méthylpropane de concentration massique $t = 93$ g/L dans un grand volume de solvant en excès ($V = 100$ mL) constitué de 70 % d'eau et 30 % d'éthanol.

Données : masse molaire atomique

Élément chimique	C	H	O	Cl
Masse molaire atomique en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$	12,0	1,0	16,0	35,5

Document 5 : Avancements x_1 et x_2 en fonction du temps



Expérience 1 : courbe $x_1 = f(t)$ représentée par des croix +

Expérience 2 : courbe $x_2 = f(t)$ représentée par des points •

- 4.1.** La transformation étant totale, déterminer la valeur de l'avancement final x_{\max} attendu. La quantité de matière initiale de 2-chloro-2-méthylpropane introduite dans le bécher sera notée n_0 .
- 4.2.** À partir de l'exploitation des courbes du document 5, déterminer le temps de demi-réaction de chacune des expériences.
- 4.3.** La cinétique d'une transformation est toujours imposée par l'étape la plus lente, on dit que c'est l'étape cinétiquement déterminante. A partir de cette information, du document 6 et des résultats précédents donner une réponse rigoureuse et argumentée à la question : le solvant a-t-il une influence sur l'évolution de la transformation ?

Document 6 : polarité du solvant

L'éthanol est miscible à l'eau en toutes proportions. Il permet de dissoudre facilement le 2-chloro-2-méthylpropane mais aussi de faire varier la polarité du milieu.

Un solvant est caractérisé par sa constante diélectrique ϵ_r . Celle-ci est d'autant plus grande que ce solvant est polaire.

Solvant	Éthanol	Méthanol	Eau
Constante diélectrique ϵ_r à 25°C	24,3	32,6	78,5

Lorsqu'un processus fait intervenir des molécules chargées, la réaction est favorisée ou défavorisée selon que le solvant est polaire ou pas. Un solvant polaire favorisera la formation et la séparation des charges, tandis qu'un solvant apolaire favorisera la disparition des charges.



Un solvant stabilise d'autant mieux les ions qu'il est polaire, cette stabilisation est d'autant plus forte que l'ion est petit et chargé.

Exercice n° 2 : Le monde selon Hubble (7 points)

Cet exercice comporte deux parties A et B indépendantes.

Document 1 : Le télescope spatial Hubble

Le télescope spatial Hubble (HST pour Hubble Space Telescope) a été nommé en l'honneur d'Edwin Powell Hubble (1889-1953), l'un des grands pionniers de l'astronomie moderne.

Lancé dans l'espace le 24 Avril 1990 depuis Cap Canaveral et mis sur orbite par la navette spatiale Discovery, le HST a été placé sur une orbite circulaire de type LEO (Low Earth Orbit). Hubble accomplit ainsi le tour de la Terre en 97 minutes à 590 km au-dessus de notre planète. Cette position dans l'espace permet au télescope d'effectuer des observations avec une très haute résolution, en infrarouge ou ultraviolet, sans les contraintes dues à l'atmosphère terrestre.



hubblesite.org



Edwin Powell Hubble - Encyclopaedia Britannica

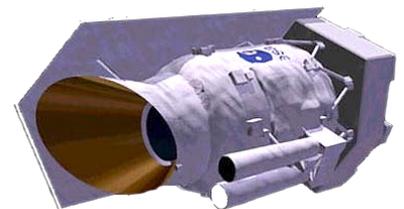
Le HST a révolutionné l'astronomie moderne ; il est non seulement un outil extraordinaire pour explorer notre univers, mais il est également leader dans la recherche astronomique de précurseurs organiques (acides aminés dans des météorites, comètes, etc.).

L'œil rivé au plus profond de l'espace, le HST a collecté pour les scientifiques une immense quantité de données numériques, apportant par exemple la preuve de l'existence des trous noirs, ou validant la théorie de l'expansion de l'Univers émise en 1929 par Edwin Hubble.

D'après futura-sciences.com

Document 2 : Le télescope ISO

En 1995 l'Agence spatiale européenne met en orbite son 1^{er} télescope spatial ISO (acronyme de l'anglais Infrared Space Observatory) observant dans l'infrarouge moyen et lointain (entre 50 μm et 1 mm). En effet l'observation des infrarouges lointain permet d'étudier les objets les plus éloignés (les plus anciens) ainsi que les objets les moins chauds. Cette partie du spectre lumineux est difficile voire impossible à observer depuis le sol.

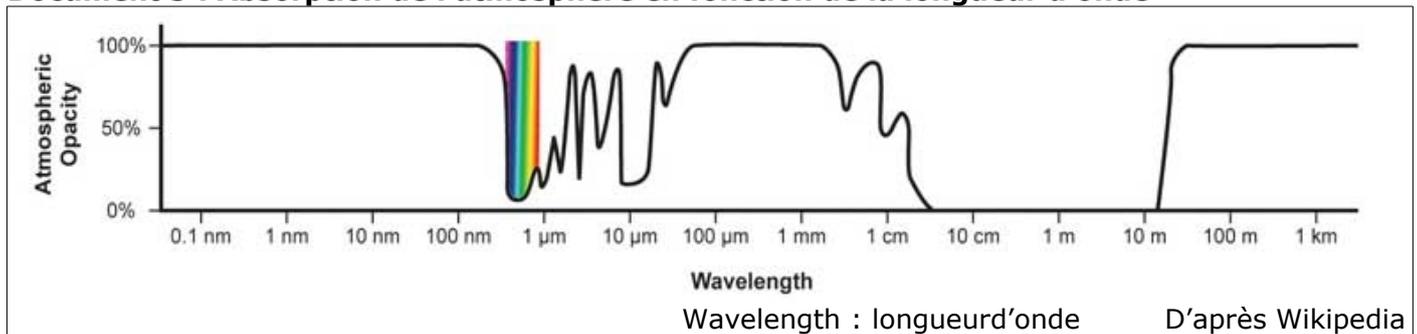


L'orbite d'ISO est terrestre mais fortement elliptique avec un périégée à 7400 km du centre de la Terre et un apogée à 77000 km, soit un demi-grand axe de 42200 km.

Jusqu'à son arrêt en 1998 ISO a permis d'observer en particulier deux catégories d'objet : les galaxies infrarouges distantes et les nuages moléculaires.

D'après Wikipédia

Document 3 : Absorption de l'atmosphère en fonction de la longueur d'onde



Données utilisées dans l'exercice : rayon de la Terre $R_T = 6400$ km

PARTIE A : Étude des satellites Hubble et ISO

1. Intérêt des télescopes spatiaux

- 1.1. Indiquer les limites en longueur d'onde de la partie visible du spectre électromagnétique.
- 1.2. Justifier précisément l'expression «...en infrarouge ou ultraviolet, sans les contraintes dues à l'atmosphère terrestre. ».
- 1.3. Citer une source de rayonnement ultraviolet extraterrestre détectable par le HST.

2. Mouvement du satellite Hubble

On a représenté dans l'ANNEXE 2 à rendre avec la copie la trajectoire circulaire du satellite autour de la Terre. On suppose que les durées de parcours du satellite entre les points H_1 et H'_1 puis H_2 et H'_2 sont égales.

- 2.1. Énoncer la deuxième loi de Kepler et compléter la figure de l'ANNEXE 2 pour illustrer cette loi.
- 2.2. En déduire que le mouvement circulaire du satellite est uniforme.

3. Mouvement du satellite ISO

- 3.1. Énoncer la 1^{re} loi de Kepler appliquée au satellite ISO.
- 3.2. Énoncer la 3^e loi de Kepler appliquée aux satellites ISO et HST, et l'exploiter pour déterminer la période de révolution d'ISO autour de la Terre.

PARTIE B : Observer avec le télescope Hubble

4. L'âge des étoiles

Alors que l'enregistrement de la lumière infrarouge permet d'observer des objets célestes qui se sont créés très tôt dans l'histoire de l'Univers, environ 600 millions d'années après le Big Bang, celui des signaux ultraviolets permet d'ajouter aux données de cette image la lumière de corps célestes présents dans ces galaxies qui existaient sur une période allant de 5 à 10 milliard d'années (soit le temps mis par les rayonnements ultraviolets émanant de ces étoiles pour parvenir jusqu'à l'objectif de Hubble). Les rayonnements ultraviolets émanent principalement des étoiles les plus larges, chaudes et jeunes qui se forment dans les galaxies après la création de ces dernières.

Document 4 : Le décalage spectral

En raison de l'expansion de l'Univers, les galaxies semblent s'éloigner de la Terre. Cette vitesse apparente des galaxies est d'autant plus grande que celles-ci se trouvent éloignées de la Terre. Une des conséquences est que le rayonnement électromagnétique provenant d'un objet astronomique n'a pas le même spectre lorsque celui-ci est observé dans le référentiel de la Terre ou dans celui de la source : le spectre observé depuis la Terre (ou par le télescope Hubble) est décalé vers des plus grandes longueurs d'onde.

On peut caractériser ce décalage par une grandeur notée z (le redshift) proportionnelle à la vitesse d'éloignement et définie par la relation :

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \quad \begin{array}{l} \lambda : \text{longueur d'onde du rayonnement capté par le récepteur} \\ \lambda_0 : \text{longueur d'onde du rayonnement émis par la source} \end{array}$$

Document 5 : Loi de Wien

La température absolue T d'une source de rayonnement électromagnétique est inversement proportionnelle à la longueur d'onde λ_{\max} pour laquelle son rayonnement émis est le plus intense :

$$\lambda_{\max} = \frac{2,90 \times 10^{-3}}{T} \quad \lambda_{\max} \text{ et } T \text{ exprimés en unités du Système International (SI).}$$

- 4.1. Comment est modifiée la lumière perçue sur Terre par rapport à la lumière émise par l'étoile, en fonction de leur mouvement relatif ?
- 4.2. Quel phénomène est associé à cette modification ? Donner un exemple de ce type de phénomène observable sur Terre.
- 4.3. La plus vieille galaxie repérée à ce jour grâce au télescope Hubble se situe à environ 10 milliards d'années-lumière de la Terre. Son décalage spectral (redshift) est de 7,6. On considère une jeune étoile située dans cette galaxie et dont la température de surface est de 42400 K.
 - 4.3.1. L'intensité maximale du spectre électromagnétique de cette étoile sera-t-elle observée par le télescope Hubble dans le domaine de l'ultraviolet, de l'infrarouge ou du visible ? *Une démarche permettant la détermination de la longueur d'onde du rayonnement capté par le récepteur est attendue.*
 - 4.3.2. En déduire s'il est possible d'observer des étoiles jeunes dans des galaxies plus anciennes que 10 milliards d'années en utilisant le rayonnement ultraviolet.

Exercice n° 3 : La poudre de cacao (5 points)

Le but de l'exercice est d'étudier une application pratique de la diffraction : la détermination de la taille moyenne de poudre de cacao par granulométrie.

Les deux parties de l'exercice sont indépendantes.

Document 1 : **Granulométrie laser de la poudre de cacao**



L'appareil ci-contre permet de mesurer la taille de particules allant de 40 nm à 2500 μm tout en occupant un encombrement extrêmement réduit.

Le fabricant de l'appareil indique que deux diodes laser de longueurs d'onde 635 nm et 830 nm sont utilisées dans cet instrument de mesure.

Document 2 : **Différents types de chocolat**

Le succès du chocolat, auprès des consommateurs, est lié à des caractéristiques gustatives bien identifiées mais aussi à la granulométrie de chacun des constituants.

Cette dernière propriété représente un enjeu important du procédé de fabrication puisque des particules trop finement broyées rendront le chocolat collant alors que de trop grosses particules lui donneront un aspect granuleux à l'œil et en bouche.

La mesure de la taille des particules, par diffraction laser, est une technique simple et rapide, adaptée à la détermination de la distribution granulométrique de tous les types de chocolat comme les chocolats de couverture utilisés pour le nappage, les chocolats au lait ou les chocolats agglomérés utilisés pour les recettes instantanées.

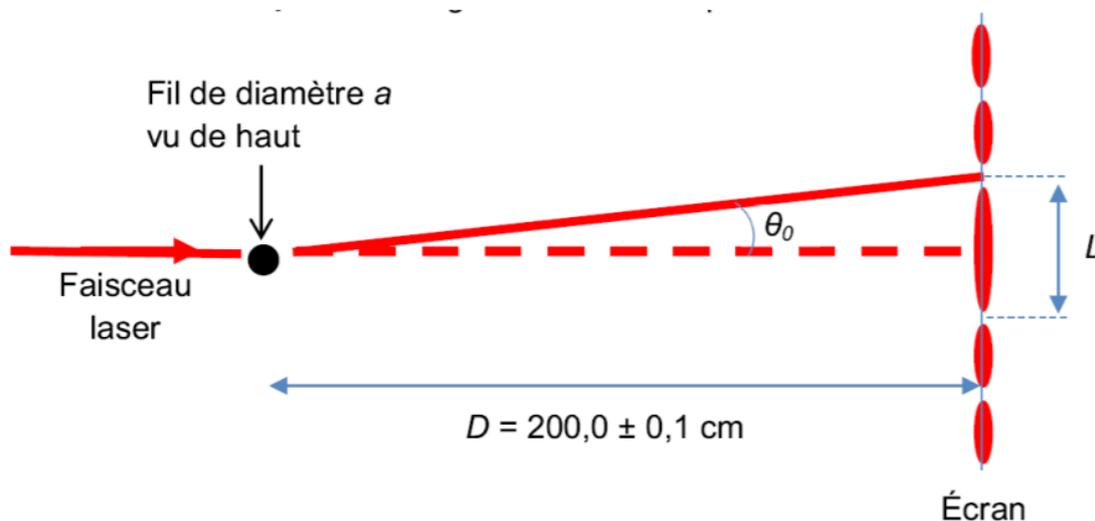
Type de chocolat	De couverture	Au lait	Aggloméré
a(*) en μm	10	30	300

(*) a représente le diamètre moyen recommandé de la poudre de cacao pour un type de chocolat.

D'après <http://www.es-France.com/pdf/010-Cacao.pdf>

1. **Partie A : vérification de la longueur d'onde d'une des diodes laser utilisées**

L'objectif de cette partie est de vérifier la valeur de la longueur d'onde λ d'une des diodes laser utilisées dans l'appareil de granulométrie. Sur le trajet du faisceau laser, on intercale des fils de différents diamètres. Sur un écran placé à une distance D , on observe une figure de diffraction. L représente la largeur de la tache centrale et θ_0 le demi-angle au sommet exprimé en radian.

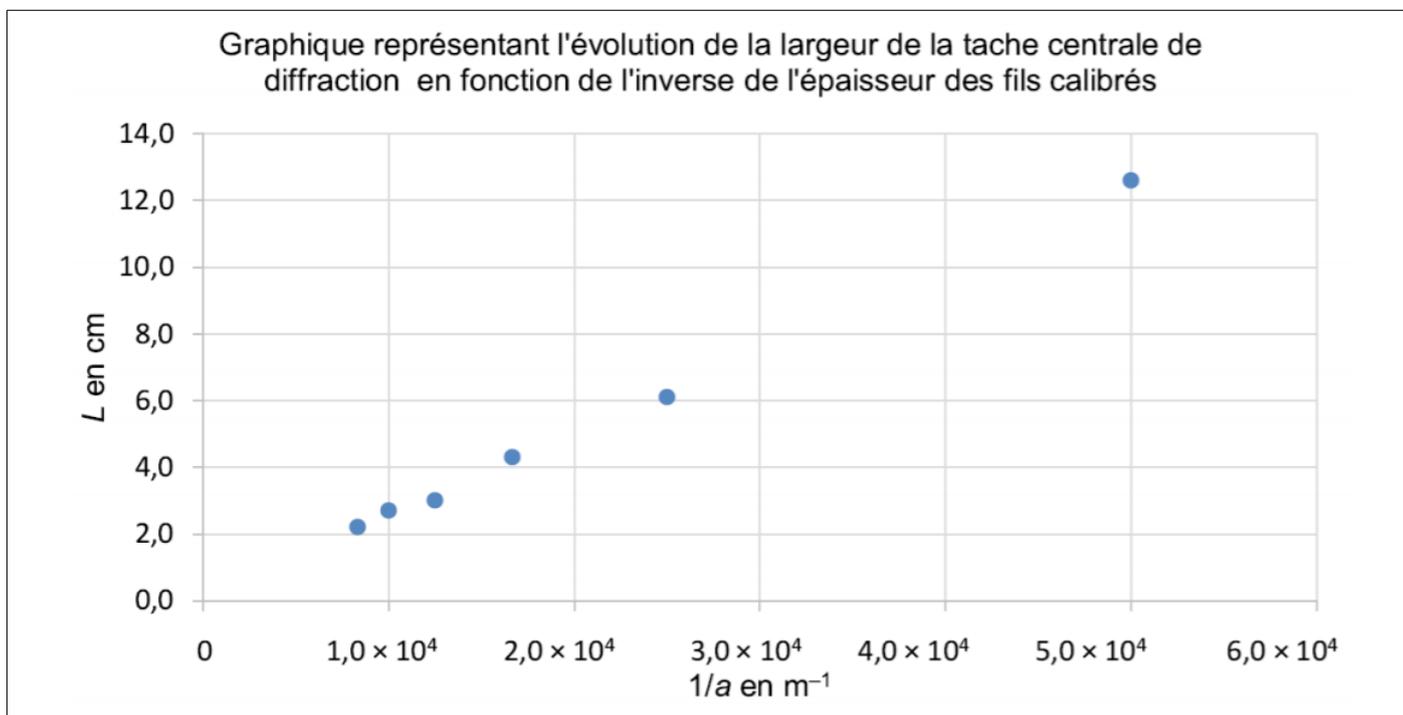


- 1.1.** Pour une longueur d'onde donnée, décrire l'évolution du demi-angle θ_0 en fonction du diamètre a du fil. Donner la relation qui lie λ , θ_0 et a .
- 1.2.** On fait l'hypothèse que l'angle θ_0 est petit. Dans ce cas, on peut écrire $\tan \theta_0 \approx \theta_0$ avec θ_0 en radian. À l'aide du schéma, démontrer que la largeur de la tache centrale est donnée par l'expression :

$$L = k \cdot \frac{1}{a} \quad \text{avec } k = 2 \cdot \lambda \cdot D$$

- 1.3.** Expérimentalement, on mesure la largeur de la tache centrale L pour des fils calibrés de différentes valeurs de diamètre a . on porte les valeurs obtenues sur le graphique ci-dessous.

À partir du graphique, déterminer la longueur d'onde λ de la diode laser utilisée.



- 1.4.** L'incertitude absolue sur la longueur d'onde λ , notée $U(\lambda)$, peut être déterminée à partir de la relation suivante :

$$\left(\frac{U(\lambda)}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{U(D)}{D} \right)^2 + \left(\frac{U(k)}{k} \right)^2$$

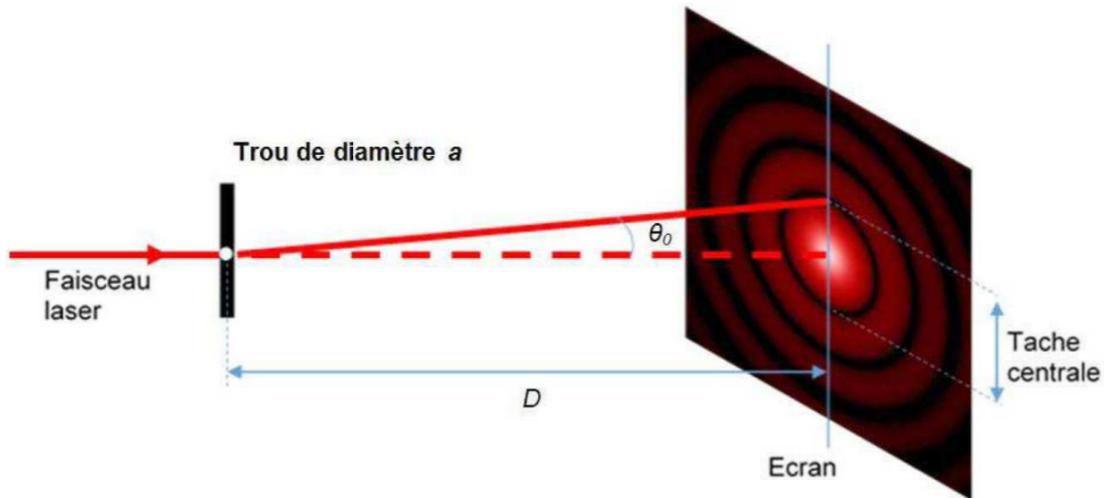
L'incertitude absolue sur la valeur du coefficient directeur est $U(k) = 1,2 \times 10^{-7} \text{ m}^2$.

Exprimer la valeur de la longueur d'onde λ avec son incertitude. Confronter aux valeurs données par le fabricant de l'appareil ; conclure.

2. Partie 2 : Étude de la diffraction par la poudre de cacao

Dans cette partie, on considère que l'on peut déterminer le diamètre moyen des grains de cacao d'une poudre donnée en utilisant une figure de diffraction réalisée avec la diode laser de longueur d'onde $\lambda = 635 \text{ nm}$.

Donnée : Expérience de diffraction par un trou circulaire



La figure de diffraction obtenue par un trou circulaire est constituée de cercles concentriques alternativement brillants et sombres avec :

$$\sin \theta_0 = \frac{1,22 \cdot \lambda}{a}$$

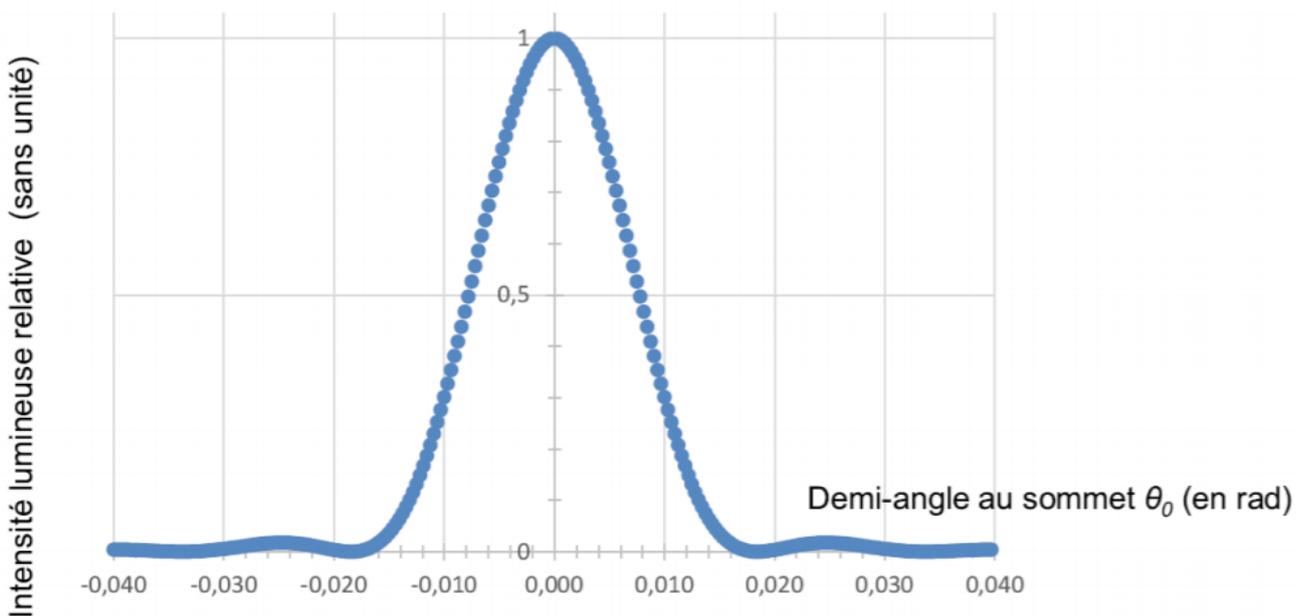
λ : longueur d'onde du faisceau laser, exprimée en mètre

a : diamètre du trou, exprimée en mètre

θ_0 : demi-angle au sommet, exprimée en radian

- 2.1. En utilisant un montage proche de celui donné ci-dessus, on réalise l'expérience sur un échantillon de poudre de cacao. Sachant que les grains de cacao sont assimilés à des sphères, justifier le fait qu'on observe une figure de diffraction identique à celle obtenue avec un trou circulaire.
- 2.2. Après traitement informatique des résultats expérimentaux lors du contrôle d'un échantillon de poudre de cacao, on obtient le graphe ci-dessous donnant l'intensité lumineuse relative sur l'écran en fonction du demi-angle θ_0 . Peut-on utiliser cet échantillon pour un chocolat de couverture ?

Intensité lumineuse relative en fonction du demi-angle au sommet

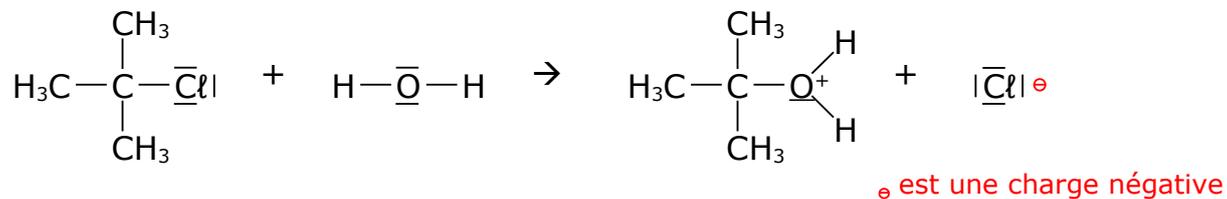


ANNEXES A RENDRE AVEC LA COPIE

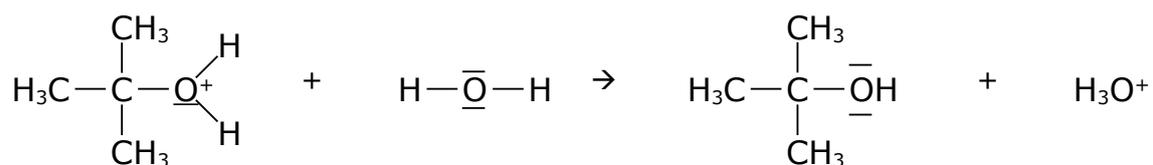
NOM : PRENOM :

ANNEXE 1 : Synthèse organique - mécanisme réactionnel

Première étape : réaction lente au cours de laquelle on a rupture de la liaison C-Cl



Deuxième étape : très rapide au cours de laquelle le produit de réaction se forme.



ANNEXE 2 : Le monde selon Hubble

