Calculatrice autorisée

Traiter l'exercice 1, puis deux exercices au choix parmi A, B et C, en indiquant sur la copie les deux exercices choisis. Seuls ces deux exercices sont notés.

Exercice 1 (commun) : quatre acides

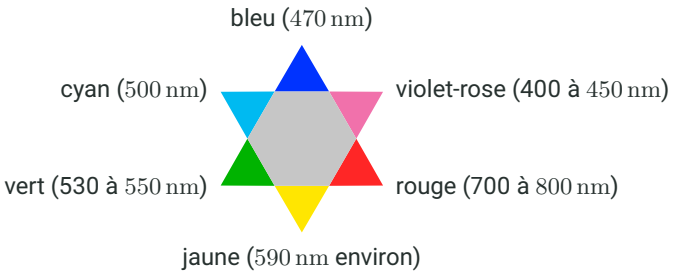
10 points

Cet exercice étudie quatre acides, dans trois parties indépendantes.

Partie 1 : l'acide iodhydrique

Données

- Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}314\,\mathrm{Pa{\cdot}m^3{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1}}$.
- Température absolue : $T(\mathrm{K}) = \theta(^\circ\mathrm{C}) + 273$.
- Cercle chromatique ci-contre : deux couleurs diamétralement opposées sont complémentaires.



A. Préparer une solution d'acide iodhydrique

L'acide iodhydrique s'obtient en dissolvant dans l'eau de l'iodure d'hydrogène gazeux HI(g). Une fois dissous, HI(aq) réagit de façon totale et instantanée avec l'eau. On souhaite préparer $500\,\mathrm{mL}$ d'une solution de concentration en acide apporté $C = 1{,}0 \times 10^{-2}\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$. L'iodure d'hydrogène gazeux est assimilé à un gaz parfait, à la pression de $1\,013\,\mathrm{hPa}$ et à la température de $25\,^\circ\mathrm{C}$; on admet qu'il se dissout en totalité.

1) Écrire l'équation de la réaction entre HI(aq) et l'eau.

2) Calculer la quantité de matière de HI nécessaire à cette préparation.

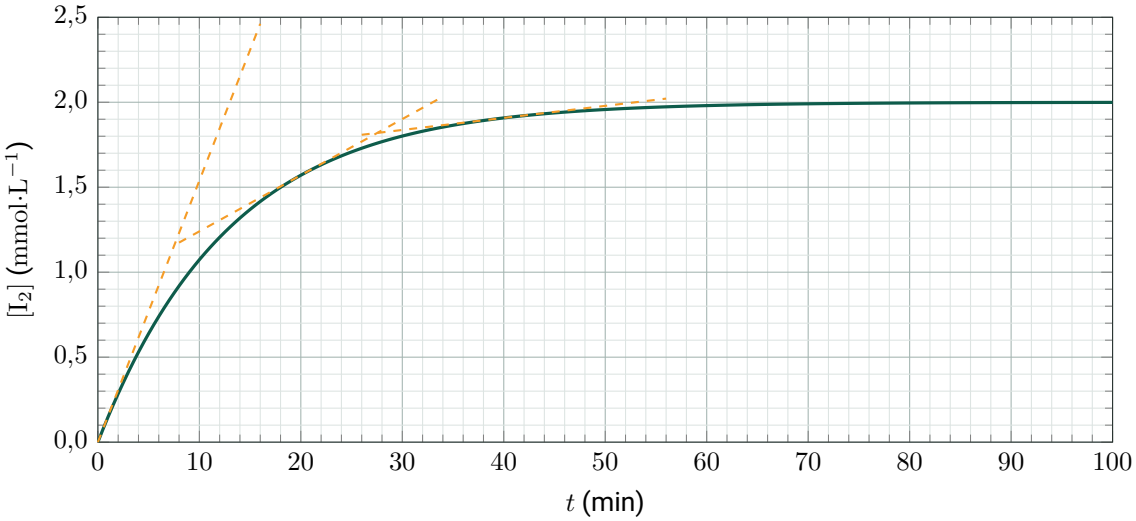
3) En déduire le volume d'iodure d'hydrogène gazeux à dissoudre.

B. Suivre l'oxydation des ions iodure par spectrophotométrie

Dans $196\,\text{mL}$ d'une solution d'acide iodhydrique de concentration inconnue, on verse $4{,}0\,\text{mL}$ d'une solution de peroxyde d'hydrogène H_2O_2 de concentration $0{,}10\,\text{mol·L}^{-1}$. Le mélange prend peu à peu une teinte jaune de plus en plus soutenue : elle est due au diiode I_2 qui se forme selon la réaction (1), lente :

$$H_2O_2(aq) + 2\,H_3O^+(aq) + 2\,I^-(aq) \longrightarrow 4\,H_2O\,(l) + I_2(aq) \qquad \text{réaction (1)}$$

Un spectrophotomètre permet de suivre la concentration du diiode au cours du temps (document 1). Les tangentes à la courbe aux dates $0\,\text{min}$, $20\,\text{min}$ et $40\,\text{min}$ sont déjà tracées en pointillés.



Document 1 – Concentration du diiode formé en fonction du temps

4) Parmi les longueurs d'onde suivantes, choisir, en justifiant, celle à laquelle régler le spectrophotomètre : $420\,\text{nm}$; $470\,\text{nm}$; $500\,\text{nm}$; $540\,\text{nm}$; $590\,\text{nm}$; $650\,\text{nm}$; $750\,\text{nm}$.

5) a. Donner la définition de la vitesse volumique d'apparition du diiode.
b. Déterminer sa valeur à l'instant initial, en $\text{mol·L}^{-1}\text{·s}^{-1}$.
c. Sans calcul, en s'appuyant sur les tangentes tracées, dire comment cette vitesse évolue au cours du temps.
d. Interpréter cette évolution à l'aide d'un facteur cinétique.

6) a. Définir le temps de demi-réaction $t_{1/2}$.
b. Déterminer sa valeur à l'aide du document 1.

7) Montrer que la concentration finale en diiode confirme que le peroxyde d'hydrogène est le réactif limitant.

Partie 2 : deux acides carboxyliques à identifier

Un flacon contient $V = 250\,\text{mL}$ d'une solution d'un acide carboxylique noté AH, de concentration en acide apporté $C = 1{,}0 \times 10^{-2}\,\text{mol·L}^{-1}$. Une mesure de pH conduit à $[H_3O^+] = 1{,}3 \times 10^{-3}\,\text{mol·L}^{-1}$. La réaction de l'acide avec l'eau a pour équation : $AH\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons A^-(aq) + H_3O^+(aq)$.

Données

- $pK_A(HCO_2H/HCO_2^-) = 3{,}75$;
- $pK_A(CH_3CO_2H/CH_3CO_2^-) = 4{,}75$;

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

- $\mathrm{p}K_\mathrm{A}(\mathrm{C_2H_5CO_2H/C_2H_5CO_2^-}) = 4{,}87$.

1) Calculer le pH de cette solution.

2) Dresser le tableau d'avancement de la réaction de l'acide avec l'eau.

3) Écrire l'expression de la constante d'acidité K_A du couple AH/A$^-$, puis montrer qu'elle s'écrit ici, avec $c^\circ = 1\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$:

$$K_\mathrm{A} = \frac{[\mathrm{H_3O^+}]^2}{(C - [\mathrm{H_3O^+}])\,c^\circ}.$$

4) En déduire la formule de l'acide contenu dans le flacon.

5) Cette méthode atteint vite ses limites quand les $\mathrm{p}K_\mathrm{A}$ sont proches. On mesure alors aussi la conductivité σ de la solution. Pour une solution d'acide carboxylique, la loi de Kohlrausch s'écrit :

$$\sigma = \lambda(\mathrm{H_3O^+})\,[\mathrm{H_3O^+}] + \lambda(\mathrm{A^-})\,[\mathrm{A^-}]$$

avec σ en $\mathrm{mS{\cdot}m^{-1}}$, les conductivités molaires ioniques λ en $\mathrm{mS{\cdot}m^2{\cdot}mol^{-1}}$ et les concentrations en $\mathrm{mol{\cdot}m^{-3}}$.

a. Montrer que $\lambda(\mathrm{A^-}) = \dfrac{\sigma}{[\mathrm{H_3O^+}]} - \lambda(\mathrm{H_3O^+})$.

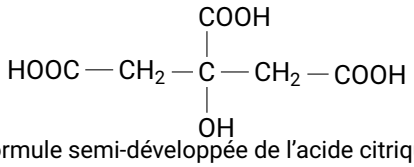
b. Pour la solution d'un *second* acide carboxylique, on mesure $[\mathrm{H_3O^+}] = 4{,}0 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$, soit $0{,}40\,\mathrm{mol{\cdot}m^{-3}}$, et $\sigma = 15{,}6\,\mathrm{mS{\cdot}m^{-1}}$. Identifier cet acide à l'aide du tableau ci-dessous.

Ion	H_3O^+	HCO_2^-	$CH_3CO_2^-$	$C_2H_5CO_2^-$
λ ($\mathrm{mS{\cdot}m^2{\cdot}mol^{-1}}$)	35,0	5,5	4,1	3,6

Partie 3 : l'acide citrique

A. L'acide citrique d'un citron vert

L'acide citrique est l'acide majoritaire des agrumes : il assure l'essentiel de l'acidité d'un citron vert. On assimile une boisson au citron vert à une solution aqueuse d'acide citrique, de concentration en acide apporté $C = 4{,}0 \times 10^{-2}\,\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$; son pH vaut 2,3.

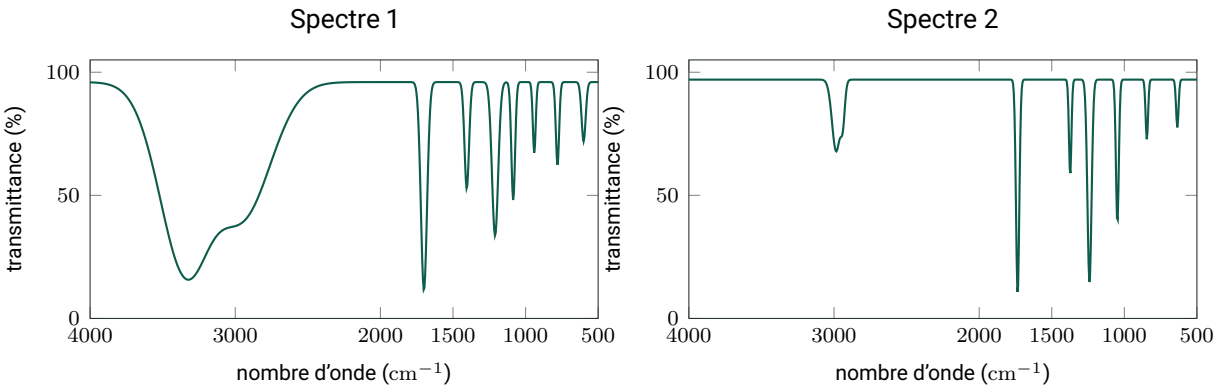


Formule semi-développée de l'acide citrique

1) Recopier la formule semi-développée de l'acide citrique, entourer ses groupes caractéristiques et nommer la famille associée à chacun.

2) Donner la formule brute de l'acide citrique.

3) L'un des deux spectres infrarouges du document 2 est celui de l'acide citrique. Lequel ? Justifier avec soin à l'aide du document 3.



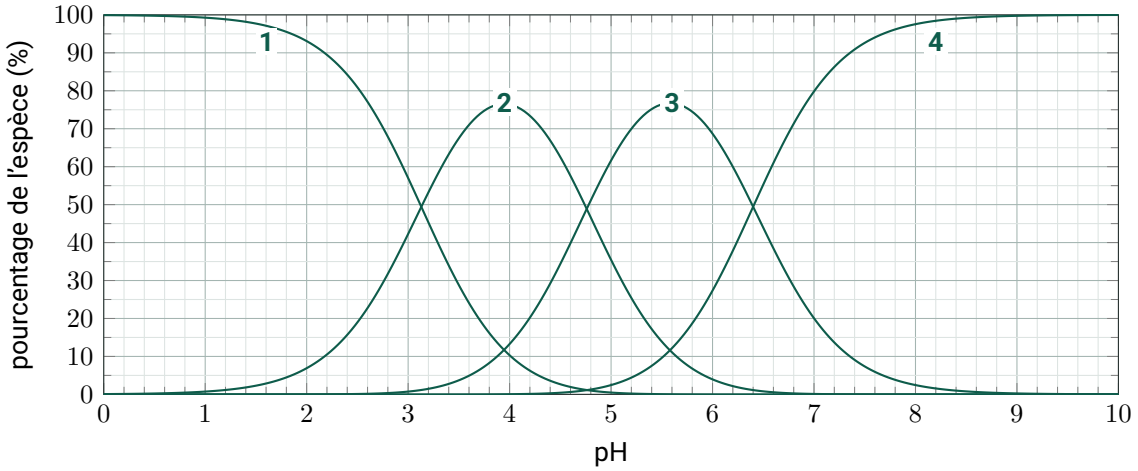
Document 2 – Deux spectres infrarouges

Liaison	O–H (alcool)	O–H (acide carboxylique)	C=O (acide carboxylique)	C=O (ester)
Nombre d'onde (cm^{-1})	3 200 – 3 400	2 500 – 3 200	1 680 – 1 710	1 700 – 1 740
Allure	forte, large	forte, très large	forte, fine	forte, fine

Liaison	C=O (cétone)	C–H (alcane)	C=C (alcène)	N–H (amine)
Nombre d'onde (cm^{-1})	1 705 – 1 725	2 850 – 3 000	1 625 – 1 685	3 100 – 3 500
Allure	forte, fine	moyenne	moyenne	moyenne

Document 3 – Bandes d'absorption de quelques liaisons

L'acide citrique peut céder successivement trois ions hydrogène : c'est un triacide, noté AH_3 dans la suite. Le document 4 donne le diagramme de distribution des quatre espèces des couples acide-base associés.



Document 4 – Diagramme de distribution des espèces de l'acide citrique

4) Attribuer, en expliquant la démarche, une formule (AH_3, AH_2^-, AH^{2-} ou A^{3-}) à chacune des courbes 1 à 4.

5) Déterminer, en justifiant, le $\mathrm{p}K_\mathrm{A}$ du couple formé par les espèces 1 et 2.

6) Qu'appelle-t-on une espèce amphotère ? Lesquelles des quatre espèces du document 4 le sont ?

7) Quelles espèces peut-on négliger dans la boisson au citron vert ? Justifier.

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

8) La conservation de la matière s'écrit $C = [1]+[2]+[3]+[4]$, où $[i]$ est la concentration de l'espèce i. Déterminer les concentrations des espèces de l'acide citrique réellement présentes dans la boisson.

B. Une pile au citron

On fabrique une pile en plantant dans un citron une plaque de cuivre et un clou galvanisé, c'est-à-dire entièrement recouvert de zinc. Le multimètre, utilisé en voltmètre, a sa borne COM reliée à la plaque de cuivre et sa borne V reliée au clou ; il affiche $-0{,}91\,\text{V}$.

Matériel disponible : plaques de cuivre, clous galvanisés, fils de connexion, plusieurs citrons, un multimètre.

Données

- $M(\text{Zn}) = 65{,}4\,\text{g·mol}^{-1}$; constante de Faraday : $F = 9{,}65 \times 10^4\,\text{C·mol}^{-1}$.
- Couples mis en jeu : $Zn^{2+}(aq)/Zn(s)$; $H^+(aq)/H_2(g)$.

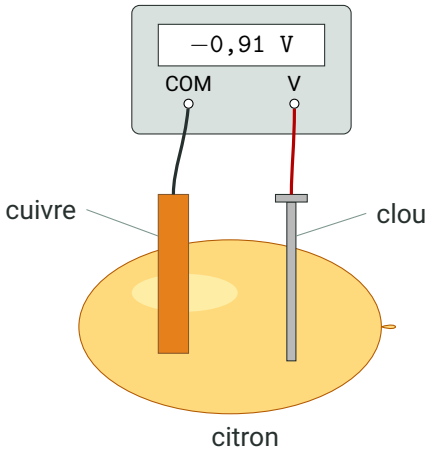


Figure 1 – Pile au citron (schéma sans échelle)

9) Quelle électrode constitue la borne positive de la pile ? Justifier à partir de l'affichage du multimètre.

10) Pendant le fonctionnement de la pile, de fines bulles de dihydrogène se forment sur la plaque de cuivre.

a. Écrire la demi-équation électronique de la transformation qui a lieu sur chaque électrode et préciser s'il s'agit d'une oxydation ou d'une réduction.

b. Écrire l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile.

c. Quelle est l'origine des ions $H^+(aq)$ consommés ?

d. On dispose aussi d'eau sucrée, de vinaigre blanc, d'eau savonneuse et de jus de pamplemousse. Lesquels pourraient remplacer le citron ? Justifier.

e. Proposer, avec le matériel de la liste, un montage dont la tension à vide est doublée (description brève).

11) La pile alimente un minuteur électronique pendant $\Delta t = 3{,}0\,\text{h}$; elle débite un courant d'intensité constante $I = 0{,}20\,\text{mA}$.

a. Calculer la charge électrique Q débitée pendant cette durée.

b. En déduire, en justifiant, la quantité de matière n de zinc consommée.

c. De combien la masse du clou a-t-elle changé ? Calculer Δm.

Exercices au choix : en traiter deux parmi A, B et C

Exercice A : une cascade sans parachute

5 points

Mots clés : deuxième loi de Newton ; champ de pesanteur uniforme ; travail d'une force.

Pour une scène de film, un cascadeur saute d'un hélicoptère en vol stationnaire à l'altitude de $3\,200\,\text{m}$, sans parachute ni combinaison ailée. Il est récupéré par un grand filet tendu entre deux grues, à $60\,\text{m}$ au-dessus du sol. Pendant la chute, sa vitesse cesse vite d'augmenter et se stabilise aux environs de $190\,\text{km·h}^{-1}$.

Données

- Intensité de la pesanteur, supposée la même du sol à l'altitude du saut : $g = 9{,}8\,\text{m·s}^{-2}$.
- Masse du cascadeur et de son équipement : $m = 75\,\text{kg}$.

On étudie le mouvement du centre de masse G du cascadeur dans le référentiel terrestre, supposé galiléen, sur un axe vertical (Oz) **dirigé vers le bas**, de vecteur unitaire $\vec{k}$. L'origine O est la position de G au moment du saut ($t = 0\,\text{s}$), où sa vitesse est nulle.

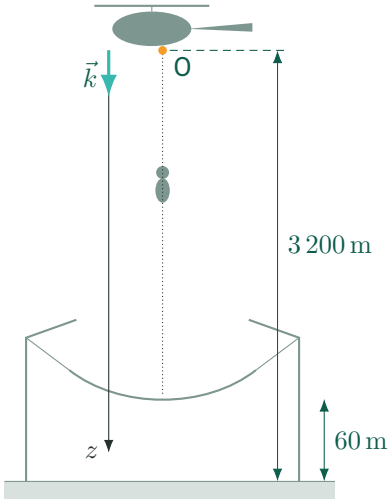


schéma sans échelle

1. Premier modèle : la chute libre

1) Si l'on néglige toute action de l'air (chute libre), quelle est l'unique force qui agit sur le système ?

2) a. En nommant la loi utilisée et en détaillant le raisonnement, établir l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ de G.

b. En déduire que la position de G s'écrit $z(t) = \dfrac{1}{2}\,g\,t^2$.

3) Avec ce modèle, combien de temps le cascadeur tombe-t-il avant d'atteindre le filet ? Quelle vitesse a-t-il alors ?

4) Ce modèle décrit-il correctement la cascade ? Argumenter.

2. La vitesse limite

L'air exerce en réalité sur le cascadeur une force de frottement $\vec{f}$, opposée au mouvement, de valeur $f = \dfrac{1}{2}\,C_x\,\rho\,S\,v^2$, avec $C_x = 0{,}60$ (coefficient de traînée), $\rho = 1{,}2\,\text{kg·m}^{-3}$ (masse volumique de l'air) et $S = 0{,}75\,\text{m}^2$ (surface frontale). Au bout de quelques secondes, la vitesse devient constante : c'est la vitesse limite v_{lim}.

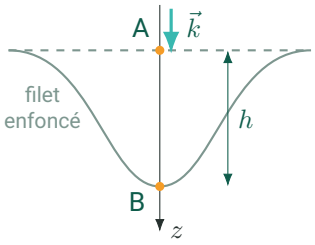
5) Une fois la vitesse limite atteinte, quelle relation vectorielle lie $\vec{f}$ et le poids ? Justifier, puis représenter ces deux forces au point G, sans souci d'échelle.

6) Par projection sur l'axe (Oz), établir l'expression $v_{\text{lim}} = \sqrt{\dfrac{2\,m\,g}{\rho\,S\,C_x}}$.

7) Calculer v_{lim}, supposée atteinte avant le filet, et la comparer à la valeur annoncée dans le texte.

3. La réception dans le filet

Le cascadeur touche le filet au point A, à la vitesse v_{lim}, et s'arrête au point B. On note $h = \text{AB}$ l'enfoncement du filet. Pendant le freinage, les forces subies par le cascadeur sont équivalentes à une force unique $\vec{F}$, verticale, vers le haut et de valeur constante; on admet que son travail sur le trajet AB vaut $W_{\text{AB}}(\vec{F}) = -\,m\,a\,h$, a désignant la norme, supposée constante, de l'accélération du cascadeur. On estime qu'une personne entraînée supporte sans dommage une accélération de valeur $10\,g$.



8) Donner l'expression de l'énergie cinétique du cascadeur en A, puis sa valeur.

9) On admet que, de A à B, l'énergie cinétique varie d'une quantité égale à $W_{\text{AB}}(\vec{F})$. Établir une relation liant h, a et v_{lim}.

10) En déduire l'enfoncement minimal du filet pour que la réception soit sans danger.

Exercice B : voir une exoplanète

5 points

Mots clés : diffraction; interférences.

Photographier une planète qui tourne autour d'une autre étoile que le Soleil (une exoplanète) est difficile pour deux raisons : elle est très proche de son étoile vue depuis la Terre, et elle est des milliers de fois moins lumineuse qu'elle. On s'intéresse à une exoplanète géante, jeune et encore chaude, notée b, qui tourne à une distance $r = 68\,\text{ua}$ de son étoile E; l'étoile E est à la distance $d_{\text{TE}} = 160\,\text{al}$ de la Terre.

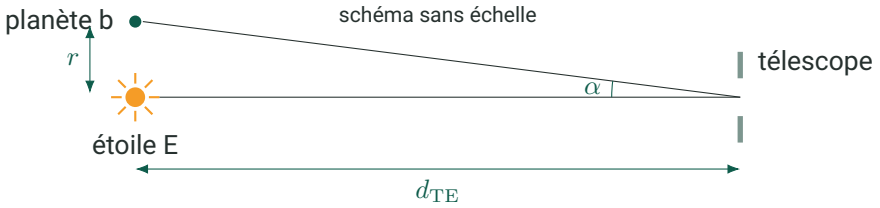
Données : $1\,\text{ua} = 1{,}496 \times 10^{11}\,\text{m}$; $1\,\text{al} = 9{,}461 \times 10^{15}\,\text{m}$; célérité de la lumière dans le vide : $c = 3{,}00 \times 10^{8}\,\text{m·s}^{-1}$.

1. Une limite imposée par la diffraction

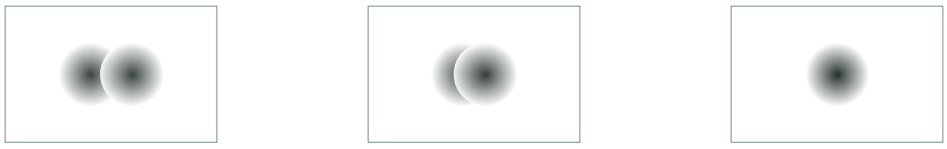
Un télescope au sol, dont l'objectif est un miroir circulaire de diamètre D, recueille la lumière d'un astre. On suppose les effets de la turbulence atmosphérique corrigés : la finesse des images n'est plus limitée que par la diffraction due à l'ouverture circulaire de diamètre D.

Document 1 : la tache de diffraction d'une ouverture circulaire. La lumière d'une source ponctuelle très lointaine, après une ouverture circulaire de diamètre D, ne donne pas un point mais une tache centrale entourée d'anneaux. Le demi-angle θ_{diff} sous lequel on voit la tache centrale depuis l'ouverture vérifie, en radian : $\theta_{\text{diff}} = 1{,}22\,\dfrac{\lambda}{D}$, où λ est la longueur d'onde.

Document 2 : écart angulaire. Vus depuis la Terre, l'étoile et la planète sont séparés d'un angle α ; pour un petit angle, $\alpha \approx \tan\alpha = \dfrac{r}{d_{\text{TE}}}$.



Document 3 : critère de Rayleigh. Un instrument sépare deux points lumineux si leur écart angulaire α est au moins égal à θ_{diff}.



$\alpha > \theta_{\text{diff}}$: deux taches séparées

$\alpha = \theta_{\text{diff}}$: limite

$\alpha < \theta_{\text{diff}}$: une seule tache

1) Quelle propriété de la lumière le phénomène de diffraction met-il en évidence ?

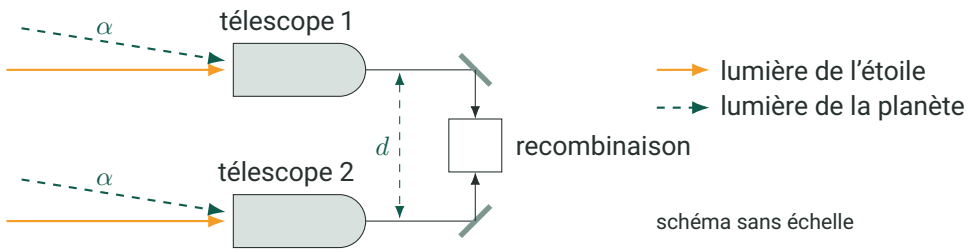
2) On observe le couple étoile-planète dans l'infrarouge proche, à la longueur d'onde $\lambda = 1{,}6\,\mu\text{m}$. Déterminer le diamètre minimal du télescope qui permet de séparer la planète b de son étoile.

Question ouverte : toute démarche cohérente et clairement présentée, même inachevée, sera valorisée.

2. Éteindre l'étoile par interférences

Pour s'affranchir de l'éclat de l'étoile, un astronome a proposé en 1978 un montage interférométrique : la lumière de l'étoile y est éteinte, celle de la planète conservée.

Document 4 : interféromètre à deux télescopes. Deux télescopes identiques, distants de d, visent l'étoile. La lumière de la planète arrive avec une inclinaison α par rapport à la ligne de visée. Les deux faisceaux sont renvoyés vers un dispositif de recombinaison placé à mi-chemin des deux télescopes, où ils se superposent.



La lumière de l'étoile

3) Dans le montage du document 4, pourquoi les deux faisceaux issus de l'étoile donnent-ils une interférence constructive lors de leur recombinaison ? Justifier.

4) Soit T la période de l'onde lumineuse. On place derrière le télescope 2 un dispositif qui retarde d'une demi-période, $\frac{T}{2}$, la lumière qui le traverse. Montrer que les deux faisceaux venus de l'étoile interfèrent alors de façon destructive. Que devient l'intensité lumineuse due à l'étoile ?

La lumière de la planète

À cause de l'inclinaison α, la lumière de la planète atteint le télescope 2 avec un retard $\tau = \frac{d \sin\alpha}{c}$ sur le télescope 1 (le dispositif retardateur est toujours en place).

5) Montrer qu'à la recombinaison, la lumière de la planète issue du télescope 2 est en retard de $\tau' = \frac{d \sin\alpha}{c} + \frac{T}{2}$ sur celle issue du télescope 1.

6) Quelle condition doit vérifier τ' pour que ces deux faisceaux interfèrent de façon constructive ?

7) Montrer que cette condition s'écrit aussi $d \sin\alpha = \left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda$, avec k entier naturel non nul.

8) L'interféromètre travaille dans l'infrarouge, à $\lambda = 11\,\mu\text{m}$. Pour un petit angle, $\sin\alpha \approx \tan\alpha = \frac{r}{d_{\text{TE}}}$. En déduire l'écartement minimal d des télescopes qui rend constructive l'interférence des faisceaux venus de la planète b.

Exercice C : une soirée d'observation de la Lune

5 points

Mots clés : lentilles minces ; lunette astronomique afocale ; grossissement.

Un club d'astronomie prépare une soirée d'observation de la Lune avec une lunette d'initiation. Une participante voudrait voir un petit cratère d'impact, large de $6{,}00\,\text{km}$. On cherche quels oculaires, parmi ceux livrés avec la lunette, le permettent.

Données

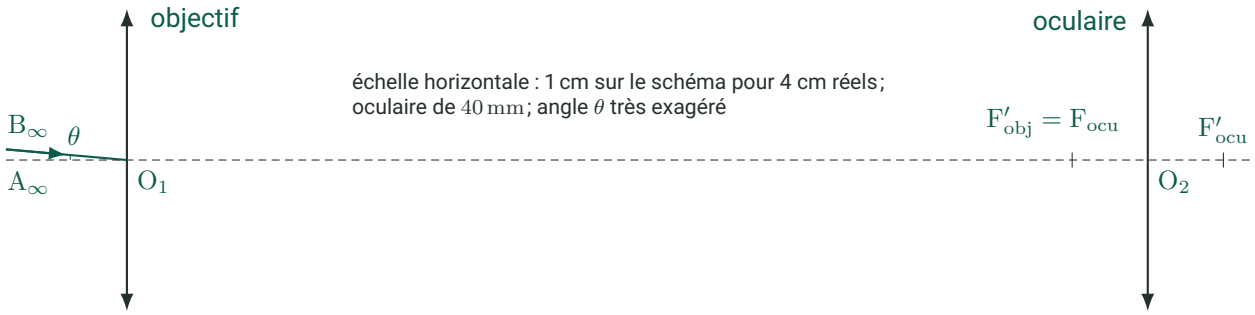
- Distance Terre-Lune : $D_{\text{TL}} = 3{,}84 \times 10^5\,\text{km}$.
- Largeur du cratère : $d = 6{,}00\,\text{km}$.
- Pouvoir séparateur de l'œil : deux points A et B ne sont vus séparés à l'œil nu que si l'angle sous lequel on les voit est au moins égal à $\varepsilon = 3{,}0 \times 10^{-4}\,\text{rad}$.

Fiche technique de la lunette	
Diamètre de l'objectif	$90\,\text{mm}$
Distance focale de l'objectif	$500\,\text{mm}$
Masse du tube	$2{,}6\,\text{kg}$
Hauteur du trépied	70 à $125\,\text{cm}$
Focales des oculaires	$40\,\text{mm}$, $16\,\text{mm}$ et $8\,\text{mm}$

1. La lunette

1) Cette lunette est vendue sous l'appellation « 90/500 ». Que signifient ces deux nombres ?

2) On modélise la lunette par deux lentilles minces convergentes : l'objectif, de centre O_1, et l'oculaire, de centre O_2 ; le foyer image F'_{obj} de l'objectif est confondu avec le foyer objet F_{ocu} de l'oculaire. Sur le schéma ci-dessous **(à compléter sur le sujet)**, poursuivre la marche du rayon issu du point B_∞, situé à l'infini, à travers la lunette ; faire apparaître l'image intermédiaire A_1B_1 et l'angle θ' sous lequel on voit, dans la lunette, l'image de $\text{A}_\infty\text{B}_\infty$.



3) Que signifie l'adjectif « afocal » pour une lunette ? Quel est l'intérêt, pour l'observateur, d'une lunette afocale ?

4) Pour un petit angle exprimé en radian, on admet que $\tan\theta \approx \theta$. Rappeler la définition du grossissement G. En exploitant le schéma complété, établir que $G = \dfrac{f'_{\text{obj}}}{f'_{\text{ocu}}}$, où f'_{obj} et f'_{ocu} sont les distances focales de l'objectif et de l'oculaire.

2. Le cratère est-il visible ?

5) À l'aide d'un schéma faisant apparaître les hypothèses retenues, vérifier que, depuis la Terre, le cratère est vu sous l'angle $\theta = 1{,}56 \times 10^{-5}\,\text{rad}$.

6) Peut-on voir ce cratère à l'œil nu ? Justifier.

7) Quelle est la taille de l'image A_1B_1 du cratère formée par l'objectif ?

8) Quel(s) oculaire(s), parmi les trois livrés, la participante peut-elle utiliser pour espérer distinguer le cratère ? *Question ouverte : toute démarche cohérente et clairement présentée, même inachevée, sera valorisée.*