Conseils :

- Ce devoir comporte quatre exercices indépendants.
- Le correcteur tiendra compte de la **présentation** (soin apporté aux schémas) et de la **rédaction de votre copie** : justifiez rapidement vos affirmations, donnez la **valeur littérale simplifiée** des résultats en fonction des données de l'énoncé, **vérifiez l'homogénéité et la cohérence** (tout résultat non homogène sera sanctionné).

  Les résultats NON ENCADRÉS ne seront pas notés. Laissez une marge à gauche pour le correcteur.
- Numérotez les questions et ajoutez le label de la marge Q1, etc.
- L'usage des **calculatrices est autorisé**.

I. AUTOUR DE L'ATOME D'HYDROGÈNE

La mécanique quantique a permis d'interpréter une observation expérimentale datant du début du siècle précédent : les énergies observables pour l'atome d'hydrogène sont quantifiées. Autrement dit, seul un ensemble discret d'énergies peuvent être observées :

$$E_n = -\frac{E_{\text{ref}}}{n^2}\ , \quad n \in \mathbb{N}^*$$

L'objectif de cet exercice est de déterminer l'expression littérale puis la valeur numérique de la constante E_{ref}, qui caractérise l'atome d'hydrogène.

1. La quantité de mouvement p est reliée à la constante de Planck h par la formule : $p = mv = \frac{h}{\lambda}$ avec m la masse, v la vitesse et λ la longueur d'onde.

Q1 En utilisant cette formule, déterminer la dimension de la constante de Planck h. Montrer qu'elle peut s'exprimer en J.s.

Q2 2. L'unité associée à une charge électrique q est le Coulomb (C) tel que 1 C=1 A.s. En déduire la dimension de q.

Q3 3. La force d'interaction électrostatique (aussi appelée force Coulombienne) entre deux particules de charges q_1 et q_2 s'exprime sous la forme :

$$\vec{F}_{2/1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{d^2}\vec{u}_{2\to 1}$$

où d représente la distance entre les deux particules, $\vec{u}_{2\to 1}$ un vecteur unitaire et où ϵ_0 est une constante fondamentale appelée permittivité du vide. En déduire la dimension de ϵ_0.

Q4 4. Un atome d'hydrogène se compose d'un proton de charge électrique e et d'un électron de charge électrique $-e$. On note $k = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}$. Quelle est la dimension de k ?

5. On se propose maintenant d'établir une expression pour l'énergie E_{ref} de l'atome d'hydrogène. Une modélisation rapide permet d'identifier les paramètres dont elle dépend : k, h et m, la masse de l'électron :

$$E_{\text{ref}} = a \times m^\alpha \times k^\beta \times h^\gamma$$

où a désigne une constante de proportionnalité sans dimension.

Q5 Déterminer alors l'expression de E_{ref} par analyse dimensionnelle.

II. Décomposition de la lumière blanche

1. Généralités :

Q6 (a) Rappeler les longueurs d'onde typiques dans le vide correspondant aux extrémités du spectre de la lumière visible en faisant une échelle en longueurs d'onde. Placer et nommer les deux domaines juste au-delà du visible.

Q7 (b) Quelle relation lie dans le vide la longueur d'onde à la fréquence d'une onde lumineuse ? Application numérique : en déduire les fréquences correspondant aux extrémités du spectre de la lumière visible.

Q8 (c) Qu'appelle-t-on spectre d'une lumière ? Représenter qualitativement celui d'une lampe spectrale au mercure par exemple.

2. On considère un dioptre plan entre deux milieux d'indices n_1 et n_2.

Q9 (a) Définir le plan d'incidence.

Q10 (b) Énoncer les lois de Snell-Descartes pour la réflexion. Faire un schéma.

3. Un rayon de lumière blanche arrive sur une interface verre-air avec un angle d'incidence $i = 35°$. Les indices du verre pour le rouge et le bleu sont : $n_{rouge} = 1{,}62$ et $n_{bleu} = 1{,}65$ et l'indice de l'air est de 1 pour toutes les couleurs de la lumière blanche.

Q11 (a) Observe-t-on une réflexion totale ? Justifier.

Q12 (b) En raisonnant sur les rayons bleu et rouge, déterminer celui qui est le plus dévié. Faire un schéma.

III. ETUDE DE DEUX RÉFRACTOMÈTRES

Les parties A et B sont indépendantes.

A. Le réfractomètre de Pulfrich.

Soit un bloc de verre d'indice N connu et présentant un angle droit en A (voir Figure 1 ci-dessous).

On place sur ce bloc une cuve sans fond contenant un liquide d'indice $n < N$ à mesurer.

En un point I du dioptre liquide – verre AB, on fait arriver un faisceau lumineux monochromatique sous une incidence $0 \leqslant i \leqslant 90°$.

Les rayons lumineux pénètrent dans le cube et on considère tous ceux qui sortent par la face AC placée dans l'air (dont l'indice sera pris égal à 1).

Q13 1. À quelle condition sur i y aura-t-il un faisceau émergent de la face AC ?

On considérera que la taille du bloc de verre ne limite pas le faisceau lumineux et on donnera une inégalité liant $\sin i$ à N et n.

2. La condition précédente étant réalisée, on remarque que le faisceau émergent est limité à sa partie supérieure par un rayon faisant l'angle i'_0 avec la normale au dioptre AC.

Q14 Exprimer i'_0 en fonction de n et N.

La mesure de i'_0 permet donc de calculer n si on connaît N.

Q15 3. Quels indices n peut-on mesurer à l'aide ce réfractomètre ?

Faire l'application numérique avec $N = 1{,}600$, en veillant aux chiffres significatifs.

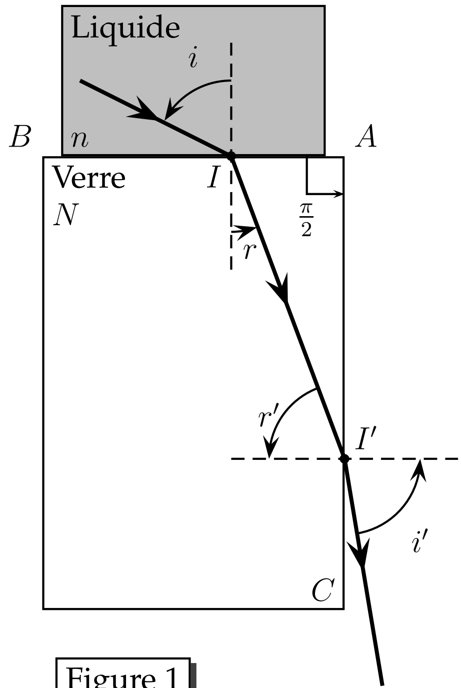
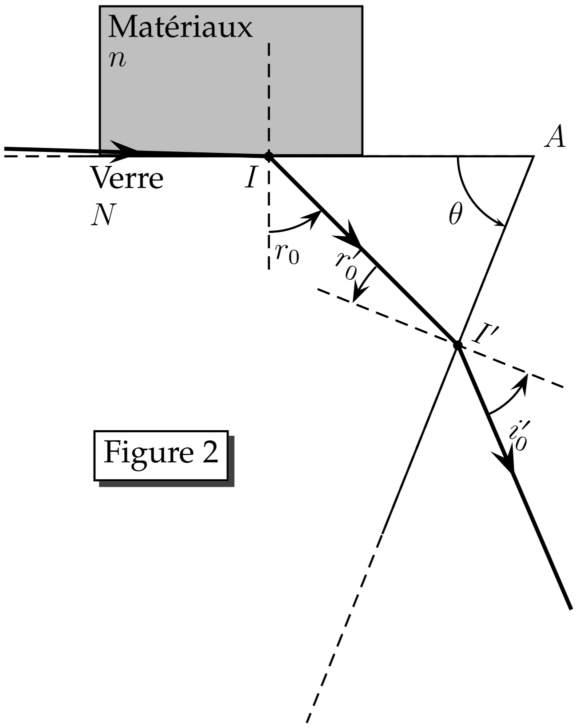


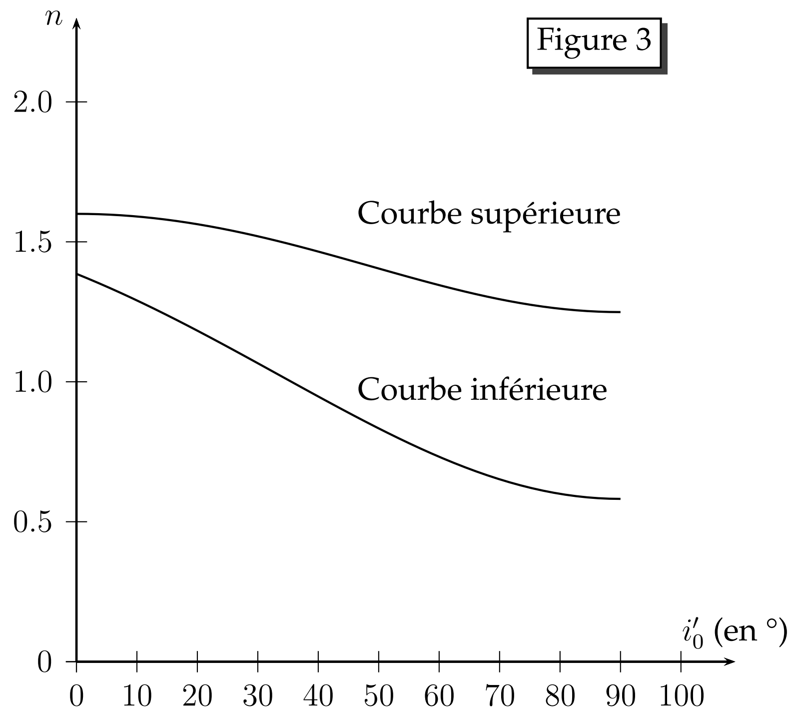
Figure 1

B. Le réfractomètre d'Abbe.

Un rayon lumineux monochromatique provenant d'un milieu d'indice n inconnu tombe en I sur un prisme (d'indice N et d'angle au sommet θ connus) sous une incidence rasante (cf. Figure 2. ci-dessous). Il émerge du prisme en faisant un angle i'_0 avec la normale à la face de sortie.

1. La mesure de l'angle i'_0 permet de remonter à la valeur de n.
Q16 Donner la relation liant n à i'_0 et aux données du problème (θ et N).
2. Calculer n correspondant à $i'_0 = 15{,}00°$ sachant que $\theta = 60{,}00°$ et $N = 1{,}600$ en veillant au
Q17 nombre de chiffres significatifs.
Q18 3. Quels indices n peut-on mesurer à l'aide ce réfractomètre ? Faire l'application numérique.





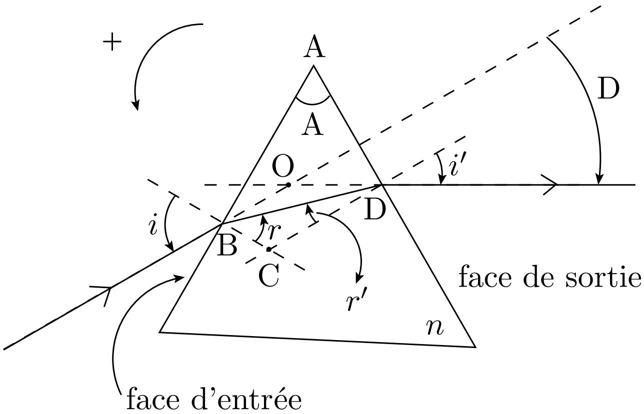
C. Comparaison.

Les deux courbes ci-dessus (Figure 3) représentent $n(i'_0)$ pour les deux réfractomètres.

Q19 1. Identifier quel réfractomètre correspond à chaque courbe.
Q20 2. Quel réfractomètre permet *a priori* la mesure la plus précise d'un indice n ?

IV. ÉTUDE D'UN PRISME

Le prisme utilisé est caractérisé par un indice n qui dépend de la longueur d'onde. Le prisme est placé dans l'air dont l'indice sera pris égal à 1. Un rayon incident rencontre la face d'entrée au point B sous l'angle d'incidence i et l'émergent associé ressort par l'autre face avec un angle i' au point D. Les angles r et r' sont définis sur le schéma suivant.



D est l'angle formé par le rayon incident et le rayon émergent, il est appelé *angle de déviation*. Les orientations des angles sont choisies pour que les angles D, i, i', r, r' et A soient positifs sur le schéma.

Dans les conditions normales d'utilisation, i est positif ($0° < i < 90°$) et par conséquent tous les autres angles le sont également.

1. On suppose que le prisme permet l'existence d'un rayon émergent et on néglige, dans la suite, toute réflexion.

Q21 (a) En appliquant les lois de Descartes, écrire la relation entre i et r d'une part, et i' et r' d'autre part.

Q22 (b) Établir une relation entre r, r' et A. Justifier.

Q23 (c) Établir une relation entre D, i, i' et A. Justifier.

Q24 2. (a) En appliquant le principe du retour inverse de la lumière, montrer que, pour une valeur de D possible donnée, il existe un couple de solutions (i_1,i_2). Quel lien physique existe-t-il entre i_1 et i_2 ?

Q25 (b) En déduire l'égalité de i et de i' lorsque D passe par un minimum (supposé unique).

Q26 (c) Déterminer la valeur i_m de i correspondant au minimum de déviation en fonction de D_m (valeur de D au minimum) et de A.

Q27 (d) Déterminer la valeur r_m de r correspondant au minimum de déviation en fonction de A.

Q28 (e) Faire un schéma complet du prisme et de la marche d'un rayon dans le cas du minimum de déviation.

Q29 (f) En déduire que l'indice n, les angles A et D_m vérifient une relation du type :

$$n = \frac{f\left(\frac{A+D_m}{2}\right)}{f\left(\frac{A}{2}\right)}$$

où f est une fonction que l'on précisera.

Q30 (g) Faire l'application numérique pour $A = 60{,}0°$ et $D_m = 65{,}0°$ en veillant au nombre de chiffres significatifs.

I. Autour de l'atome d'hydrogène

Q1 1. Utilisons la formule $E = h\nu$ soit $h = \frac{E}{\nu}$, avec l'énergie telle que $[E] = [mgz] = \mathrm{M.L^2.T^{-2}}$ et la fréquence telle que $[\nu] = \mathrm{T^{-1}}$. Ainsi $\boxed{[h] = \mathrm{M.L^2.T^{-1}}}$

On effectue le même raisonnement avec les unités. L'énergie s'exprime en Joule et la fréquence en secondes^{-1} donc h est bien en $\boxed{\text{Joule . seconde}}$

Q2 2. Comme l'unité de q est 1 C=1 A.s alors $\boxed{[q] = [A.s] = \mathrm{I.T}}$ en notant $[A] = \mathrm{I}$.

Q3 3. $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1q_2}{d^2}$ donc $[\epsilon_0] = \frac{q_1q_2}{Fd^2} = \frac{(\mathrm{I.T})^2}{\mathrm{MLT^{-2}L^2}}$ $\boxed{[\epsilon_0] = \mathrm{I^2.M^{-1}.L^{-3}.T^4}}$

Q4 4. On note $k = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}$. Utilisons la formule $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1q_2}{d^2}$ (plutôt que le résultat de la question précédente si jamais on s'était trompé). D'où $[k] = [Fd^2] = \mathrm{MLT^{-2}.L^2}$ $\boxed{[k] = \mathrm{M.L^3.T^{-2}}}$

Q5 5. $[am^\alpha k^\beta h^\gamma] = \mathrm{M}^\alpha(\mathrm{M.L^3.T^{-2}})^\beta(\mathrm{M.L^2.T^{-1}})^\gamma = \mathrm{M}^{\alpha+\beta+\gamma}.\mathrm{L}^{3\beta+2\gamma}.\mathrm{T}^{-2\beta-\gamma}$

Par identification avec la dimension d'une énergie : $\mathrm{M.L^2.T^{-2}}$, on obtient :

$$\begin{cases} 1 &= \alpha+\beta+\gamma \\ 2 &= 3\beta+2\gamma \\ -2 &= -2\beta-\gamma \end{cases}$$

D'où $\boxed{\alpha = 1, \quad \beta = 2, \quad \gamma = -2}$

II. Décomposition de la lumière blanche

1. Généralités :

Q6 (a) Environ $400 - 800\,$nm. Les bornes ne sont pas parfaitement définies. À «droite» on a l'infrarouge (longueur d'ondes supérieures) et à gauche (longueur d'ondes inférieures) on a l'ultraviolet.

Q7 (b) $\lambda = c/f \Leftrightarrow f = c/\lambda$

On en déduit pour le visible : $3\cdot10^8/(8\cdot10^{-7}) = 3{,}75\cdot10^{14}$ Hz et $7{,}5\cdot10^{14}$ Hz.

Q8 (c) Le spectre d'une lumière est la représentation de l'intensité lumineuse (plus précisément la densité spectrale de puissance en générale) en fonction de la longueur d'onde (ou la fréquence). Pour une lampe au mercure, c'est un spectre de raie (plusieurs "batons").

Une allure plausible suffisait.

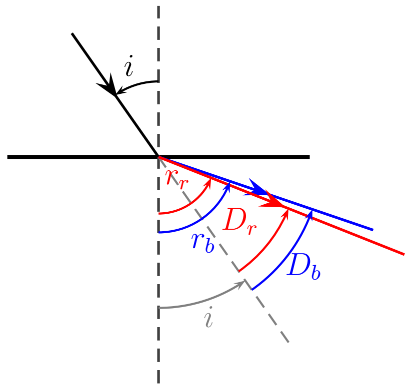
Q9 2. (a) Il s'agit du plan contenant le rayon incident et la normale au dioptre au point où le rayon frappe le dioptre.

Q10 (b) Le rayon réfléchi appartient au plan d'incidence et l'angle entre le rayon réfléchi et la normale est égal à l'opposé de l'angle entre le rayon incident et la normale. Ayez le réflexe de faire un schéma (cf cours pour le schéma)

Q11 3. (a) On passe d'un milieu plus réfringent à un milieu moins réfringent donc on peut avoir réflexion totale. Calculons l'angle limite de réflexion totale $i_{lim,bleu} = \arcsin(1/n_{bleu}) = 37°$ et $i_{lim,rouge} = \arcsin(1/n_{bleu}) = 38°$. L'angle d'incidence est inférieur à l'angle limite pour toutes les couleurs, on a donc réfraction et pas réflexion totale.

Certains ont considéré $n = 1{,}45$ ou $1{,}5$. Attention, il y a autant d'indices de verre que de verres. Il faut s'adapter à l'énoncé.

(b) Avec la loi de Descartes, calculons l'angle de réfraction r pour chaque couleur :
$n_{rouge}\sin(i) = \sin(r)$ d'où $r = \arcsin(n_{rouge}\sin(i))$.
D'après le schéma, la déviation $D = r - i = \arcsin(n_{rouge}\sin(i)) - i$ d'où :
Q12 A.N. : $D_{rouge} = 33°$ et $D_{bleu} = 36°$
$\boxed{\text{Le rayon bleu est plus dévié que le rouge.}}$



Attention : vous avez été nombreux à dire $r_b > r_r$ donc le rayon bleu est plus dévié. Ce n'est pas si évident : la déviation est $r - i$ et non simplement r. Notament si l'on s'était rapproché de la normale, on aurait eu $r_b < r_r$ mais quand même $|D_b| > |D_r|$.

De même il n'est pas correct de dire « l'indice du verre est plus élevé dans le bleu donc le bleu est plus dévié » sans plus de précisions car il est envisageable d'avoir une succession de dioptres où la déviation se compense dans le bleu ($D_b = 0$) mais pas dans le rouge ($D_r \neq 0$).

III. Etude de deux réfractomètres

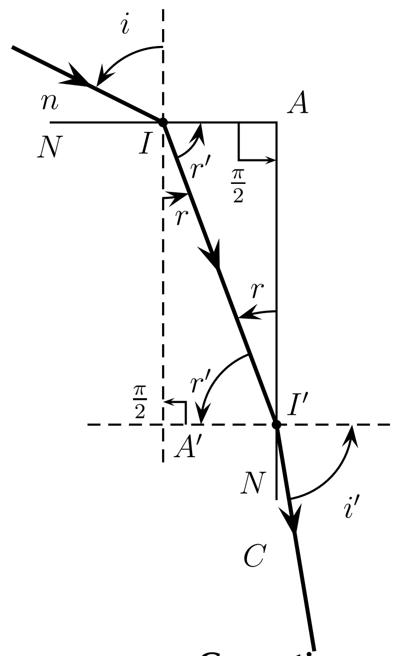
A. Le réfractomètre de Pulfrich.

Lisez bien l'énoncé, face AC. Schéma obligatoire pour s'approprier le problème.

1. Comme $n < N$, il y aura toujours réfaction en I.
Par contre, en I' comme $n > n_{\text{air}} = 1$ le rayon s'écarte de la normale. Pour qu'il y ait refraction il faut $r' \leqslant r'_l$ la valeur de r' pour laquelle $i' = i'_l = \frac{\pi}{2}$ c'est à dire, d'après la loi de Snell Descartes relative à la réfraction en I', $N\sin r' = n_{\text{air}}\sin i' \Rightarrow \sin r' \leqslant \sin r'_l = \frac{1}{N}$.
Dans le triangle rectangle IAI' (ou dans $IA'I'$), on établit $\frac{\pi}{2} + r + r' = \pi$ d'où $r' = \frac{\pi}{2} - r$ et en reportant dans la relation précédente on obtient $\sin(\frac{\pi}{2} - r) \leqslant \frac{1}{N} \Rightarrow \cos r \leqslant \frac{1}{N}$.

Simplifiez les expressions : $\sin(\frac{\pi}{2} - r) = \cos r$

Cette condition sur r et la loi de Snell Descartes en I nous permet de déterminer la relation cherchée :



$$n\sin i = N\sin r = N\sqrt{1-\cos^2 r} \geqslant N\sqrt{1-\frac{1}{N^2}} \Rightarrow \boxed{\sin i \geqslant \frac{1}{n}\sqrt{N^2-1}}$$

Q13

La réponse $\sin i \geqslant \frac{N}{n}\cos[\arcsin\frac{1}{N}]$ ***bien que moins "élégante" était aussi valable.***

2. Le rayon qui fait l'angle i'_0 correspond à la valeur minimale obtenue pour i', c'est à dire quand $r' = r'_0$ est minimum d'où $r = \frac{\pi}{2} - r' = r_0$ maximum.

Là encore, lisez bien l'énoncé, i ***est maximum***

Cette condition correspond donc à $i = \frac{\pi}{2}$ (incidence rasante) soit d'après la relation Snell Descartes en I, $n\sin\frac{\pi}{2} = N\sin r_0$ d'où $\sin r_0 = \frac{n}{N}$ et $r_0 = \frac{\pi}{2} - r'_0 \Rightarrow \sin(\frac{\pi}{2} - r'_0) = \frac{n}{N} \Rightarrow \cos r'_0 = \frac{n}{N}$.

En utilisant enfin la relation de Snell Descartes en I' : $N\sin r'_0 = \sin i'_0 \Rightarrow N\sqrt{1-\cos^2 r'_0} = \sin i'_0$

Q14 d'où $\sin i'_0 = N\sqrt{1-\frac{n^2}{N^2}} \Rightarrow \boxed{i'_0 = \arcsin\sqrt{N^2-n^2}}$.

La réponse $\sin i'_0 = N\cos[\arcsin\frac{n}{N}]$ ***était aussi valable.***

3. La formule précédente, liant n à i'_0 et N n'est valable que si i'_0 est défini, c'est à dire si $N > n$ et $\sqrt{N^2-n^2} \leqslant 1 \iff n \geqslant \sqrt{N^2-1}$

Pensez au domaine de définition de l'$\arcsin$

Q15 On ne peut utiliser cette méthode que pour des indices $\boxed{\sqrt{N^2-1} = 1{,}249 \leqslant n \leqslant N = 1{,}600}$.

B. Le réfractomètre d'Abbe.

Même principe avec cette fois $\frac{\pi}{2}$ ***devient*** θ***, on pourrait procéder par analogie***

1. On utilise la relation de Snell Descartes en I avec cette fois, $i = i_0 = \frac{\pi}{2}$ d'où $\sin r_0 = \frac{n}{N}$.
   Dans le triangle AII' (Cf. figure 2 ci-dessous) , $\theta + \frac{\pi}{2} - r_0 + \frac{\pi}{2} - r'_0 = \pi \Rightarrow r'_0 = \theta - r_0 = \theta - \arcsin\frac{n}{N}$.
   Par ailleurs, la loi de Snell Descartes en I' impose

Q16 $$N\sin r'_0 = \sin i'_0 \Rightarrow \sin i'_0 = N\sin[\theta - \arcsin\tfrac{n}{N}] \Rightarrow \boxed{n = N\sin\left[\theta - \arcsin\left(\frac{\sin i'_0}{N}\right)\right]}$$

Q17 2. Application numérique : si $i'_0 = 15{,}00°$, $\theta = 60{,}00°$ et $N = 1{,}600$, on obtient $\boxed{n \simeq 1{,}238}$.
   Remarque : le bon nombre de chiffres significatifs à prendre en compte n'est ici pas facile à bien déterminer à cause de la fonction sinus. On se rendrait compte avec un traitement plus rigoureux (méthode statistique) qu'il faudrait prendre un chiffre de plus.

3. Comme $0 \leqslant i'_0 \leqslant \frac{\pi}{2}$, on a $0 \leqslant \sin i'_0 \leqslant 1$ et en remplaçant dans le résultat précédent, on en

Q18 déduit $\boxed{N\sin\left[\theta - \arcsin\left(\frac{1}{N}\right)\right] \leqslant n \leqslant N\sin\theta}$

Remarque : ce résultat doit être pris avec précaution car si d'un point de vue mathématique, $0 \leqslant i_0' \leqslant \frac{\pi}{2}$ selon que la valeur θ soit supérieure ou inférieure à $\frac{\pi}{2}$ (angle obtus ou aigu). Il est probable que le rayon II' n'arrive jamais sous une incidence nulle ou rasante en I'.

Par exemple, dans notre cas, l'application numérique donne $0{,}582 \leqslant n \leqslant 1{,}386$ mais l'indice du matériau considéré étant forcément supérieur à 1, on conserve $\boxed{1 \leqslant n \leqslant 1{,}386.}$

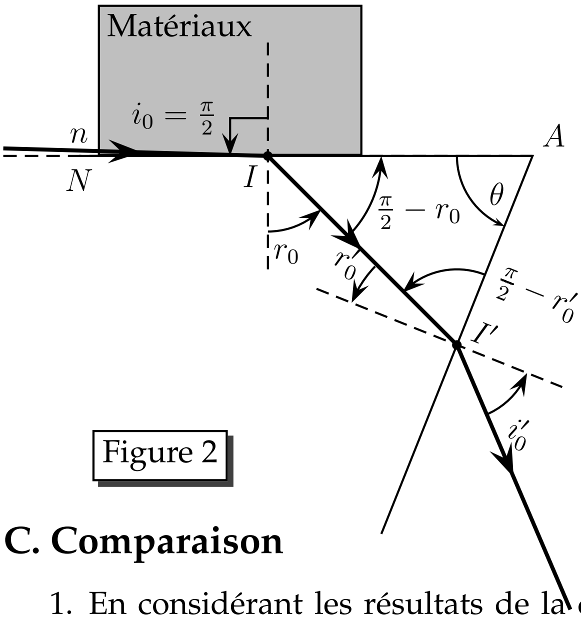


Figure 2

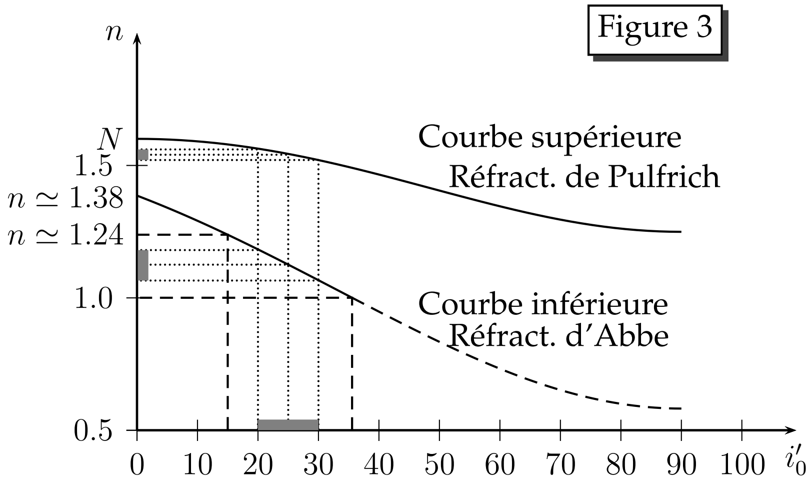


Figure 3

C. Comparaison

1. En considérant les résultats de la question A.3 et B.3 (valeurs de n mesurables), on peut affirmer que $\boxed{\text{la courbe supérieure correspond au réfractomètre de Pulfrich}}$ alors que celui

Q19 d'$\boxed{\text{Abbe}}$ $\boxed{\text{correspond à la courbe inférieure.}}$

Si vous ne justifiez pas, vous n'aurez aucun point puisque vous avez une chance sur deux d'avoir raison en donnant une réponse au hasard.

2. En réalité, les domaines d'utilisation se recouvrent assez peu, on n'aura donc guère le choix. Toutefois, on remarque que la courbe inférieure admet une pente plus prononcée, c'est à dire qu'à une petite variation de i_0' correspond ne variation importante de n. Ainsi, si la mesure a une petite incertitude sur i_0', l'incertitude sur la valeur de n sera plus grande lorsque la courbe est plus pentue. Par exemple, sur le graphique ci-dessus, si on fait une mesure de 25°±5° (incertitude représentée par une barre grise), alors la mesure de n serait $1{,}065 \leqslant n \leqslant 1{,}18$ avec la courbe inférieure, soit une incertitude de $n_{\text{max}} - n_{\text{min}} = 0{,}115$. Ce serait $1{,}52 \leqslant n \leqslant 1{,}56$ et donc une incertitude $n_{\text{max}} - n_{\text{min}} = 0{,}04$ trois fois plus faible avec la courbe supérieure.

   On aura donc, *a priori* une $\boxed{\text{mesure plus précise en utilisant le réfractomètre de Pulrich}}$ (qui a la pente la plus faible donc). Par contre, en contrepartie, la gamme d'indice mesurable est

Q20 plus faible.

   Ce point est assez général au niveau des capteurs : un capteur très sensible a généralement une gamme de mesure limitée, c'est pour cela que les multimètres disposent de plusieurs gammes (mA/A par exemple), afin d'adapter la sensibilité aux grandeurs mesurées.

Encore une fois, Non Justifié = pas de points.

IV. ÉTUDE D'UN PRISME

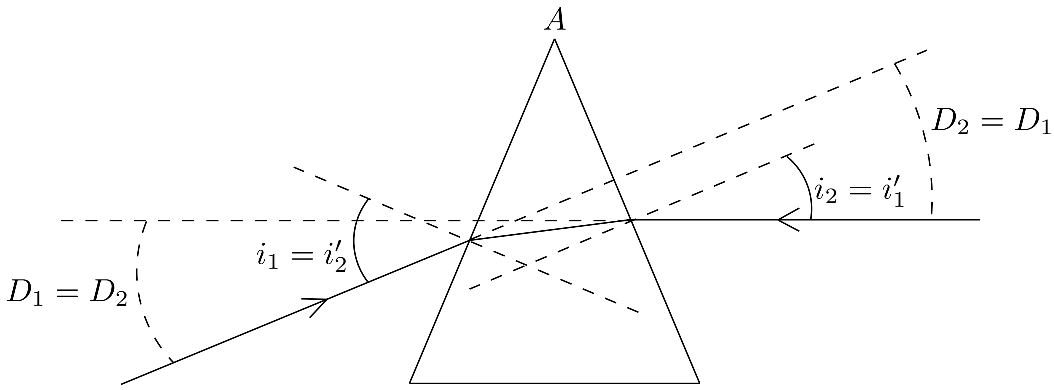
Q21 1. Lois de Descartes en B et D $\boxed{\sin i = n \sin r \qquad \sin i' = n \sin r'}$

Q22 2. Dans le triangle ABD, on a $A + (\pi/2 - r) + (\pi/2 - r') = \pi$, on en déduit $\boxed{A = r + r'}$

Q23 3. Dans le triangle OBD, on a $\pi - D + (i - r) + (i' - r') = \pi$, on en déduit $\boxed{D = i + i' - A}$

Q24 4. Prenons une valeur arbitraire de i (qui permette l'existence d'un rayon émergent) et notons-la i_1. Soit i'_1 la valeur de l'angle d'émergence correspondant et D_1 la valeur de la déviation correspondante.

Appliquons le retour inverse de la lumière, cette fois-ci, l'angle d'incidence vaut $i_2 = i'_1$ et l'angle d'émergence $i'_2 = i_1$, et $D_2 = D_1$.



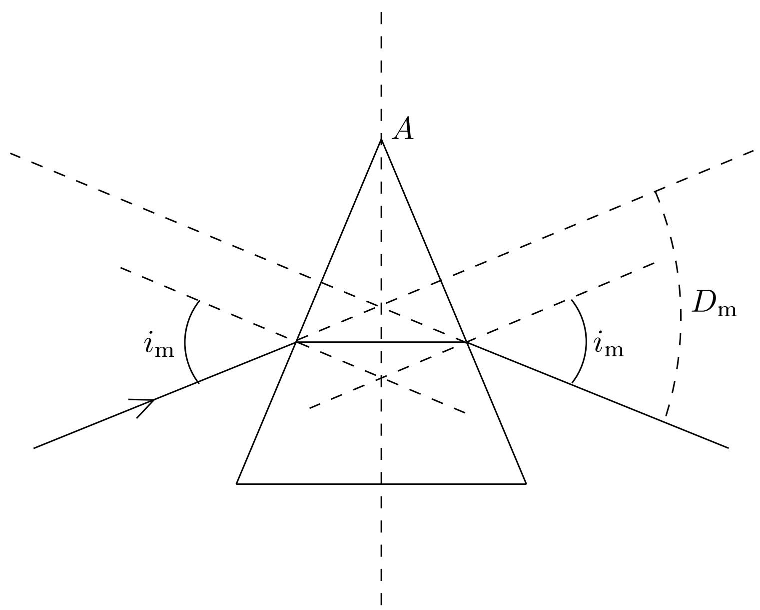
Il existe ainsi pour une valeur de D possible donnée un couple de solutions $(\mathbf{i_1}, \mathbf{i_2})$, tels que l'un et l'autre soient angle d'incidence ou d'émergence de l'autre.

Q25 5. On fait l'hypothèse la fonction $D(i)$ ne possède qu'un extremum et que c'est un minimum. Notons D_m la valeur minimale de D. Il n'y a donc qu'une seule valeur de i permettant d'avoir $D = D_m$. D'après la question précédente on en déduit qu'au minimum de déviation, on a $i_1 = i_2$, soit $\boxed{i = i'}$ au minimum de déviation.

Q26 6. Si $i = i' = i_m$,alors, d'après la question 1.c., on a $\boxed{i_m = \frac{A+D_m}{2}}$

Q27 7. Si $i = i'$, alors, d'après la question 1.a., $r = r'$. Si $r = r' = r_m$, alors, d'après la question 1.b., on a $\boxed{r_m = \frac{A}{2}}$

Q28 8. D'après ce qui précède, on en déduit que le triangle ABD est isocèle (égalité des angles $A\hat{B}D = A\hat{D}B = \pi/2 - r_m$). Ainsi la figure présente un axe de symétrie, la bissectrice de l'angle A.



Q29 9. On applique Descartes en B, au minimum, pour en déduire $\boxed{n = \dfrac{\sin\left(\frac{A+D_m}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}}$ f est donc la fonction sinus.

Q30 10. Application numérique : $n = 1{,}774021666$ (résultat brut donné par la calculatrice). Soit en conservant 3 chiffres significatifs :
$\boxed{n = 1{,}77}$
Remarque : En faisant plus précisément les incertitudes (méthode statistique), on se rend compte qu'il faudrait garder un chiffre de plus.