European Olympiads of Expérimental Science 2022

Epreuve pratique de sélection

PHYSIQUE

Faculté des sciences et technologies

Nancy, jeudi 3 février 2022

NOM :

Prénom :

Expérience 1 : Détermination du coefficient de viscosité d'une huile

Alors que l'eau peut être versée facilement d'un récipient à l'autre, le miel met beaucoup de temps à s'écouler de son récipient. La raison de ces différences de vitesse d'écoulement est que le miel est plus visqueux et résiste mieux à l'écoulement que l'eau. Le coefficient de viscosité est une mesure du degré de résistance interne à l'écoulement et au cisaillement. Le coefficient de viscosité est un paramètre important dans l'industrie alimentaire. L'écoulement de divers composants des matières premières vers le produit final dans une industrie alimentaire automatisée en dépend.

La viscosité d'un fluide peut être déterminée en mesurant la vitesse de chute d'une sphère à travers une colonne de fluide de viscosité inconnue. Pour ce faire, on fait tomber une sphère sur une distance mesurée dans une colonne de fluide et on mesure le temps nécessaire pour parcourir cette distance.

Matériel fourni :

- Thermomètre
- Balles de 4 diamètres différents
- Eprouvette remplie d'huile
- Chronomètre
- Règle
- Serviette en papier

Aspects théoriques :

Considérons une bille sphérique de rayon r et de densité ρ_b tombant à travers une colonne de fluide de coefficient de viscosité η, et de densité ρ_f comme l'illustre la figure 1 ci-contre.

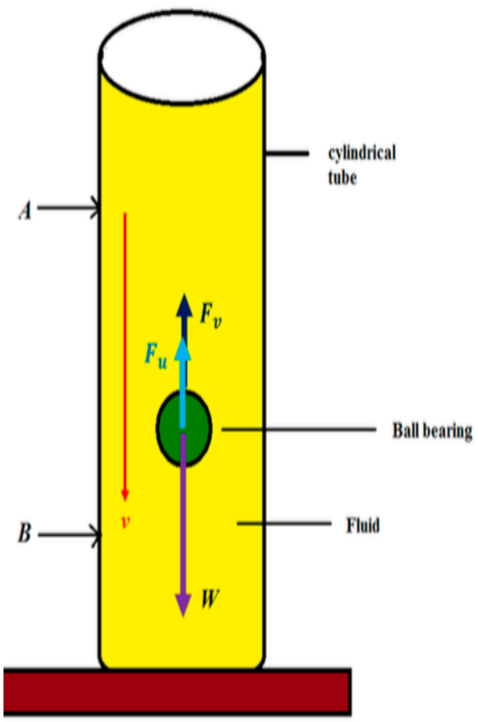


Figure 1 : bille sphérique de rayon r tombant à travers une colonne de fluide. Les points A et B permettent de mesurer la distance que la bille parcourt avec sa vitesse constante.

Document 1 : Mouvement de chute d'une bille dans un fluide :

Lors de son mouvement, la bille accélère vers le bas puis atteint une vitesse limite, notée v_{lim}.. Durant son mouvement elle est soumise à l'action :

- de son poids $\vec{p}$,

- de la poussée d'Archimède $\overrightarrow{\Pi_A}$

- de la force de frottement exercée par le fluide $\vec{f}$.

La bille atteint sa vitesse limite, notée v_{lim}, avant le point A, il n'y a plus d'accélération.

On notera $\boldsymbol{l}$ est la distance entre A et B et Δt le temps que met la balle à tomber entre A et B.

Document 2 : **Expression de la force de frottement**

La force de frottement ou force de viscosité ou force de Stokes due au liquide : $\vec{f}$

A faible vitesse, la force de viscosité est $\vec{f} = -6\pi \times R \times \eta \times \vec{v}$

Avec η le coefficient de viscosité (en kg.m^{-1}.s^{-1} ou Pa.s ou Poiseuille Pl) et R est le rayon de la bille (m)

Document 3 : Poussée d'Archimède :

On rappelle que la norme de la poussée d'Archimède Π_A correspond au poids du volume de fluide déplacé par l'objet immergé.

Questions :

1. Utiliser le ruban adhésif pour marquer deux lignes horizontales (A et B) sur le tube cylindrique de sorte que la ligne A est à au moins 5 cm de la surface du fluide. La ligne B doit se trouver 20 cm en dessous de ligne A. Mesurer et noter la distance verticale l exacte entre les lignes A et B et l'inscrire ci-dessous.

l = 20 cm

Le diamètre de la bille dont vous disposez est de **d = 5 mm.**

2. Relâcher soigneusement une des billes dans le fluide au centre de la surface et mesurer le temps Δt mis par la balle pour parcourir la distance l entre A et B. Répéter l'expérience en remontant la bille à l'aide l'aimant fourni afin d'obtenir trois valeurs de temps. Répéter l'expérience en remontant la bille à l'aide l'aimant fourni afin d'obtenir trois valeurs de temps et compléter le tableau ci-dessous.

Résultats expérimentaux :

Diamètre de la bille		Diamètre au carré	Temps nécessaire à la chute d'une hauteur l				Vitesse finale
d (mm)	d (m)	d^2 (m^2)	Δt_1 (s)	Δt_2 (s)	Δt_3 (s)	Moyenne Δt_{moy} (s)	v_{lim} (m/s) moyenne
5,0 mm	**0,0050 m**	$\mathbf{25 \times 10^{-6}}$	**49,83**	**49,69**	**50,01**	**49,84**	$\mathbf{4,0 \times 10^{-3}}$

3. Calculer le temps moyen, le diamètre au carré de la bille d^2 et la vitesse limite v_{lim} moyenne pour la bille, et compléter le tableau ci-avant.

Données :

Masse volumique du fluide	Masse volumique de la bille	Accélération due à la gravité
ρ_f = 1260 kg/m³	ρ_b= 1717 kg/m³	g = 9,81 m/s²

4. A l'aide d'une loi de physique de seconde, que l'on précisera, exprimer la norme de la force de frottement en fonction des normes des autres forces, durant la phase où la vitesse est constante.

Lorsque la bille atteint une vitesse constante, elle est en mouvement rectiligne uniforme et d'après le principe de l'inertie : $\sum \vec{f} = \vec{0}$.

Par conséquent : $p = f + \Pi_A$

P : norme du poids , f : norme de la force de frottements , Π_A : norme de la poussée d'Archimède

Appeler le professeur pour faire vérifier votre expression

5. En déduire une expression de v_{lim} en fonction de ρ_f, ρ_b, g, R et η.

$$P = f + \Pi_A$$

$$m_{bille} \times g = 6\pi R \eta v_{lim} + m_{fluide\ déplacé} \times g$$

or $m = \rho \times V$

$$\rho_b \times V_b \times g = 6\pi R \eta v_{lim} + \rho_f \times V_b \times g$$

$$6\pi R \eta v_{lim} = (\rho_b - \rho_f) \times V_b \times g$$

or $V_b = \frac{4}{3}\pi R^3$

$$6\cancel{\pi} \cancel{R} \eta v_{lim} = (\rho_b - \rho_f) \times \frac{4}{3} \times \cancel{\pi} \times R^{\cancel{3}\,2} \times g$$

$$\boxed{v_{lim} = \frac{2}{9} \times \frac{(\rho_b - \rho_f) \times R^2 \times g}{\eta}}$$

6. Déterminez la viscosité η du fluide utilisé avec les unités appropriées.

$$\eta = \frac{2}{9} \times \frac{(\rho_b - \rho_f).R^2.g}{v_{lim}} = \frac{2}{9} \times \frac{(1717 - 1260).(0,0025)^2.9,81}{4,0 \times 10^{-3}} = 1,6\ N.s.m^{-2}$$

(2 chiffres significatifs)

Raisonnement pour l'unité : $[\rho] = kg.m^{-3}$ $\quad [v_{lim}] = m.s^{-1}$

$[g] = N.kg^{-1}$ $\quad [R^2] = m^2$

$$[\eta] = \frac{[\rho_b - \rho_f] \times [R^2] \times [g]}{[v_{lim}]} = \frac{\cancel{kg}.m^{-3} \times m^2 \times N.\cancel{kg}^{-1}}{m.s^{-1}}$$

$$\boxed{[\eta] = N.s.m^{-2}}$$

7. Sachant que les unités de force et de pression peuvent s'exprimer dans le système international comme indiqué ci-après, déterminer l'expression de l'unité de viscosité faisant intervenir l'unité Pa (Pascal)

	Unité	Équivalent dans le système international
Unité de force	Newton : N	$m.kg.s^{-2}$
Unité de pression	Pascal : Pa	$kg.m^{-1}.s^{-2}$

$$[\eta] = N.s.m^{-2} = m.kg.s^{-2} \times s \times m^{-2}$$

$$= kg.m^{-1}.s^{-1}$$

$$= kg.m^{-1}.s^{-2} \times s$$

$$\boxed{[\eta] = Pa.s}$$

8. En déduire quel fluide a été utilisé pour l'expérience

1,6 Pa.s → il s'agit de glycérol

<u>Donnée :</u> L'écart relatif se calcule à l'aide de la relation suivante :

$$écart\ relatif\ (\%) = \frac{|\eta_{théorique} - \eta_{expérimental}|}{\eta_{théorique}} \times 100$$

9. Calculer l'écart relatif entre la valeur de viscosité trouvée expérimentalement et celle tabulée pour le fluide utilisé. Préciser les sources d'erreur possibles.

Ordre de grandeur	Valeur de viscosité	Nature du liquide
10^{-4}	$3{,}2 \times 10^{-4}$	Acétone[2]
	6×10^{-4}	Essence[2]
10^{-3}	0,001	Eau[3]
	0,001 2	Éthanol[4]
	0,001 6	Mercure[2]
	0,003	Lait[3]
	0,004	Sang[2]
10^{-2}	0,028	Huile de lin[4]
	0,072	Huile de maïs[4]
	0,084	Huile d'olive[4]
	0,085 - 0,14	Huile de moteur SAE 10[3]
10^{-1}	0,1	Huile de ricin
	0,14 - 0,42	Huile de moteur SAE 20[3]
	0,42 - 0,65	Huile de moteur SAE 30[3]
	0,65 - 0,90	Suile de moteur SAE 40[3]
10^{0}	1,5	Glycérine[2]
	2,5	Sirop d'érable[4]
10^{1}	10	Miel[3]
	50	Ketchup[3]
	70	Moutarde[3]

$$\boldsymbol{écart\ relatif\ (\%) = \frac{|\eta_{théorique} - \eta_{expérimental}|}{\eta_{théorique}} \times 100 = \frac{|1,5 - 1,6|}{1,5} \times 100 = 7\ \%}$$

Expérience 2 : Transfert d'énergie associé aux lampes à incandescence

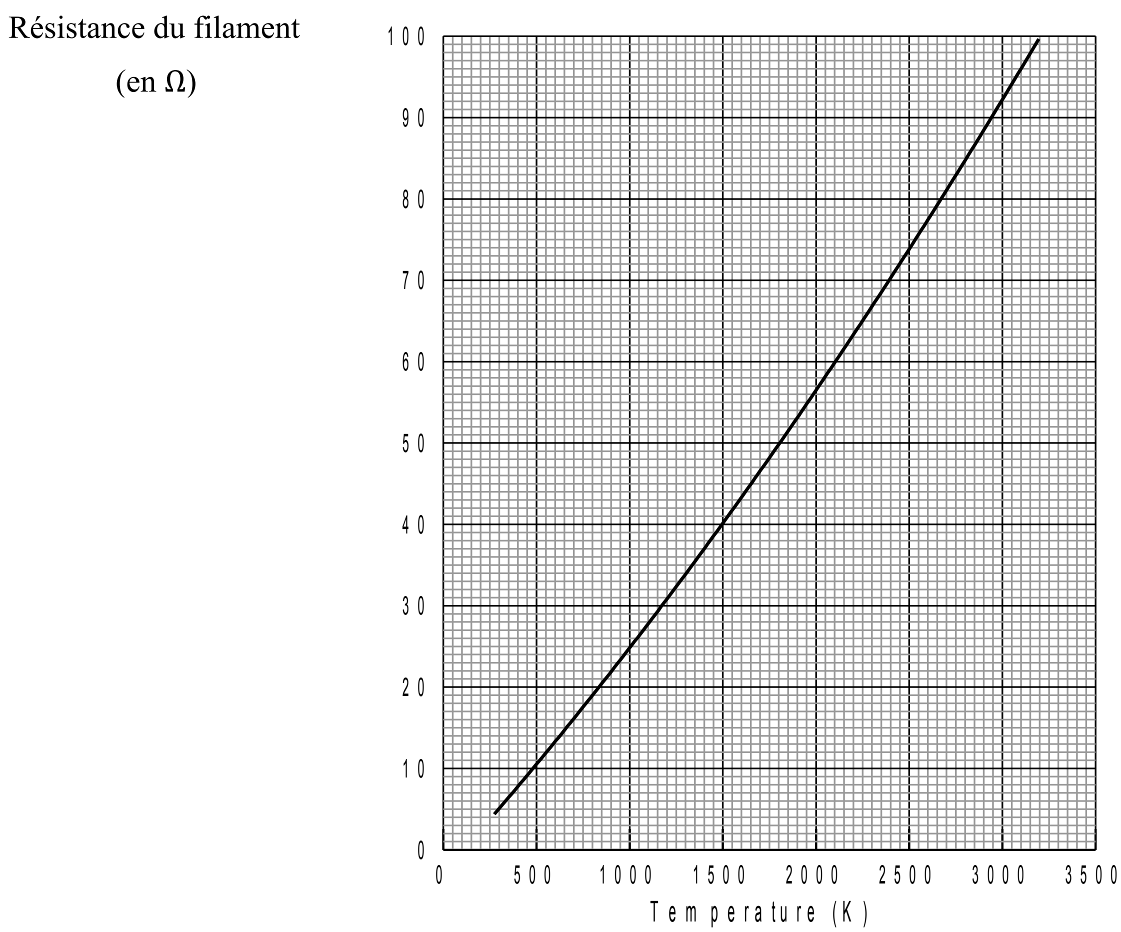
La conductivité (ou résistance) d'un matériau ne varie pas seulement en fonction de la concentration du porteur, mais aussi en fonction de la température. Les matériaux ayant des propriétés telles que le volume, la couleur, la résistance qui varient avec la température peuvent être utilisés comme indicateur de température. Les échelles de température sont différentes dans les diverses communautés professionnelles. Les échelles de température les plus couramment utilisées sont le Celsius et le Kelvin, comme indiqué dans le tableau IV-1.

<u>Document 4 : Deux échelles de température couramment utilisées.</u>

Echelle	Symbole	Unité	Relation
Celsius	T_C	°C	$T_C = T_C$
Kelvin	T	K	$T = T_C + 273$

<u>Document 5 : Température en fonction de la résitance d'un fil de tungstène</u>

Le graphe ci-dessous représente l'évolution de la résistance d'un cube de tungstène de 1 cm (la section transversale est de 1 cm^2) en fonction de sa température.



10. Relever la température ambiante en degrés Celcius à l'aide du thermomètre. Quelle est la température ambiante en Kelvin ?

T = 20°C et T(K) = T(°C) + 273

Donc T = 293 K

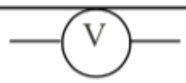
11. Utiliser le multimètre pour mesurer la résistance à température ambiante du filament de tungstène dans l'ampoule.

Appeler le professeur pour montrer votre mesure.

Branchement correct du multimètre en ohmmètre.

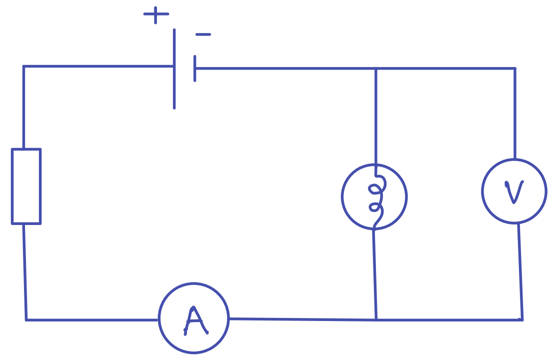
R = 4,8 Ω

Symboles pour les circuits électriques :

Device	Light bulb	Battery	Resistor	Ampere meter	Volt meter
Symbol					

Brancher en série un générateur (6 V), une ampoule et la plus grande résistance dont vous disposez.

12. A l'aide du matériel disponible, proposer un schéma électrique du dispositif permettant de mesurer simultanément l'intensité traversant la lampe et la tension à ses bornes et faire valider par l'encadrant.



Voltmètre en dérivation

ampèremètre en série.

13. Faire varier la valeur de la résistance, comme indiqué dans le tableau de la page suivante, pour faire varier la tension et le courant de l'ampoule. Un point de données sans résistance (résistance nulle) doit être enregistré. Inscrivez l'ensemble des données (I, U) sur la feuille de réponse (page suivante).

14. À partir des données mesurées (I, U), calculer la résistance R du filament de la lampe correspondant à chaque couple tension U, intensité I, et inscrire les résultats dans le tableau de données ci-après. Préciser ci dessous la relation utilisée pour votre calcul et donner son nom.

Pour calculer la résistance, il faut utiliser la loi d'Ohm :

$\boldsymbol{U = R \times I}$ **donc** $\boldsymbol{R = \frac{U}{I}}$

15. À partir des données mesurées (I, U), calculer la puissance électrique P de l'ampoule correspondant au produit de la tension U par intensité I, et inscrire les résultats dans le tableau de données.

16. Utiliser le document 2, pour obtenir la température (T) en Kelvin du filament de tungstène dans l'ampoule correspondant à chaque mesure. Noter tous les résultats calculés dans le tableau de données ci-après.

Le filament de tungstène peut transférer son énergie à l'environnement par trois canaux. Il s'agit de la conduction, de la convection et du rayonnement. Les puissances de transfert d'énergie sont la puissance de conduction, P_{cond} , la puissance de convection, P_{conv} , et la puissance de rayonnement, P_{ray}, respectivement.

Deux des canaux de transfert d'énergie, la conduction et la convection, passent par la matière et leur puissance totale est proportionnelle à la différence de température, $\Delta T = (T - T_e)$, entre la température du filament (T) et la température ambiante (T_e). Tandis que le transfert d'énergie par rayonnement peut se propager dans le vide sans aucun milieu. Le taux de rayonnement énergétique est proportionnel à la loi de puissance T^β de la température du filament (T), et β est supérieur à 1. Par conséquent, le transfert de puissance total du filament chaud vers l'environnement peut être modélisé comme suit :

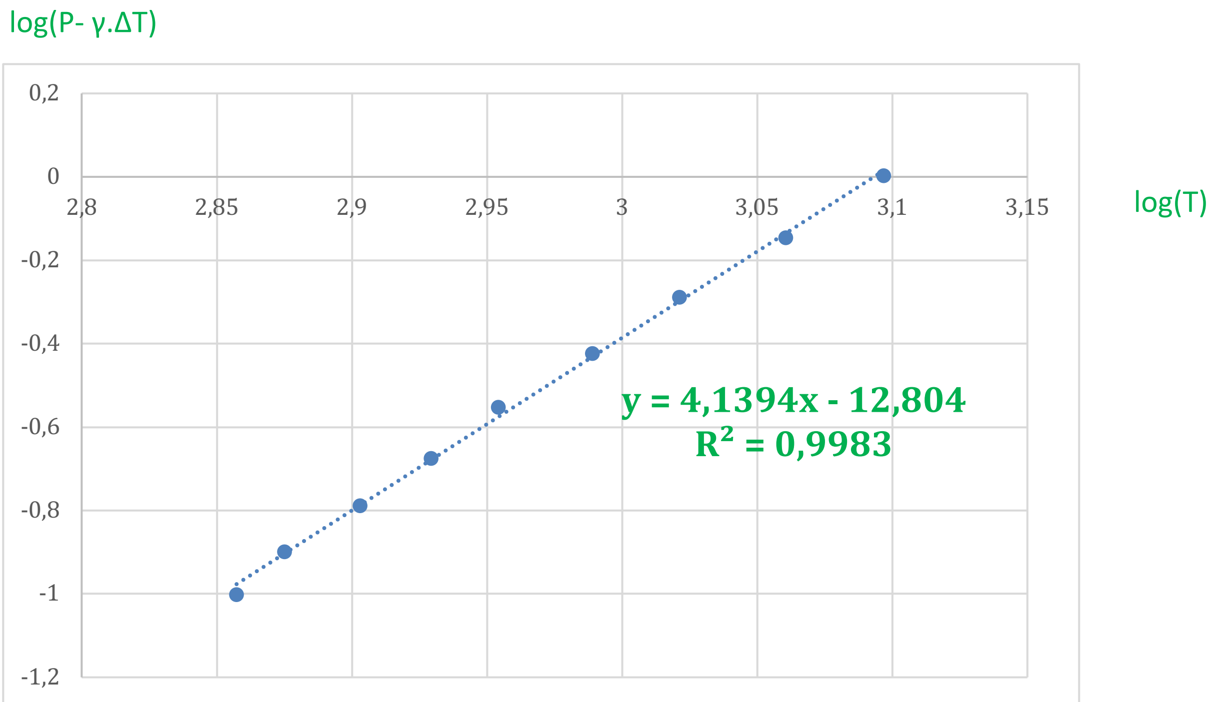
$$\mathbf{P_{tot} = \alpha T^\beta + \gamma\, \Delta T} \qquad \text{où } \alpha, \beta \text{ et } \gamma \text{ sont des constantes positives.}$$

Pour le type de lampe utilisée on donne : $\gamma = 5 \times 10^{-6}\ W.K^{-1}$

17. Calculer le logarithme de la température (T), et les valeurs de log(P- γ.ΔT) et les inscrire dans le tableau de données ci-après.

R	U (V)	I (mA)	P (W)	R (filament)	T (K)	log(P- γ.ΔT)	log T
0	5,68	178	1,01104	31,9101124	1250	0,00270805	3,09691001
10	4,56	157,6	0,718656	28,9340102	1150	-0,1460762	3,06069784
20	3,7	140,3	0,51911	26,3720599	1050	-0,2879188	3,0211893
30	3,03	125,5	0,380265	24,1434263	975	-0,4238257	2,98900462
40	2,51	112,9	0,283379	22,2320638	900	-0,5523087	2,95424251
50	2,1	102,1	0,21441	20,5680705	850	-0,674433	2,92941893
60	1,78	93	0,16554	19,1397849	800	-0,7877991	2,90308999
70	1,51	85,1	0,128501	17,7438308	750	-0,8988856	2,87506126
80	1,3	78,3	0,10179	16,6028097	720	-1,0015009	2,8573325

18. Tracez l'évolution de log(P- γ.ΔT) , en fonction du logarithme de la température, log(T).



19. Sachant que $\gamma = 5 \times 10^{-6}\ W.K^{-1}$, déterminer la valeur ds constantes α et β. Présenter clairement votre raisonnement.

$$P = a T^{\beta} + \gamma \Delta T$$

$$P - \gamma \Delta T = \alpha T^{\beta}$$

$$\underbrace{\log (P - \gamma \Delta T)}_{y} = \log (\alpha T^{\beta}) = \log \alpha + \beta \underbrace{\log T}_{x}$$

$\log \alpha$ → ordonnée à l'origine

β → coef dir

donc $\log(\alpha)$ **= -12,8** ➔ $\alpha = 10^{-12{,}8}$

et $\beta = 4{,}14$

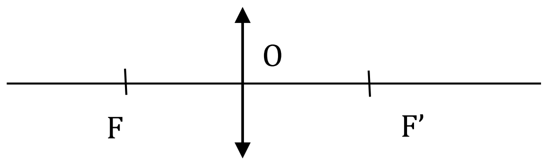
Expérience 3 : Détermination de la distance focale d'une lentille convergente

Document 6 : Caractéristiques d’une lentille

Une **lentille** est un milieu homogène et transparent limité par deux surfaces dont l’une au moins est sphérique. Une lentille mince convergente possède un axe de symétrie (**axe optique**) et un centre O (**centre optique**).

La **distance focale f’** d’une lentille convergente correspond à la distance OF’ : f’ = OF’.

La **vergence C** exprimée en dioptries (δ) est l’inverse de la distance focale f’ en mètres :



$$C = \frac{1}{f'}$$

Document 7 : Relation de conjugaison d’une lentille

Pour une lentille mince de centre optique O, de distance focale f ’, donnant d'un point A situé sur l'axe optique un point image A' :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

Les positions des points O, A et A’ sont repérables sur un banc optique. La position de la lentille renseigne sur la position de son centre optique O.

Document 8 : Méthode de Silbermann

Il faut positionner la lentille convergente sur le banc optique et rechercher l’image de l’objet lumineux : l’image doit être renversée mais de même taille que l’objet. Dans ce cas, le grandissement est égal à -1.

Relever alors la distance OA’, et en déduire la distance f ’.

Rappel : La relation de grandissement est : $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

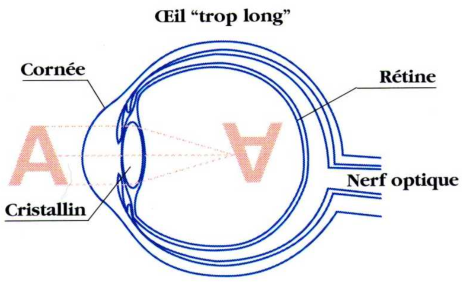
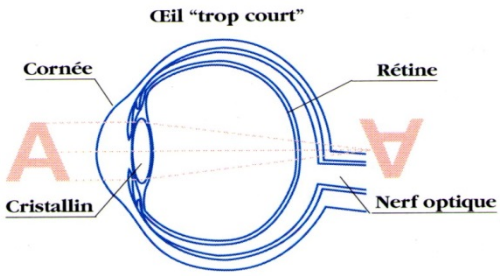
γ est le grandissement sans unité ; OA et OA’ s’expriment dans la même unité.

Document 7 : Matériel disponible et montage expérimental

- Miroir
- Banc optique
- Objet lumineux
- Ecran
- Lentille convergente de distance focale inconnue
- Ordinateur avec Regressi

Document 8 : Défauts de vision

Il existe plusieurs défauts de vision : la myopie, l'hypermétropie, la presbytie et l'astigmatie.

La myopie	L'hypermétropie
	
Le cristallin est trop convergent. L'image de l'objet se forme donc en avant de la rétine.	Le cristallin n'est pas assez convergent. L'image de l'objet se forme donc en arrière de la rétine.

Document 9 : Incertitudes et erreurs de mesure

Une grandeur mesurée G est toujours entachée d'erreurs.

Incertitude-type	Comparaison avec une valeur de référence
L'incertitude-type sur la grandeur G notée u(G) se calcule à partir de l'écart-type σ_{n-1} : $u(G) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{N}}$ La valeur moyenne $\overline{\boldsymbol{G}}$, , l'écart-type σ_{n-1} et l'incertitude-type u(G) sont calculés à l'aide de la calculatrice. N est le nombre de mesures effectuées.	Le z-score est le résultat de la comparaison entre l'écart absolu $\lvert G_{mes} - G_{réf} \rvert$ et de l'incertitude-type : $z = \frac{\lvert G_{mes} - G_{réf} \rvert}{u(G)}$ **Si z $<$ 2 : le résultat est compatible avec la valeur de référence, si z $\geq$ 2, il ne l'est pas.**

A. Application de la Méthode de Silbermann

20. Déterminer la distance focale de la lentille convergente à disposition en utilisant la méthode de Silbermann.

$$\gamma = -1 \iff \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = -1$$

$$\overline{OA'} \times \left(\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}\right) = \frac{1}{f'} \times \overline{OA'} \iff 1 - \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{OA'}}{f'}$$

$$\iff 1 - (-1) = \frac{\overline{OA'}}{f'}$$

$$\iff \boxed{f' = \frac{\overline{OA'}}{2}} \text{ lorsque } \gamma = -1$$

En cherchant l'image nette telle que le grandissement soit de -1

→ on mesure $\overline{OA'} = 30\ cm$ → donc f' = 15 cm

21. En déduire sa vergence.

$$C = \frac{1}{f'} = \frac{1}{0,15} = +6,6\ \delta$$

22. Cette lentille pourrait-elle corriger la vue d'un myope ou d'un hypermétrope ? Justifier et proposer une explication claire.

La lentille étudiée a une distance focale positive → elle est convergente

L'oeil d'un hypermétrope n'est pas assez convergent → l'utilisation d'une lentille convergente permet donc de corriger ce défaut de convergence.

B. <u>Application de la méthode des points conjugués : méthode graphique</u>

Cette seconde méthode nécessite plusieurs manipulations. Il faut obtenir, pour différentes positions de l'objet notées OA, une image nette sur un écran et relever sa position par rapport à la lentille, notée OA'.

23. Placer l'objet lumineux en un point A à la distance OA de la lentille. Déplacer l'écran de façon à avoir une image nette et compléter le tableau suivant :

OA (cm) Position de l'objet	-20	-25	-30	-35	-40
OA'(cm) Position de l'image	**57,5**	**37,5**	**29**	**27**	**25**

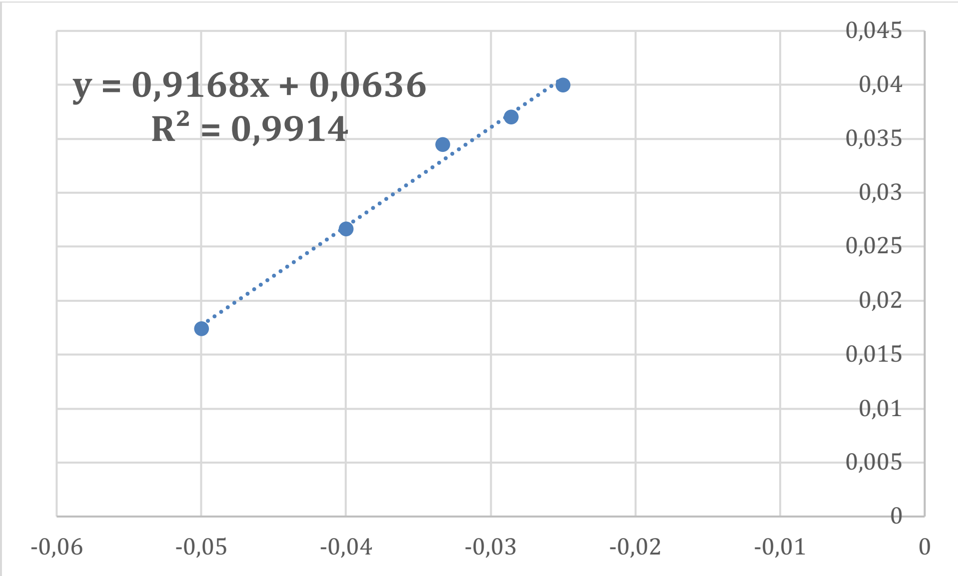
24. Proposer un protocole pour déterminer la vergence de la lentille sachant que le tracé d'un graphique est attendu.

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \iff \underbrace{\frac{1}{\overline{OA'}}}_{y} = \frac{1}{f'} + \underbrace{\frac{1}{\overline{OA}}}_{x}$$

Si on trace $\frac{1}{\overline{OA'}}$ en fonction de $\frac{1}{\overline{OA}}$

alors on doit avoir un graphe d'ordonnée à l'origine $\frac{1}{f'}$ et de coefficient directeur 1.

25. Mettre en œuvre le protocole puis déterminer la vergence de la lentille à disposition.



26. En déduire sa distance focale.

Ordonnée à l'origine = 1/f' = 0,0636 → f' = 1/0,0636 = 15,7 cm

27. Cette manipulation a été réalisée dans les mêmes conditions par plusieurs groupes. Les résultats obtenus sont recensés dans le tableau suivant :

Groupe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
f’ (en cm)	14,8	14,9	14,9	14,7	15	15,1	14,8	15,2	15

a) Déterminer la valeur moyenne de f’.

Moyenne : f' = 14,93 cm

b) Déterminer l’incertitude-type sur la distance focale u(f’).

$$u(f') = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{N}}$$

$$\sigma_{n-1} = \frac{\sum (f'_i - \overline{f'})^2}{N}$$

c) La valeur obtenue est-elle compatible avec la valeur théorique attendue de 15 cm ? Un calcul est attendu.

28. En utilisant la relation de conjugaison, déterminer une expression de la distance focale f' en fonction de $\overline{OA'}$ et de $\overline{OA}$. Puis cocher les propositions vraies parmi les propositions suivantes :

- ○ f' est proportionnelle à $\overline{OA'}$ - $\overline{OA}$
- ○ f' est proportionnelle à $\overline{OA'}$ + $\overline{OA}$
- **X f' est inversement proportionnelle à $\overline{OA'}$ - $\overline{OA}$**
- ○ f' est inversement proportionnelle à $\overline{OA'}$ + $\overline{OA}$
- ○ f' est proportionnelle à $\overline{OA'}$ et $\overline{OA}$
- **X f' est inversement proportionnelle à OA' et OA**