

ACTIVITÉ DE DÉCOUVERTE DES INCERTITUDES DE TYPE B

MESURER UNE DISTANCE FOCALE

Lors de cette séance expérimentale, le professeur propose une activité de remobilisation des acquis de la classe de seconde sur les lentilles minces convergentes puis l'estimation d'incertitudes-types de mesure par une méthode autre que statistique (type B) est introduite sur l'exemple de la mesure de la distance focale f' d'une lentille convergente.

Prérequis / repères de progressivité

Programme de la classe de seconde : variabilité de la mesure d'une grandeur physique, notion d'écart-type et d'incertitude-type, écriture d'un résultat.

Références à la partie « Mesure et incertitudes » du programme

Notions et contenus	Capacités exigibles
Incertitude-type. Écriture du résultat. Valeur de référence.	Définir qualitativement une incertitude-type. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B). Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure. Comparer qualitativement un résultat à une valeur de référence.

Exemple d'activité de découverte

Comment estimer une incertitude-type par une méthode autre que statistique ?

En classe de seconde, vous avez vu qu'en réalisant des mesures répétées d'une grandeur physique on n'obtenait pas toujours le même résultat : c'est la variabilité de la mesure à laquelle on a associé une incertitude-type. Mais dans certaines situations, répéter des mesures un grand nombre de fois n'est pas forcément une approche pertinente (quand la mesure demande trop de temps, ou que le matériel à disposition n'est pas assez précis par exemple). Dans ce cas, on peut néanmoins obtenir une estimation de l'incertitude-type en exploitant un encadrement.

Quand on peut attribuer une valeur numérique à une grandeur physique, il est toujours possible de l'encadrer.

Exemple : à l'aide du matériel à votre disposition, proposer un encadrement raisonnable de la largeur L de votre table :

Discuter de la méthode utilisée et des valeurs retenues pour l'encadrement raisonnable.

On souhaite obtenir, à partir de cet encadrement, la meilleure estimation de la largeur L de la table et de l'incertitude-type associée $u(L)$.

- La meilleure estimation de la largeur L de la table correspond au milieu de l'encadrement retenu.
- En première approximation, l'incertitude-type $u(L)$ correspond à la demi-largeur de l'encadrement retenu.

Compléter : La largeur de la table est estimée à $L = \dots\dots\dots$ avec une incertitude-type $u(L) = \dots\dots\dots$

Appliquons ce principe à la mesure de la distance focale d'une lentille

Comment estimer la distance focale d'une lentille ?

Matériel disponible

- Une lentille convergente de distance focale f' inconnue
- Une règle graduée

Proposer puis mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'estimer la valeur de la distance focale f' de la lentille convergente et l'incertitude-type $u(f')$ associée à cette mesure.

Éléments pour le professeur

Cette activité d'une quarantaine de minutes en classe entière ou en groupe suit une courte réactivation de connaissances permettant aux élèves de remobiliser les notions abordées en classe de seconde (image réelle d'un objet réel formée par une lentille mince convergente, distance focale). Cette activité de réactivation de connaissances, d'une durée de quinze minutes environ, n'est pas l'objet du présent document.

Le professeur distribue une lentille convergente par groupe d'élèves. Chaque lentille devra être identifiable pour la séance de TP suivante intitulée « Tester la relation de conjugaison ». Elle peut, par exemple, être placée dans une petite pochette afin d'être numérotée.

Le document « Activité de découverte » introduit l'estimation d'une incertitude-type par une méthode ne reposant pas sur une étude statistique (estimation de type B). L'élève commence par donner un encadrement raisonnable de la largeur de sa table. Le matériel de mesure n'est pas précisé ici. La largeur de l'intervalle trouvé dépendra fortement du matériel mis à disposition de l'élève (double décimètre de l'élève, mètre ruban, feuille A4...).

Une fois la mesure faite par les différents binômes d'élèves, une discussion entre le professeur et les élèves est engagée.

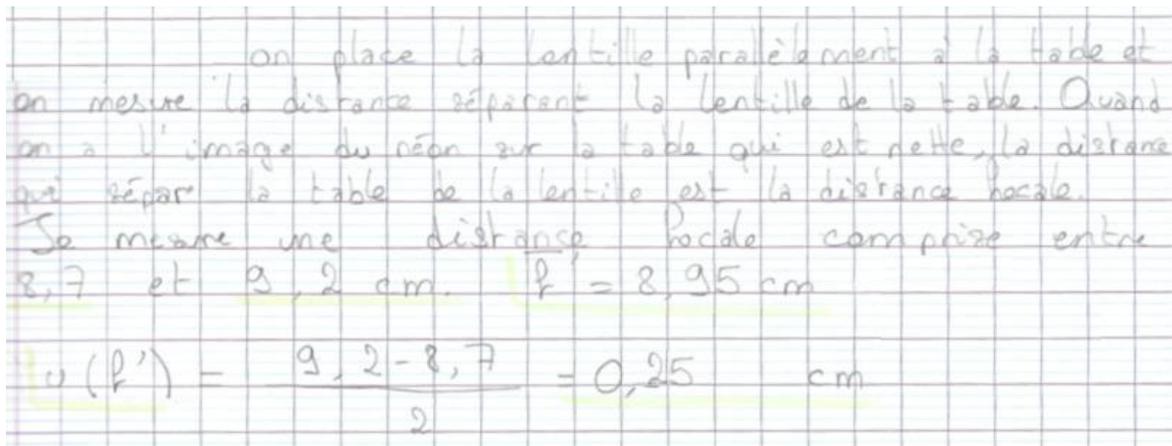
On ne cherche pas à mesurer la largeur de la table mais à l'encadrer car, pour avoir accès à une estimation de l'incertitude-type associée à la mesure de la largeur de la table, il est nécessaire d'avoir au moins deux valeurs. Cette démarche est toujours possible, même si l'élève utilise un mètre ruban et tombe « exactement » sur une graduation. En effet, la valeur lue avec l'instrument dépend par exemple de son positionnement. Au lieu de retenir la valeur lue sur l'instrument, l'élève donne la valeur maximale qui lui semble raisonnable d'obtenir par ce procédé de mesure ainsi que la valeur minimale.

Pour définir les valeurs extrêmes de l'encadrement retenu, l'élève peut se poser la question : « Si un autre expérimentateur faisait la même mesure avec le même matériel, quelles seraient les valeurs extrêmes que je peux admettre comme non aberrantes ? »

Afin de limiter au maximum la technicité liée à l'estimation de l'incertitude-type, celle-ci est assimilée à la demi-largeur de l'intervalle. Cette approximation permet d'éviter d'introduire des notions ne figurant pas au programme de la classe de première (tolérance, loi de distribution de probabilité, niveau de confiance, composition d'incertitudes-types...)

Une fois que l'élève a mis en œuvre cette démarche sur l'exemple de la mesure de la largeur de la table, il est alors invité réutiliser en autonomie cette démarche pour estimer la distance focale d'une lentille. Les élèves discutent du protocole envisageable avec le matériel fourni et doivent arriver à former l'image d'un objet lointain (par exemple image des lampes du plafond sur leur table ou image d'un bâtiment extérieur sur le mur de la classe). Ils estiment ensuite un encadrement raisonnable de la distance lentille-écran avec leur règle.

Analyse d'une production d'élève



On peut encourager l'élève à faire un schéma de la situation.

Dans la copie présentée, l'élève a limité la précision de ses mesures au millimètre. C'est assez naturel mais cela pose plusieurs problèmes.

Lorsque l'élève calcule la moyenne, il obtient mathématiquement une valeur avec plus de chiffres. Il convient alors de savoir combien de chiffres significatifs garder. Il en va de même pour l'estimation de l'incertitude-type. Un choix raisonnable est de conserver un chiffre significatif pour l'incertitude-type, au lycée.

La graduation ne limite pas toujours la précision des mesures. Ici, c'est la latitude de mise au point qui est la principale source d'erreur dans l'identification de la distance focale, vient ensuite l'erreur de positionnement de la lentille (pas parfaitement horizontale). L'erreur liée à la lecture de la graduation sur la règle est négligeable devant les autres sources d'erreur. Il n'y a donc aucune raison de limiter la lecture au millimètre. Dans d'autres situations ce sera l'inverse (lecture d'un volume dans une éprouvette ou une seringue, mesure de la largeur d'une feuille de papier...). Dans ces situations une observation méticuleuse permet de proposer un chiffre significatif au-delà de la précision du matériel.

On peut encourager l'élève à garder un nombre de chiffres suffisamment important lors de sa prise de mesure sans tronquer arbitrairement au niveau de la précision de la graduation, puis, lors de la présentation de son résultat, il peut choisir un chiffre significatif pour l'incertitude-type (qui est ici grossièrement estimée) et conclure quant à la précision de la mesure en rédigeant par exemple la phrase suivante :

« Je mesure une distance focale de $f' = 9,0$ cm avec une incertitude-type estimée de $u(f') = 0,3$ cm. »

Résultats des mesures réalisées par 14 groupes d'élèves

	A	B	C	D	E
1	Estimation de f et de $u(f)$ (estimation de type B)				
2	#groupe	f_{\min} (en m)	f_{\max} (en m)	f (en m)	$u(f)$ (en m)
3	1	0,086	0,095	0,091	0,009
4	2	0,093	0,098	0,096	0,005
5	3	0,087	0,092	0,090	0,005
6	4	0,098	0,105	0,102	0,007
7	5	0,087	0,097	0,092	0,010
8	6	0,090	0,097	0,094	0,007
9	7	0,102	0,110	0,106	0,008
10	8	0,097	0,103	0,100	0,006
11	9	0,095	0,102	0,099	0,007
12	10	0,100	0,106	0,103	0,006
13	11	0,100	0,105	0,103	0,005
14	12	0,096	0,105	0,101	0,009
15	13	0,098	0,103	0,101	0,005
16	14	0,090	0,100	0,095	0,010

Dans la colonne D, les valeurs correspondent aux valeurs moyennes $(f_{\min} + f_{\max})/2$.

Dans la colonne E, $u(f)$ est calculée par $u(f) = (f_{\max} - f_{\min})/2$.

Après la prise de mesure, une phase d'échange avec le professeur peut permettre d'aborder différents points :

- identifier ensemble les sources d'erreur et constater que la graduation n'est pas le facteur limitant ;
- comparer éventuellement les résultats expérimentaux avec une valeur de référence. Dans cette séance, les élèves ont travaillé avec des lentilles dont la distance focale donnée par le constructeur est de 10 cm (indication non visible par les élèves). Les élèves peuvent qualitativement remarquer que la différence entre la valeur trouvée expérimentalement (colonne D) et la distance focale annoncée par le constructeur est de l'ordre de l'incertitude-type. Cela indique que les mesures réalisées sont compatibles avec la valeur annoncée par le constructeur.

Annexe : références au programme

La lumière : images et couleurs, modèles ondulatoire et particulaire

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activité expérimentale support de formation</i>
Lentille mince convergente.	<i>Estimer la distance focale d'une lentille mince convergente.</i>

Compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

Compétences	Capacités associées
S'approprier	Représenter la situation par un schéma.
Analyser / Raisonner	Proposer une stratégie de résolution. Choisir, élaborer, justifier un protocole.
Réaliser	Mettre en œuvre les étapes d'une démarche. Effectuer des calculs. Collecter des données. Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité.
Valider	Estimer une incertitude. Comparer à une valeur de référence.
Communiquer	Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente.