

FICHE 1

Fiche à destination des enseignants

TS 6c Radar en vue

<i>Type d'activité</i>	<i>Activité expérimentale</i>	
	<p>Notions et contenus du programme de Terminale S Effet Doppler.</p>	<p>Compétences exigibles du programme de Terminale S Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mesurer une vitesse en utilisant l'effet Doppler. Exploiter l'expression du décalage Doppler de la fréquence dans le cas des faibles vitesses.</p>
	<p align="center">Compétences d'après le préambule du cycle terminal</p> <p>Démarche scientifique Mettre en œuvre un raisonnement Mobiliser ses connaissances Maîtriser les compétences mathématiques de base</p> <p>Approche expérimentale Valider des résultats obtenus et des hypothèses faites Estimer la précision des mesures Faire preuve d'initiative</p>	
	<p align="center">Compétences sur « Extraire et exploiter »</p> <p>Exploiter Traitement numérique des équations Analyse critique d'un résultat</p>	
	<p align="center">Compétences sur « Mesures et incertitudes »</p> <p>Expression et acceptabilité du résultat Maîtriser l'usage des chiffres significatifs et l'écriture scientifique. Associer l'incertitude à cette écriture.</p>	
<p><i>Commentaires sur l'activité proposée</i></p>	<p>Cette activité illustre le thème</p> <p align="center">« OBSERVER »</p> <p align="center">Ondes et particules</p> <p>et le sous thème</p> <p align="center">Propriétés des ondes</p> <p>en classe de terminale S.</p>	
<p><i>Conditions de mise en œuvre</i></p>	<p>Durée : 2 h 00 Pour réaliser l'expérience, on peut prendre un dispositif « disque de Newton ». On retire le disque et on place un disque en isorel 3 mm d'environ 35 cm de diamètre sur lequel on a taillé, suivant une partie du rayon, un emplacement pour placer une lame métallique. Il faut prévoir des encoches dans la lame pour bien la fixer avec une ficelle reliée au disque et un contrepoids de manière à ce que le centre de gravité de l'ensemble soit sur l'axe de rotation du disque. Pour cette activité expérimentale, le professeur dispose, a priori, d'un seul dispositif. Pour l'étude des oscillogrammes, il est vivement conseillé de prendre des photographies dans les conditions de l'expérience. Ceci permettra aux élèves restés à leur paillasse de vérifier les résultats obtenus avec le dispositif. Sur l'une de ces photographies, on indiquera la durée correspondant à 18 périodes et sur l'autre, la durée correspondant à au moins 2 tours effectués par le disque.</p>	
<p><i>Pré requis (TS)</i></p>	<p>Connaître la définition de la longueur d'onde. Connaître et exploiter la relation entre la période ou la fréquence, la longueur d'onde et la célérité.</p>	

Fiche 2

Fiche à destination des élèves

TS 6c

Radar en vue

En voiture avec un ami, vous venez de vous faire dépasser par une voiture roulant à vive allure. Soudainement, vous percevez un flash provenant d'un radar automatique. Vous demandez alors à votre ami, étudiant en physique, comment fonctionne ce type d'appareil pour mesurer la vitesse et donc savoir si le véhicule est en infraction.

Votre ami vous répond :

« La vitesse est calculée grâce à l'effet Doppler. Le radar envoie vers la voiture une onde électromagnétique dans le domaine des micro-ondes à une fréquence de 24 GHz. Une partie de celle-ci se réfléchit sur le véhicule et est détectée par le radar. Ce dernier calcule alors la différence de fréquence entre l'onde émise et l'onde reçue et en déduit la vitesse. »

De retour dans votre lycée vous décidez d'étudier ce phénomène car il est à votre programme de terminale S.



Partie 1

Mise en évidence de l'effet Doppler

Dans un premier temps, avec votre professeur de physique, vous étudiez la hauteur d'un son émis par une ambulance passant devant un micro. L'enregistrement du son se trouve dans le fichier « ambulance ».

Question 1

En vous appuyant sur enregistrement audio que vous venez d'écouter, proposer une description du phénomène physique étudié.

Le phénomène physique étudié est appelé effet Doppler. Pour mieux comprendre ce phénomène, vous étudiez le fichier PowerPoint® « Compréhension de l'Effet Doppler » donné par votre professeur de physique.

Dans ce document, on simule une onde périodique à deux dimensions, de fréquence, f , et de longueur d'onde λ , émise par un émetteur E . A l'instant $t = 0$, l'onde se trouve dans un état vibratoire, V , donné. Deux récepteurs sont placés aux points A et B .

Sur les différentes diapositives figurent des cercles qui représentent les lignes d'onde correspondant à l'état vibratoire, V , émis à chaque fois que la durée T est écoulée. Pour chaque cercle, est indiqué l'instant où l'état vibratoire a été émis en fonction de la durée T .

Dans un premier temps l'émetteur est immobile. Dans ce cas, la fréquence, f , de l'onde émise par l'émetteur E est égale à celle de l'onde reçue par les points A et B .

De plus on considère que le milieu n'est pas un milieu dispersif pour l'onde étudiée. La célérité de l'onde périodique reste donc inchangée quelle que soit la fréquence.

Question 2

a) Sur chaque diapositive du document PowerPoint®, déplacer les cercles de manière à ce qu'ils représentent effectivement les positions des différentes lignes d'onde.

b) Décrire le résultat obtenu.

Question 3

Quelle durée sépare l'émission de deux états vibratoires identiques successifs ? Que peut-on dire de la différence entre les rayons de deux cercles consécutifs ? En vous appuyant sur cet exemple et en mobilisant vos connaissances, donnez une définition de la longueur d'onde.

Dans un second temps, l'émetteur E se déplace avec une vitesse $v = v_{\text{onde}}/4$.

Question 4

a) Rappeler la relation liant la fréquence f d'une onde périodique, sa longueur d'onde λ et sa célérité v .

b) Déplacer les cercles de manière à ce qu'ils représentent les positions des différentes lignes d'onde.

c) Les lignes d'onde sur la demi-droite [EA) sont-elles plus rapprochées ou plus éloignées que celles obtenues dans le cas où l'émetteur E est immobile ?

Comparer alors la longueur d'onde λ'_A de l'onde perçue au point A avec la longueur d'onde λ de l'onde émise au point E.

En utilisant la relation établie à la question 5.a, comparer la fréquence, f'_A , de l'onde perçue au point A avec la fréquence, f , de l'onde émise au point E.

d) Les lignes d'onde sur la demi-droite [EB) sont-elles plus rapprochées ou plus éloignées que celles obtenues dans le cas où l'émetteur E est immobile ?

Comparer alors la longueur d'onde λ'_B de l'onde perçue au point B avec la longueur d'onde λ de l'onde émise au point E.

En utilisant la relation établie à la question 5.a, comparer la fréquence, f'_B , de l'onde perçue au point B avec la fréquence, f , de l'onde émise au point E.

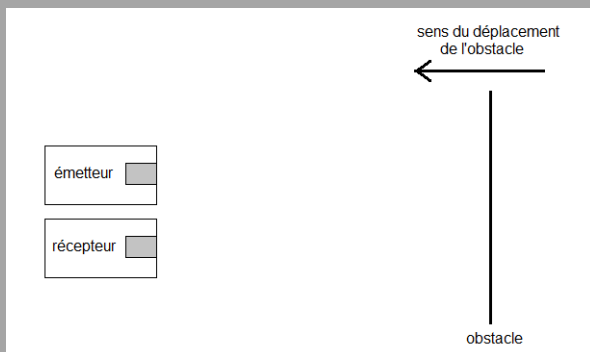
e) Retrouve-t-on les résultats établis à la question 2 ?

Partie 2

Étude expérimentale : calcul d'une vitesse à l'aide de l'effet Doppler

Votre professeur de physique vous déclare alors :

« L'effet Doppler s'observe aussi lorsqu'une onde se réfléchit sur un obstacle en déplacement, l'émetteur et le récepteur des ondes restant alors immobiles.

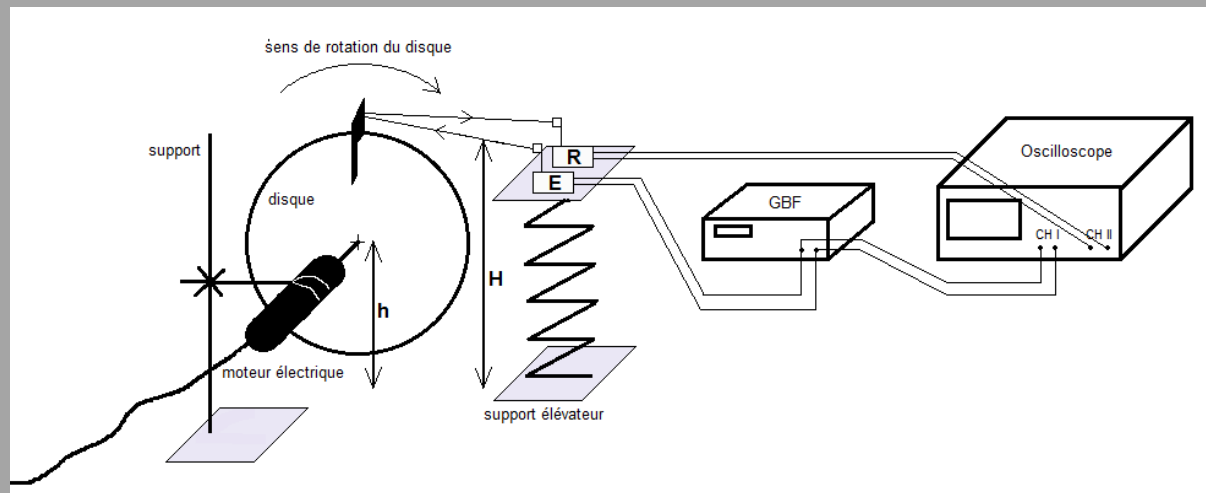


Dans le cas où la vitesse de l'obstacle, v_{ob} , est faible par rapport à la célérité de l'onde v_{onde} , la fréquence f' du signal perçu par le récepteur dépend la fréquence f du signal émis, de la célérité de l'onde, v_{onde} , et de la vitesse de l'obstacle v_{ob} selon la formule :

$$f' = f \left(1 + \frac{2 v_{ob}}{v_{onde}} \right)$$

Je vous propose de vérifier cette formule avec le matériel dont nous disposons dans notre lycée. »

Ainsi, vous réalisez, avec votre professeur alors l'expérience suivante où E et R désignent un émetteur et un récepteur d'ultrasons :



- Sur un disque, vous attachez très solidement une lame de zinc selon un des rayons. Le centre du disque est ensuite fixé sur l'axe d'un moteur électrique. La lame de zinc ayant une masse non négligeable, on fixe un contre poids pour que le centre de gravité de l'ensemble {disque-lame-contre poids} soit confondu avec le centre du disque.
- Sur un support éleveur, se trouvent un émetteur et un récepteur d'ultrasons. L'émetteur est relié à un GBF délivrant une tension alternative sinusoïdale dont la fréquence f est proche de 40 kHz. Votre professeur vous précise alors que vous n'étudiez que les ondes qui se propagent horizontalement.
- Sur la voie I d'un oscilloscope à mémoire, on étudie le signal délivré par le GBF et, sur la voie II, on visualise le signal reçu par l'émetteur.

- Vous sélectionnez la base de temps $s_h = 50 \mu\text{s}.\text{div}^{-1}$. Pour la voie I, on choisit la sensibilité verticale $s_{v1} = 10 \text{ V}.\text{div}^{-1}$ et pour la voie II, la sensibilité verticale $s_{v2} = 100 \text{ mV}.\text{div}^{-1}$.
- Vous réglez la position du support élévateur et les orientations de l'émetteur et du récepteur d'ultrasons de manière à obtenir la meilleure détection possible par le récepteur des ondes ultrasonores réfléchies par la lame de zinc.

Question 5

Vous tournez à la main le disque de manière à provoquer une lente rotation de ce dernier. Décrire l'évolution du signal détecté par l'émetteur lors de la rotation du disque.

Question 6

Proposer un protocole expérimental permettant, avec ce dispositif, de mettre en évidence l'effet Doppler.

Avec votre professeur vous mettez en œuvre ce protocole.

Question 7

a) En utilisant les curseurs de l'oscilloscope, mesurez 18 périodes de la tension étudiée sur la voie I. Pourquoi mesurez-vous autant de périodes ? En déduire la fréquence, f , de l'onde périodique ultrasonore émise par l'émetteur.

b) En utilisant les curseurs de l'oscilloscope, mesurez 18 périodes de la tension étudiée sur la voie II. En déduire la fréquence, f' , de l'onde périodique ultrasonore détectée par le récepteur.

c) En utilisant la formule donnée par le professeur $f' = f \left(1 + \frac{2 v_{\text{ob}}}{v_{\text{onde}}} \right)$, calculez la vitesse, v_{ob} , de la partie de la lame responsable de la réflexion de l'onde ultrasonore sachant que $v_{\text{onde}} = 343 \text{ m}.\text{s}^{-1}$. (Célérité du son dans l'air à 20°C).

Vous désirez maintenant vérifier la vitesse de la partie de la lame, **supposée ponctuelle**, responsable de la réflexion de l'onde ultrasonore.

Votre professeur vous précise que l'on note H la hauteur, par rapport à la paillasse, à laquelle les ondes ultrasonores sont émises et h la hauteur à laquelle se trouve le centre du disque.

Question 8

Mesurer les hauteurs H et h . En déduire la distance notée R séparant le centre de rotation du disque et la partie de la lame, **supposée ponctuelle**, responsable de la réflexion de l'onde ultrasonore. Pour cela, votre professeur vous précise qu'on peut admettre que cette partie de la lame se trouve à la même hauteur que l'émetteur et le récepteur puisqu'on étudie une onde ultrasonore se propageant dans un plan horizontal.

Question 9

a) Sachant que la partie de la lame, **supposée ponctuelle**, responsable de la réflexion de l'onde ultrasonore effectue un tour complet pendant la durée T_{tour} que faut-il modifier dans l'expérience précédente pour mesurer précisément cette durée ?

b) Avec le professeur, mettre en œuvre cette modification et mesurer avec les curseurs de l'oscilloscope la durée T_{tour} .

c) Calculer la distance, L , parcourue par la partie de la lame, **supposée ponctuelle**, responsable de la réflexion de l'onde ultrasonore lorsque le disque effectue 1 tour ?

d) En déduire la vitesse $v_{\text{ob,th}}$ de cette partie de la lame.

e) Calculer l'écart relatif, $e = \frac{|v_{ob} - v_{ob, th}|}{v_{ob, th}}$. Conclure quant à la possibilité d'utiliser l'effet Doppler pour la mesure d'une vitesse.

Question 10

La formule utilisée pour obtenir la vitesse par effet Doppler, $f' = f \left(1 + \frac{2 v_{ob}}{v_{onde}}\right)$ n'est valable que si v_{ob} est faible devant

v_{onde} . Comparer $v_{ob, th}$ et v_{onde} , pour vérifier que cette condition est bien respectée dans l'expérience proposée.

On rappelle que $v_{onde} = 343 \text{ m.s}^{-1}$.

FICHE 3

Correction. Fiche à destination des enseignants

TS 6 c

Radar en vue

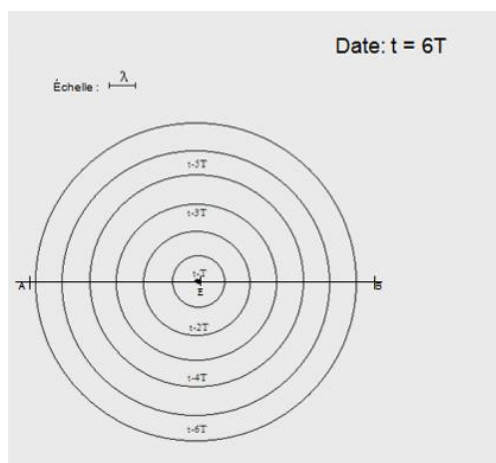
Question 1

Lorsque l'ambulance s'approche du micro, le son émis par la sirène est plus aigu. La fréquence augmente.
Lorsque l'ambulance s'éloigne du micro, le son émis par la sirène est plus grave. La fréquence diminue.

Le phénomène physique étudié est donc une modification de la fréquence lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur change.

Question 2

a)



b) On obtient des cercles concentriques centrés sur E dont les rayons sont des multiples de la longueur d'onde.

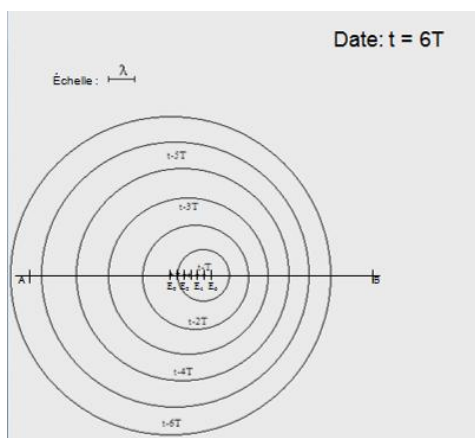
Question 3

La période T sépare l'émission de deux états vibratoires identiques successifs. La différence entre les rayons de deux cercles consécutifs est égale à la longueur d'onde. La longueur d'onde représente donc la distance parcourue par l'onde pendant une période.

Question 4

a) $c = \lambda f$

b)



c) Les lignes d'onde sur la demi-droite [EA) sont plus éloignées que celles obtenues dans le cas où l'émetteur E est immobile.

La longueur d'onde de l'onde perçue en A, λ'_A , est donc élevée que celle de l'onde émise par la source, λ . Comme la célérité de l'onde n'est pas modifiée (milieu non dispersif) la fréquence, f'_A de l'onde perçue au point A est plus faible que la fréquence, f , de l'onde émise au point E.

d) Les lignes d'onde sur la demi-droite [EB) sont plus rapprochées que celles obtenues dans le cas où l'émetteur E est immobile.

La longueur d'onde de l'onde perçue en B, λ'_B , est donc faible que celle de l'onde émise par la source, λ . Comme la célérité de l'onde n'est pas modifiée (milieu non dispersif) la fréquence, f'_B de l'onde perçue au point B est plus élevée que la fréquence, f , de l'onde émise au point E.

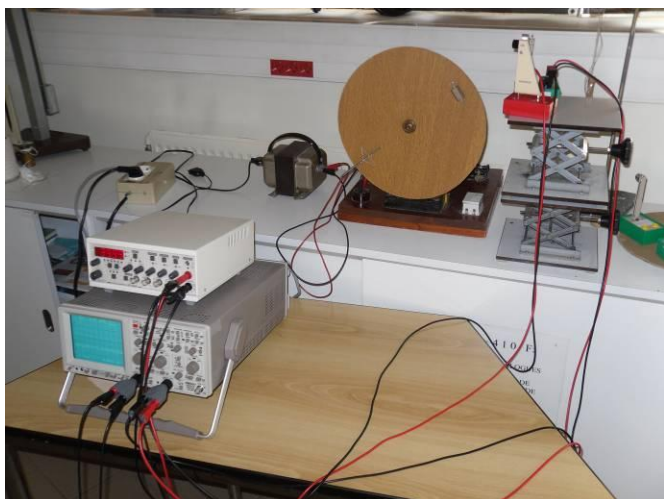
d) On retrouve les résultats établis à la question 2 :

Si l'émetteur se rapproche du récepteur, la fréquence de l'onde reçue est plus grande que celle de l'onde émise. (cas du point B)

Si l'émetteur s'éloigne du récepteur, la fréquence de l'onde reçue est plus petite que celle de l'onde émise. (cas du point A)

Question 5

Photos de l'expérience



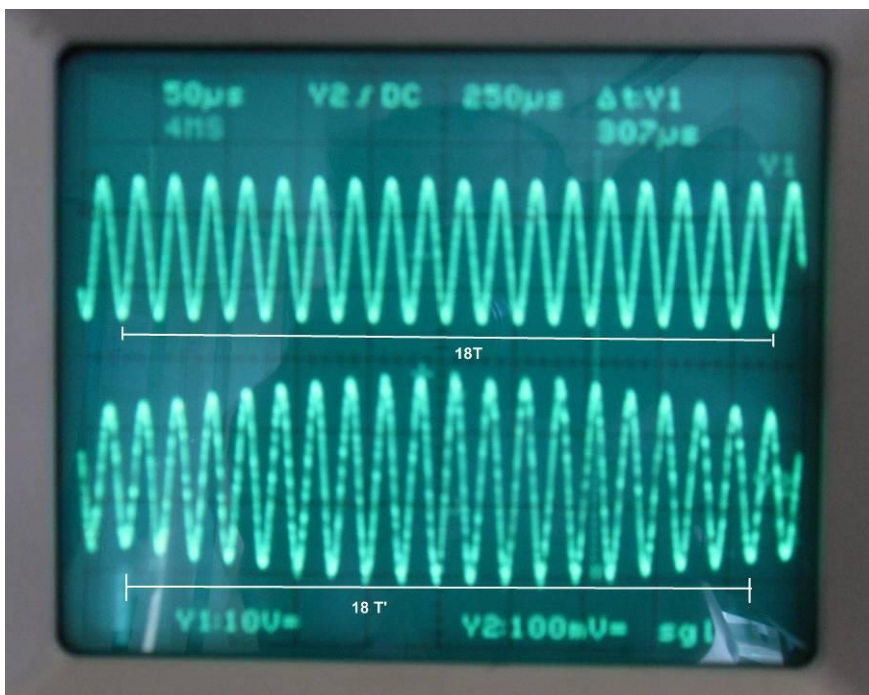
Lorsque la lame de zinc passe devant l'émetteur et le récepteur, un signal sinusoïdal est détecté par le récepteur. Il correspond à onde ultrasonore réfléchiée par la lame. Lorsque la lame occupe une autre position, aucun signal notable n'est détecté par le récepteur.

Question 6

On allume le moteur électrique pour provoquer une rotation uniforme et plus rapide du disque. Sur l'oscilloscope à mémoire, il sélectionne un déclenchement de l'acquisition de manière à enregistrer, sur la voie II, une tension lorsque l'amplitude de cette dernière est proche de sa valeur maximale.

Question 7

On mesure 18 périodes pour avoir un maximum de précision.



a) Avec le curseur réticule, on mesure $18 T = 451 \mu\text{s}$

$$\text{soit } f = \frac{1}{T} = \frac{18}{451 \cdot 10^{-6}} = 39,9 \cdot 10^3 \text{ Hz}$$

b) On mesure $18 T' = 435 \mu\text{s}$

$$\text{soit } f' = \frac{1}{T'} = \frac{18}{435 \cdot 10^{-6}} = 41,4 \cdot 10^3 \text{ Hz}$$

c) On a

$$f' = f \left(1 + \frac{2 v_{\text{ob}}}{v_{\text{onde}}} \right)$$

$$\frac{2 v_{\text{ob}}}{v_{\text{onde}}} = \frac{f'}{f} - 1 = \frac{f' - f}{f}$$

$$v_{\text{ob}} = \frac{v_{\text{onde}}}{2} \times \frac{f' - f}{f}$$

$$v_{\text{ob}} = \frac{343}{2} \times \frac{41,4 \cdot 10^3 - 39,9 \cdot 10^3}{39,9 \cdot 10^3} = 6,31 \text{ m.s}^{-1}$$

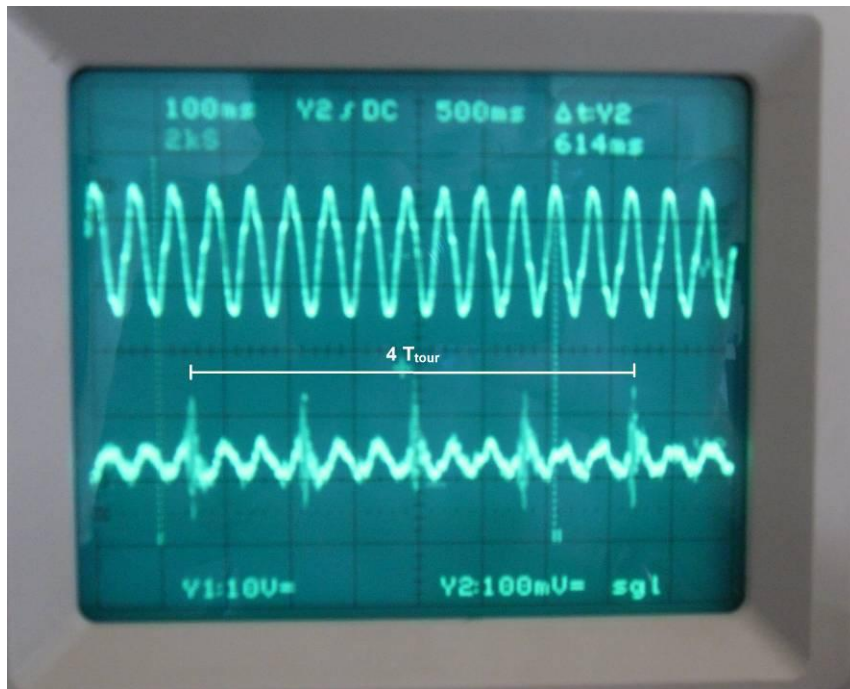
Remarque : les calculs sont effectués sans arrondir sur la calculatrice et en affichant 3 chiffres significatifs respectant ainsi la précision apportée par l'utilisation des curseurs.

Question 8

La mesure de H et h permet d'obtenir R. Avec le dispositif utilisé, on a :

$$R = H - h = 18,3 \text{ cm}$$

Question 9



a) Il faut augmenter la valeur de la base de temps, s_h , de l'oscilloscope car la période de rotation du disque est beaucoup plus importante que la période de l'onde ultrasonore. On choisit la sensibilité horizontale :

$$s_h = 100 \text{ ms.div}^{-1}$$

b) Avec le curseur réticule, on mesure $4 T_{\text{tour}}$.

On obtient : $4 T_{\text{tour}} = 696 \text{ ms}$ soit $T_{\text{tour}} = \frac{696}{4} = 174 \text{ ms}$

c) $L = 2 \pi R = 2 \pi \times 0,183 = 1,15 \text{ m}$

d) $v_{\text{ob,th}} = \frac{2 \pi R}{T_{\text{tour}}} = \frac{1,15}{174 \cdot 10^{-3}} = 6,61 \text{ m.s}^{-1}$

e) $e = \frac{|v_{\text{ob}} - v_{\text{ob,th}}|}{v_{\text{ob,th}}} = \frac{|6,31 - 6,61|}{6,61} = 4,54 \cdot 10^{-2} = 4,54 \%$

L'écart relatif est relativement faible. On peut donc utiliser l'effet Doppler pour mesurer une vitesse en veillant à utiliser des dispositifs qui permettent de mesurer très précisément des fréquences.

Question 10

$\frac{v_{\text{onde}}}{v_{\text{ob,th}}} = \frac{343}{6,61} = 51,2$. La vitesse théorique de l'obstacle est environ 50 fois plus faible que la célérité de l'onde. La

condition concernant la vitesse de l'obstacle par rapport à la célérité de l'onde est bien respectée.