EXERCICE 3 : RADARS... ET EFFET DOPPLER (4 points)

L'effet Doppler fut présenté par Christian Doppler en 1842 pour les ondes sonores puis par Hippolyte Fizeau pour les ondes électromagnétiques en 1848. Il a aujourd'hui de multiples applications.

Un radar de contrôle routier est un instrument servant à mesurer la vitesse des véhicules circulant sur la voie publique à l'aide d'ondes radar. Le radar émet une onde continue qui est réfléchie par toute cible se trouvant dans la direction pointée. Par effet Doppler, cette onde réfléchie possède une fréquence légèrement différente de celle émise : plus grande fréquence pour les véhicules s'approchant du radar et plus petite pour ceux s'en éloignant.
En mesurant la différence de fréquence entre l'onde émise et celle réfléchie, on peut calculer la vitesse de la «cible».
Mais les radars Doppler sont utilisés dans d'autres domaines…
En météorologie, le radar Doppler permet d'analyser la vitesse et le mouvement des perturbations et de fournir des prévisions de grêle, de pluies abondantes, de neige ou de tempêtes.
En imagerie médicale, le radar Doppler permet d'étudier le mouvement des fluides biologiques. Une sonde émet des ondes ultrasonores et ce sont les globules rouges qui font office d'obstacles et les réfléchissent. L'analyse de la variation de la fréquence des ondes réfléchies reçues par cette même sonde permet ainsi de déterminer la vitesse du sang dans les vaisseaux.

D'après le site : www.over-blog.com

Cet exercice propose d'étudier le principe de l'effet Doppler sonore. Pour simplifier cette approche, la réflexion de l'onde sur l'obstacle ne sera pas prise en compte.
Par ailleurs, on rappelle que plus la fréquence est élevée, plus le son est aigu.

1. Un véhicule muni d'une sirène est immobile.

La sirène retentit et émet un son de fréquence f = 680 Hz. Le son émis à la date t = 0 se propage dans l'air à la vitesse c = 340 m.s^{-1} à partir de la source S. On note λ la longueur d'onde correspondante.
La **figure 1** ci-dessous représente le front d'onde à la date $t = 4\ T$ (T étant la période temporelle de l'onde sonore.)

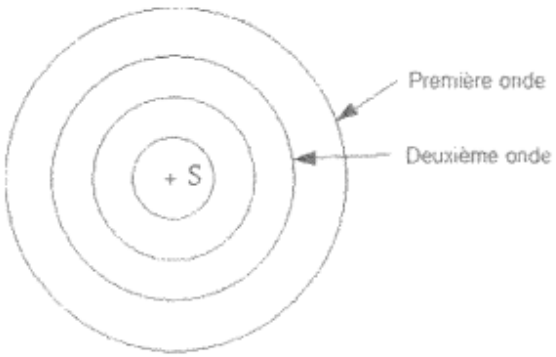


Figure 1

Répondre par «vrai» ou «faux» aux sept affirmations suivantes en justifiant son choix.

1.1. Une onde sonore est une onde transversale.

1.2. Une onde mécanique se propage dans un milieu matériel avec transport de matière.

1.3. La longueur d'onde est indépendante du milieu de propagation.

1.4. Un point M distant du point S d'une longueur égale à 51,0 m du milieu reproduit le mouvement de la source S avec un retard Δt =1,5 s.

1.5. Le front d'onde a parcouru d = 40.0 m à la date $t = 3T$.

1.6. Deux points situés à la distance d' = 55,0 m l'un de l'autre dans la même direction de propagation vibrent en phase.

1.7. L'onde se réfléchit sur un obstacle situé à la distance d'' = 680 m de la source. L'écho de l'onde revient à la source 2,0 s après l'émission du signal.

2. Le véhicule se déplace maintenant vers la droite à la vitesse v inférieure à c.
La **figure 2** donnée ci-après représente le front de l'onde sonore à la date $t = 4\ T$.

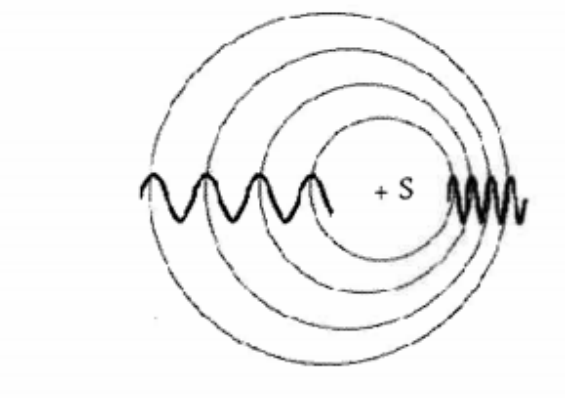


Figure 2

2.1. Donner la définition d'un milieu dispersif. L'air est-il un milieu dispersif pour les ondes sonores ?

2.2. Le véhicule se rapproche d'un observateur immobile.
Pendant l'intervalle de temps T, le son parcourt la distance λ. Pendant ce temps, le véhicule parcourt la distance $d = v.\ T$.
La longueur d'onde λ' perçue par l'observateur à droite de la source S a donc l'expression suivante :

$$\lambda' = \lambda - v.T \quad \textbf{(1)}$$

2.2.1. Rappeler la relation générale liant la vitesse de propagation, la longueur d'onde et la fréquence.

2.2.2. En déduire que la relation **(1)** permet d'écrire $f' = f \cdot \dfrac{c}{c - v}$ (f' étant la fréquence sonore perçue par l'observateur).

2.2.3. Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son d'origine ? Justifier.

2.3. Dans un deuxième temps, le véhicule s'éloigne de l'observateur à la même vitesse v.

2.3.1. Donner, sans démonstration, les expressions de la nouvelle longueur d'onde λ'' et de la nouvelle fréquence f'' perçues par l'observateur en fonction de f, v et c.

2.3.2. Le son perçu est-il plus grave ou plus aigu que le son d'origine ? Justifier.

2.4. Exprimer, puis estimer en $km.h^{-1}$, en arrondissant les valeurs à des nombres entiers, la vitesse du véhicule qui se rapproche de l'observateur sachant que ce dernier perçoit alors un son de fréquence $f' = 716$ Hz.