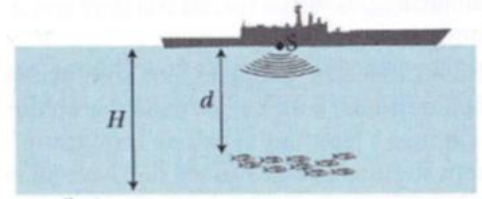


TD Chapitre S1 : Propagation d'un signal.

Exercice 1 : Sonar.

Le sonar est un dispositif immergé dans l'eau qui envoie en direction des fonds marins un signal ultrasonore. Les ondes ultrasonores sont réfléchies par le sol du fond marin et sont détectées à leur retour par le sonar qui enregistre la durée Δt mise par les ultrasons pour effectuer l'aller-retour. Cette mesure permet de déduire la distance séparant le sonar du fond marin : on accède ainsi à la profondeur H .

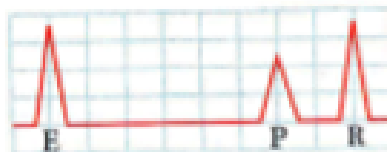


La célérité des ultrasons dans l'eau est égale à $c_{\text{eau}} = 1,5 \cdot 10^3 \text{ m.s}^{-1}$. L'émetteur délivre un signal de très courte durée. La fréquence f des ultrasons est égale à $4,0 \cdot 10^4 \text{ Hz}$.

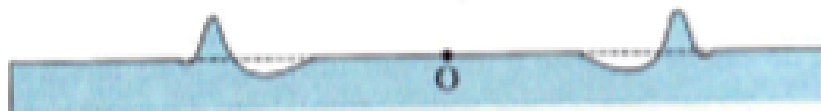
- 1) Un bateau de pêche dispose d'un sonar immergé sous la surface de l'eau au point S de sa coque. Lors de la première mesure, un marin enregistre à l'aide d'un dispositif adapté le signal émis (E) ainsi que le signal capté après réflexion sur le fond marin (R). Il obtient l'écran représenté sur la figure suivante, où la valeur d'une division horizontale est égale à $8,0 \text{ ms}$.



- Calculer la profondeur H .
 - Calculer la longueur d'onde λ des ultrasons utilisés.
- 2) Ce même bateau détecte un banc de poisson situé juste en dessous de la coque : le dispositif enregistre le signal émis (E), le signal réfléchi sur la partie supérieure du banc de poisson (P) et celui réfléchi sur le fond marin (R). Calculer la profondeur d .



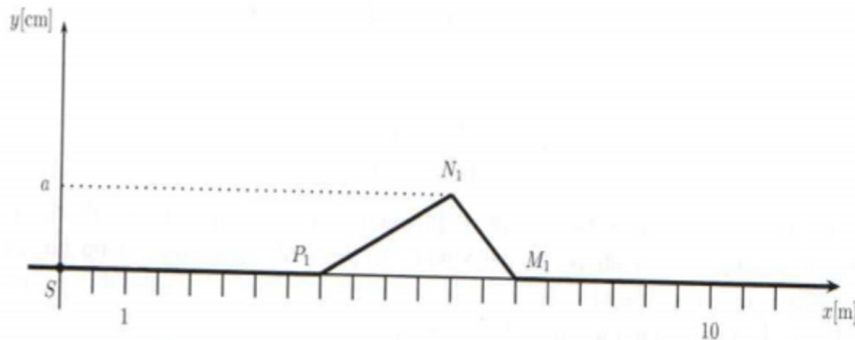
- 3) Une fois les poissons détectés, quelques-uns sont pêchés et stockés dans un aquarium circulaire destiné à un musée océanographique. Sur le pont du bateau, un marin s'amuse à jeter dans l'eau de l'aquarium de petits cailloux. Ces cailloux génèrent des ondes à la surface de l'eau et se propagent dans toutes les directions offertes par le milieu. La figure suivante donne une vue en coupe de l'onde créée par un des cailloux à l'instant t . Sur la figure, O est le point source, c'est-à-dire le point de la surface où est créée l'onde.



- L'onde créée est-elle transversale ou longitudinale ? Justifier la réponse.
- Le marin constate que la vaguelette générée au centre de l'aquarium circulaire atteint le bord situé à $D = 1,5 \text{ m}$ au bout d'une durée égale à $\Delta t = 6,0 \text{ s}$. Calculez la célérité c' de l'onde.

Exercice 2 : La corde élastique.

On étudie la propagation sans amortissement d'une perturbation le long d'une corde élastique. A la date $t = 0,00$, le front de l'onde quitte le point S de la corde.



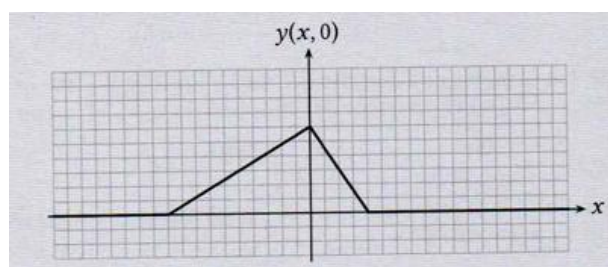
Aspect de la corde à l'instant $t_1 = 2,30$ s.

À la date $t_1 = 2,30$ s, on prend un cliché de la corde, la figure ci-dessus reproduit le cliché avec deux échelles de longueurs différentes suivant l'axe des abscisses et celui des ordonnées. On note M_1 la position du front de l'onde à la date t_1 , N_1 celle de la crête et P_1 celle de la queue de l'onde.

- 1) Calculer la célérité de l'onde le long de la corde.
- 2) Quelle est la durée τ du mouvement d'un point de la corde au passage de l'onde ?
- 3) À la date t_1 , quels sont les points de la corde qui s'élèvent ? Ceux qui descendent ?
- 4) Dessiner sur un graphique semblable à celui de la figure l'aspect de la corde à la date $t_2 = 3,60$ s.
- 5) Soit le point Q de la corde situé à 12,0 m du point S.
 - a) À quelle date t_3 commence-t-il à bouger ?
 - b) À quelle date t_4 passe-t-il par un maximum d'altitude ?
 - c) À quelle date t_5 cesse-t-il de bouger ?
 - d) À l'aide des résultats précédents, schématiser l'allure de la courbe $y_Q = f(t)$ où y_Q représente l'élongation du point Q à la date t .

Exercice 3 : Propagation d'une onde sur une longue corde tendue.

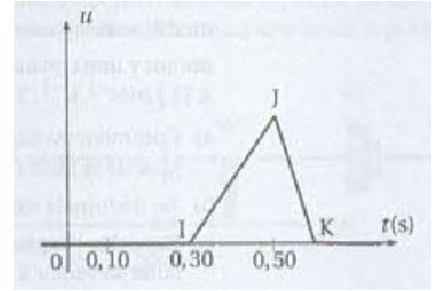
Une onde progressive se propage sur une longue corde tendue. Une photo à l'instant $t = 0$ de l'élongation y de la corde est représentée sur la figure ci-dessous. Une graduation d'abscisse représente 5,0 cm et une graduation d'ordonnée représente 1,0 cm. L'onde se propage suivant les x croissants, c'est-à-dire de la gauche vers la droite, en gardant le même profil, à la célérité $c = 50$ cm.s⁻¹.



- 1) Représenter le profil spatial de la corde à l'instant $t = 1,0$ s.
- 2) Représenter le profil temporel de l'élongation $y(x_A, t)$ en un point A d'abscisse $x_A = 40$ cm. On prendra une échelle sur l'axe temporel où une graduation représente 0,20 s.
- 3) Même question en un point B d'abscisse $x_B = -40$ cm.
- 4) Donner l'expression de l'élongation $y(x, 0)$ à l'instant $t = 0$ sous forme d'une fonction affine par morceau.

Exercice 4 : Analyse d'un signal à partir de son allure à un instant donné.

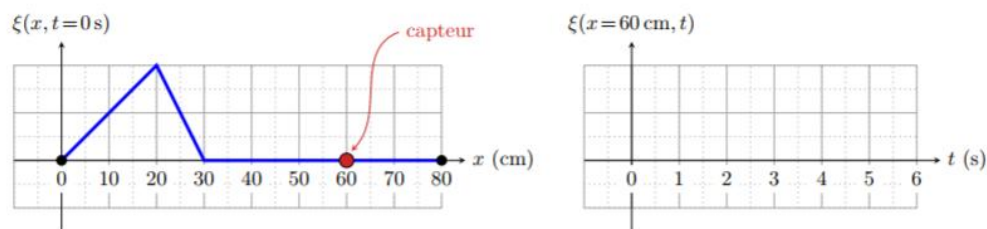
On observe en un point M la position transversale $u(t)$ d'une corde sous l'influence de la propagation d'une onde se propageant à la célérité $c = 40 \text{ m.s}^{-1}$ le long de la corde. On obtient l'allure ci-contre :



- 1) À quelle date le signal est-il arrivé en M ? A quelle date en est-il reparti ?
- 2) Sachant que le signal est parti de l'origine à l'instant $t = 0,0\text{s}$. Déterminer à quelle distance de O se trouve le point M.
- 3) Représenter l'évolution transversale de la corde en O.

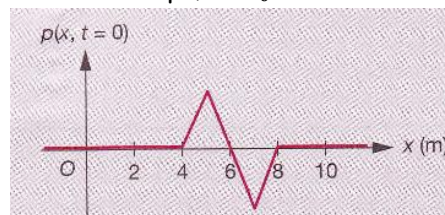
Exercice 5 : Représentations d'une onde sur une corde.

La figure ci-dessous est la représentation spatiale d'une onde à l'instant $t = 0,0 \text{ s}$. Cette onde se propage dans le sens des x croissants à la célérité $c = 20 \text{ cm.s}^{-1}$. Un capteur est situé en $x = 60 \text{ cm}$. Compléter le chronogramme du signal reçu par le capteur.



Exercice 6 : Évolution temporelle d'une onde.

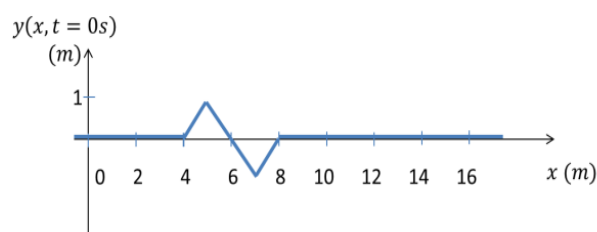
Pour l'onde $p(x, t = 0)$ représentée sur la figure ci-dessous et se propageant à la célérité $c = 1,0 \text{ m.s}^{-1}$ selon l'axe Ox, tracer l'évolution de $p(x_0, t)$ en fonction du temps, où $x_0 = 10 \text{ m}$.



Exercice 7 : Propagation d'une onde.

Soit l'onde $y(x, t)$ représentée ci-dessous à l'instant initial, en fonction de x . Cette onde se propage à une vitesse $c = 2,0 \text{ m.s}^{-1}$.

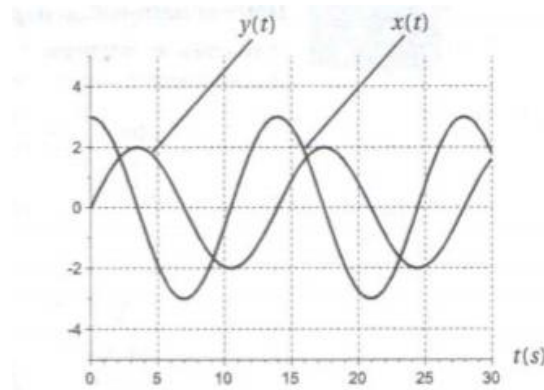
- 1) Tracer sur le même graphique $y(x, t = 2,0 \text{ s})$ et $y(x, t = 5,0 \text{ s})$
- 2) Tracer $y(x_0, t)$ en fonction du temps, avec $x_0 = 10\text{m}$.



Exercice 8 : Estimer les caractéristiques de signaux sinusoïdaux.

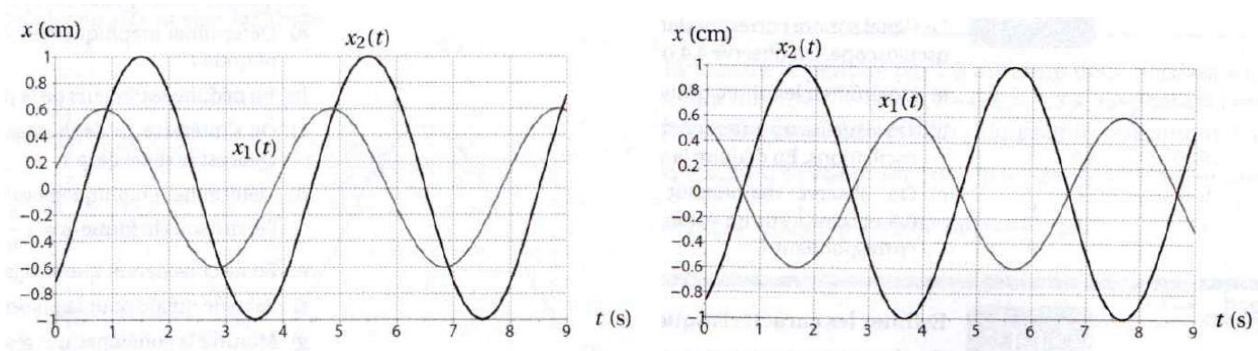
On observe les signaux $x(t)$ et $y(t)$ représentés ci-dessous.

- 1) Déterminer la fréquence des signaux x et y .
- 2) Indiquer lequel des signaux x et y est en avance sur l'autre.



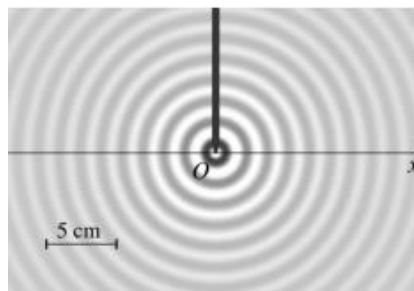
Exercice 9 : Lecture graphique d'un déphasage.

On considère les courbes suivantes représentant deux signaux sinusoïdaux. Dans chaque cas, déterminer la valeur numérique du déphasage du signal $x_2(t)$ par rapport au signal $x_1(t)$.



Exercice 10 : Cuve à ondes.

La figure ci-dessous représente la surface d'une cuve à ondes éclairée en éclairage stroboscopique bien accordé. L'onde est générée par un vibreur de fréquence $f = 20 \text{ Hz}$. L'image est claire là où la surface de l'eau est convexe (en bosse) et foncée là où elle est concave (en creux). Ainsi, le niveau de gris indique la hauteur d'eau dans la cuve.



- 1) Déterminer la longueur d'onde
- 2) En déduire la célérité de l'onde.

- 3) On suppose l'onde sinusoïdale, d'amplitude A constante et de phase initiale nulle en O . Ecrire le signal $s(x, t)$ pour $x > 0$ et pour $x < 0$.
- 4) Expliquer pourquoi A n'est en fait pas constante.

Exercice 11 : Ondes électromagnétiques.

- 1) Les ondes radar ont une longueur d'onde comprise entre $\lambda_1 = 3,0 \text{ cm}$ et $\lambda_2 = 1,0 \text{ m}$. Déterminer la fréquence de ces ondes électromagnétiques se propageant à la vitesse de la lumière.
- 2) On considère une onde radar harmonique progressive se propageant selon un axe Oz dans le sens des z croissants. Donner l'expression mathématique de la grandeur physique de ce signal qu'est le vecteur champ électrique sachant qu'il est orienté selon l'axe Oy . On justifiera précisément la forme de cette expression.
- 3) Déterminer la position des points qui vibrent en phase avec l'origine.
- 4) Même question pour ceux qui vibrent en opposition de phase avec l'origine.

Exercice 12 : Ondes progressives monochromatiques.

- 1) Soit une onde telle que $s(x, t) = s_m \cdot \cos(4,0\pi t + 8,0\pi x - 3,0)$. Déterminer sa période temporelle T , sa période spatiale λ et sa vitesse c . Se propage-t-elle dans le sens des x croissants ou décroissants ?
- 2) Soit une onde telle que $s(3,0; t) = 4,0 \cdot \cos(6,0\pi t + 2,0)$. Déterminer sa période temporelle T . En déduire l'expression de $s(x, t)$ si elle se propage dans le sens des x croissants à la vitesse $c = 2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- 3) En $x = 0$, on émet à un instant $t > 0$ une onde de longueur d'onde λ , de période temporelle T , se propageant dans le sens des x croissants et telle que $s(0, t) = s_m \cdot \sin(\omega t)$. Représenter l'évolution de l'onde au cours du temps telle que l'enregistre un récepteur situé à $x = 2\lambda$ puis l'allure spatiale de l'onde à l'instant $t = 3,0T$.
- 4) À partir de l'expression précédente de $s(0, t)$, quelle est la forme du signal $s(x, t)$? En déduire alors $s\left(\frac{\lambda}{2}, t\right)$ en fonction de s_m , ω et t . Quel est le déphasage de ce signal par rapport à $s(0, t)$? Montrer que cela était évident sans calcul. Faire de même pour $s\left(\frac{3\lambda}{4}, t\right)$.

Exercice 13 : Spectre d'un produit de fonctions sinusoïdales.

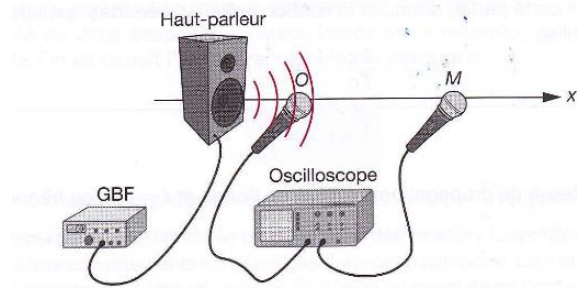
On considère le signal : $s(t) = A \cdot \cos(2\pi f_1 t) \cdot \cos(2\pi f_2 t + \varphi)$ où A et φ sont des constantes.

- 1) En utilisant la formule trigonométrique $\cos a \cdot \cos b = \frac{1}{2}(\cos(a + b) + \cos(a - b))$ déterminer les fréquences contenues dans $s(t)$. Représenter son spectre d'amplitude et de phase.
- 2) Examiner le cas où $f_1 = f_2$.

Exercice 14 : Mesure de vitesse de propagation.

Un haut-parleur est alimenté par un générateur basse fréquence (GBF). Le haut-parleur est un dispositif permettant de transformer un signal électrique en signal acoustique. Il est placé de manière à engendrer une onde acoustique progressive sinusoïdale se propageant selon l'axe Ox . Un premier microphone est placé à proximité du haut-parleur en un point O choisi comme origine. Le fonctionnement d'un microphone est l'inverse de celui d'un haut-parleur, c'est-à-dire qu'il transforme un signal acoustique en tension. La tension ainsi délivrée par ce microphone est envoyée sur la voie 1 d'un oscilloscope. Un second microphone est mobile le long de l'axe Ox et la

tension qu'il délivre est envoyée sur la voie 2 de l'oscilloscope. Les deux signaux des deux microphones sont alors observés en mode bicourbe.



Le microphone mobile est initialement placé en O, au même endroit que le premier. On observe alors sur l'écran de l'oscilloscope la figure 1. Les deux signaux délivrés par les microphones sont identiques : même fréquence et en phase.

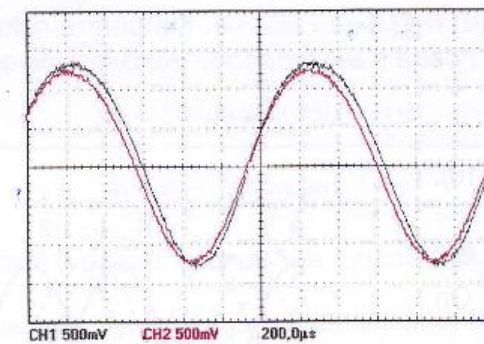
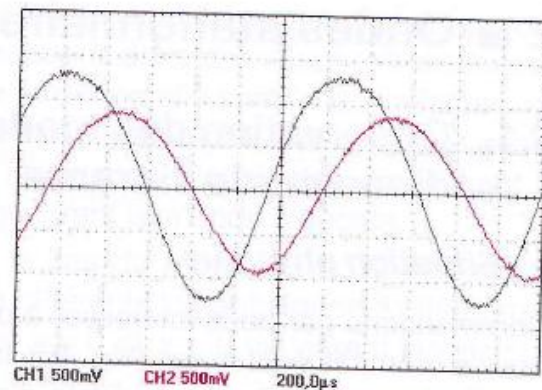
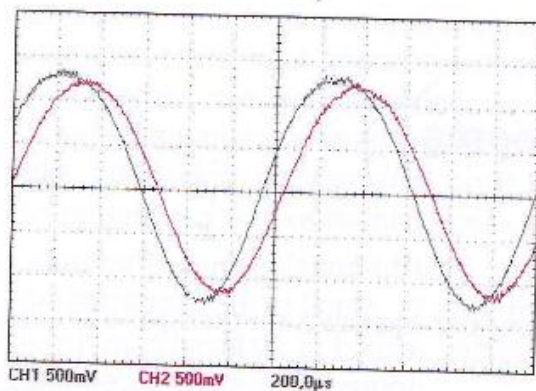


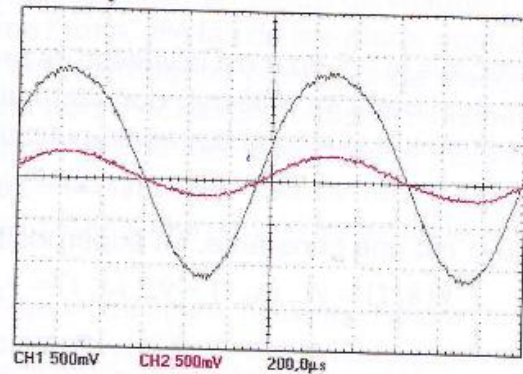
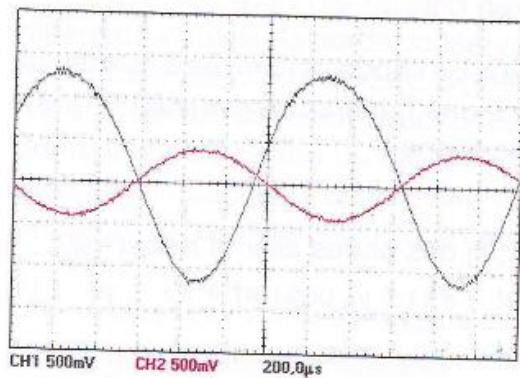
Figure 1

1) Quelle est la fréquence ν de l'onde ?

Lorsque le microphone est progressivement déplacé dans la direction des x croissants, l'onde en M prend du retard par rapport à celle en O et les deux signaux sont en général déphasés. Le retard et le déphasage qui en découlent sont dus à la durée nécessaire à la propagation de l'onde entre les deux points O et M. Ainsi, en considérant des points d'éloignement croissant, le déphasage entre l'onde en M et l'onde en O est croissant sur les figures 2, 3, 4 et 5. C'est ainsi que l'on met en évidence une onde progressive.



Figures 2 & 3



Figures 4 & 5.

L'amplitude de l'onde est de plus en plus faible au cours de sa propagation. Cela peut être dû à l'absorption de l'air entre O et M , mais surtout à la répartition de l'onde sur une plus grande zone de l'espace au cours de sa propagation.

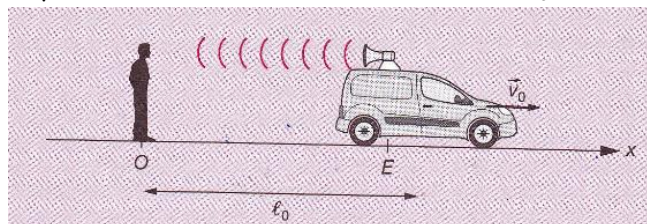
On note aussi la présence de parasites, liés aux imperfections du microphone et au bruit de fond.

Les quatre graphes des figures 2, 3, 4 et 5 présentent en bicourbe les tensions délivrées par le microphone en O et le microphone situé respectivement en quatre points d'abscisses $x_1, x_2, x_3 = 21$ cm et x_4 .

- 2) Quelle est la longueur d'onde de l'onde sonore ?
- 3) Que vaut la vitesse de propagation c de l'onde sonore ?
- 4) Déterminer les abscisses x_2 et x_4 .

Exercice 15 : Effet Doppler (d'après CCINP)

Un émetteur en E émet une onde sonore se propageant à la vitesse c . Cet émetteur se déplace à la vitesse constante v_0 selon l'axe Ox et la position initiale de l'émetteur est $OE = l_0$. Un récepteur est fixe en O .



- 1) En imaginant que l'émetteur émet un bip tous les T , trouver les dates de réception des différents bips par le récepteur.
- 2) Montrer que le récepteur reçoit les bips tous les T' et exprimer T' en fonction de T , v_0 et c . Ce résultat constitue l'effet Doppler.
- 3) Commenter le sens physique de l'effet Doppler. Comment se débrouiller pour que la période T' perçue par le récepteur soit plus faible que T ?