

CHAPITRE 4 : L'EFFET DOPPLER

Pierre-André LABOLLE

Lycée International des Pontonniers

Octobre 2016

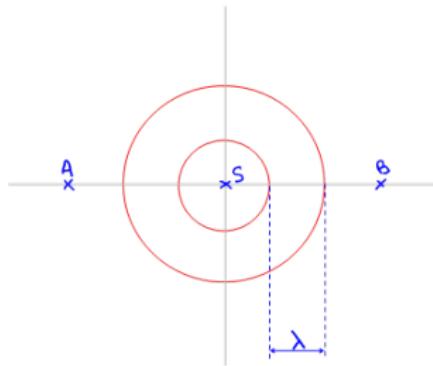
Introduction

- L'effet Doppler est un phénomène physique dont les manifestations ont permis des avancées considérables dans des domaines différents comme la médecine, l'étude de l'Univers...
- Quelques exemples d'application : contrôle de la vitesse des automobiles, compréhension de l'expansion de l'Univers, son "déformé" que fait une voiture de course en passant devant une tribune, mesure de mobilité des spermatozoïdes, échographies permettant de détecter les battements du cœur d'un fœtus...

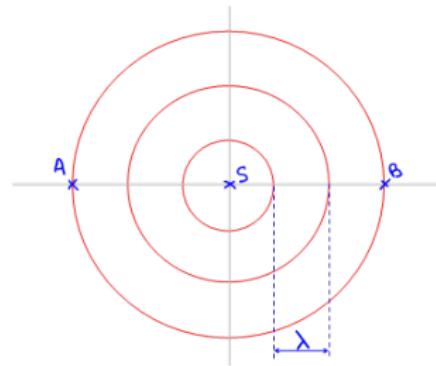
I. Cas d'une source et de récepteurs tous au repos

- Soient S une source, fixe dans le référentiel d'étude, émettrice d'une onde sonore de période T_E , de fréquence f_E se propageant à la célérité v .
- La longueur d'onde de cette onde est donnée par : $\lambda_E = v \cdot T_E = \frac{v}{f_E}$
- On considère deux observateurs A et B , eux aussi immobiles dans le référentiel d'étude, situés à égale distance de la source.

I. Cas d'une source et de récepteurs tous au repos



Situation à la date $t = 2T_E$

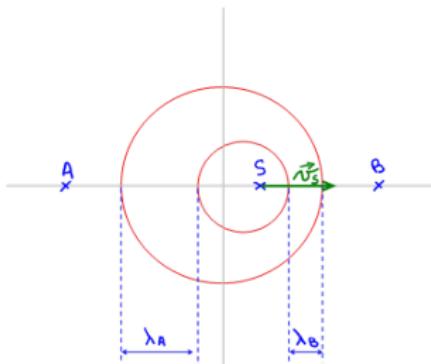


Situation à la date $t = 3T_E$

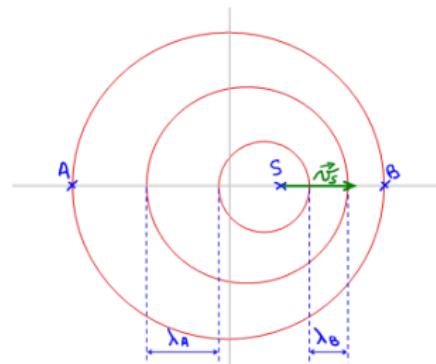
- Les observateurs A et B sont touchés par l'onde au même instant.
- Ils perçoivent toutes les deux une onde sonore de fréquence f_E et de longueur d'onde λ_E

II. Cas d'une source en mouvement et de récepteurs au repos

- La source S est à présent animée d'un mouvement rectiligne uniforme en direction de l'observateur B ; elle s'éloigne donc de A .



Situation à la date $t = 2T_E$



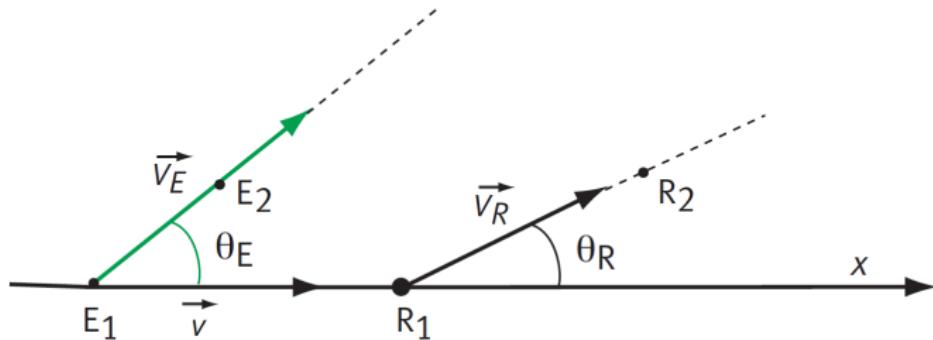
Situation à la date $t = 3T_E$

II. Cas d'une source en mouvement et de récepteurs au repos

- L'observateur A reçoit à présent une onde de longueur d'onde supérieure à λ_E donc de période plus grande que T_E et de fréquence plus petite que f_E . Il perçoit un son plus grave.
- L'observateur B , quant à lui, reçoit une onde de longueur d'onde inférieure à λ_E donc de période plus petite que T_E et de fréquence plus grande que f_E . Il perçoit un son plus aigu.
- Ce phénomène est appelé effet Doppler.
- http://www.onera.fr/sites/default/files/ressources_documentaires/cours-exposes-conf/lumiere/observation-detection-identification.swf

III. Décalage Doppler

- Soit un émetteur E animé d'une vitesse \vec{v}_E et un récepteur R animé d'une vitesse \vec{v}_R de direction quelconque par rapport à l'axe (ER).



III. Décalage Doppler

- On démontre dans ce cas que le décalage en fréquence observé est tel que :

$$f_R = \frac{\left[1 - \frac{v_R \cdot \cos \theta_R}{v} \right]}{\left[1 - \frac{v_E \cdot \cos \theta_E}{v} \right]} \cdot f_E$$

- Si le récepteur est immobile ($v_R = 0$) et que la source se déplace dans la direction (ER) en s'éloignant de R ($\theta_E = \pi$), alors cette relation devient :

$$f_R = \frac{1}{\left[1 + \frac{v_E}{v} \right]} \cdot f_E$$

- Si l'émetteur E est immobile ($v_E = 0$) et que le récepteur se déplace dans la direction (ER) en s'éloignant de E ($\theta_R = 0$), alors cette relation devient :

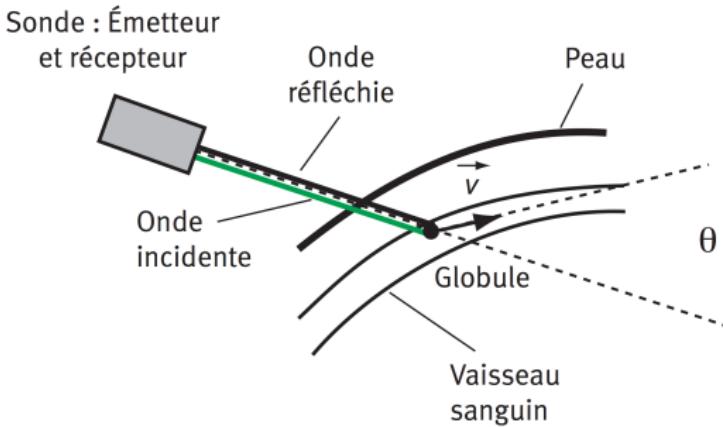
$$f_R = \left[1 - \frac{v_R}{v} \right] \cdot f_E$$

- Etc !!!

IV. Applications

1. Vélocimétrie à ultrasons

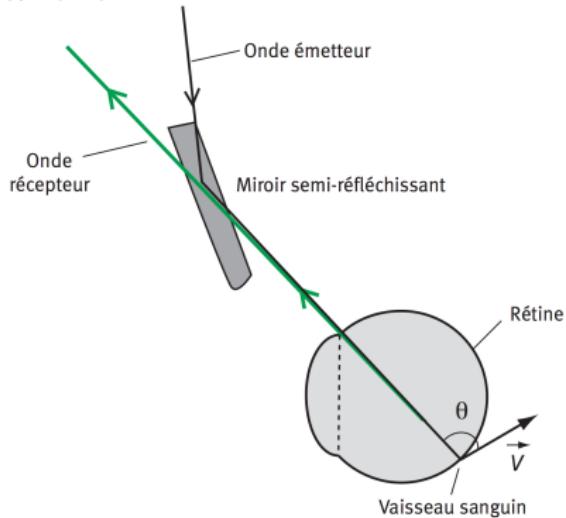
- Une sonde à ultrasons joue le rôle d'émetteur et de récepteur, la célérité des ultrasons étant égale à v .
- Lorsque les ultrasons arrivent sur les globules sanguins présents dans les vaisseaux, ces globules renvoient les ultrasons vers la sonde qui détecte un décalage en fréquence lié à la vitesse des globules, devenus sources d'ondes ultrasonores par réflexion.
- La connaissance de la vitesse des globules permet de détecter des rétrécissements éventuels des vaisseaux sanguins.



IV. Applications

2. Vélocimétrie optique

- La vitesse d'écoulement du sang dans les petits vaisseaux sanguins de la rétine peut aussi être déterminée par une méthode analogue.
- On analyse un faisceau laser qui ressort de l'œil après avoir été renvoyé par les globules des vaisseaux irriguant la rétine.
- Cette technique est notamment utilisée dans l'étude de l'influence de la glycémie sur la fonction rétinienne.



IV. Applications

3. Applications en astrophysique

- Les corps célestes étant en mouvement et l'étude des spectres de raies en provenance de ces objets fait état du décalage des longueurs d'onde observées.
- En mesurant ce décalage Doppler, il est possible de déduire la vitesse de l'objet céleste (voir T.P.)
- L'analyse spectrographique de la lumière reçue des galaxies lointaines montre systématiquement un décalage Doppler-Fizeau vers le rouge (redshift) qui permet de connaître les vitesses radiales d'éloignement de ces galaxies.
- La connaissance des distances nous séparant de ces galaxies et de leur vitesse a permis d'établir la loi de Hubble qui indique une proportionnalité entre ces deux grandeurs, nous indiquant que plus une galaxie est éloignée, plus sa vitesse d'éloignement est grande.
- Cette loi est en accord avec la théorie de l'expansion de l'Univers.