Compétences : Exploiter l'expression du décalage Doppler en acoustique pour déterminer une vitesse.

TP3 : Détermination d'une vitesse par effet Doppler

Objectif du TP : Déterminer la vitesse v d'un véhicule à partir de l'effet Doppler et de deux enregistrements sonores d'un même klaxon :

- lorsque le véhicule est à l'arrêt ;
- lorsque le véhicule est en mouvement.

Identifier les deux enregistrements

Avec **Audacity**, ouvrir et écouter les deux fichiers audio.

1. Indiquer lequel correspond au véhicule **à l'arrêt** et celui correspondant au véhicule **en mouvement**.

Déterminer la fréquence du klaxon à l'arrêt par deux méthodes

Avec **Audacity** :

2. À partir du signal temporel, mesurer la fréquence fondamentale f_E lorsque le véhicule est à l'arrêt. Effectuer les mesures nécessaires pour obtenir la valeur la plus précise possible.

3. Le klaxon émet-il un son pur ou un son complexe ? Justifier votre réponse à partir de l'observation du signal temporel.

Cette fois-ci avec **Regressi :**

4. Réaliser **le spectre de Fourier** du klaxon à l'arrêt. Identifier la fréquence fondamentale f_E en examinant les relations entre les fréquences des différents pics.

Analyse spectrale du klaxon en mouvement

5. Avec **Regressi**, réaliser le **spectre de Fourier** du klaxon lorsque le véhicule s'approche. Identifier la **fréquence fondamentale** f_R du son reçu, en s'appuyant sur la répartition des harmoniques.

6. Le son du klaxon d'un véhicule qui s'approche est plus aigu ou plus grave que celui émis lorsque le véhicule est à l'arrêt ?

Modèle de Doppler

Pour un véhicule qui **s'approche** de l'observateur, la fréquence reçue f_R est donnée, dans un modèle simplifié [1], par :

$$f_R = \frac{f_E}{1-\frac{v}{c}} \quad \text{relation Ⓐ}$$

où

- f_E est la fréquence émise (véhicule à l'arrêt),
- c est la vitesse du son dans l'air, $c = 340\ \text{m.s}^{-1}$
- v est la vitesse du véhicule (émetteur qui roule vers le récepteur)

7. À partir de la relation de Doppler Ⓐ, isoler v et établir l'expression littérale de la vitesse en fonction de f_E , f_R et c.

8. Calculer la valeur numérique de v puis exprimer la vitesse en km.h^{-1}.

[1]
- Le récepteur est immobile.
- La source se déplace vers le récepteur en suivant un mouvement rectiligne uniforme à la vitesse *v* sur la durée de mesure.
- La source émet des ondes périodiques (mécaniques ou électromagnétiques) de même fréquence f_E se propageant à une même célérité *c* (bien) supérieure à *v*.

Définition de décalage Doppler

Le décalage en fréquence est : $\Delta f = f_R - f_E$

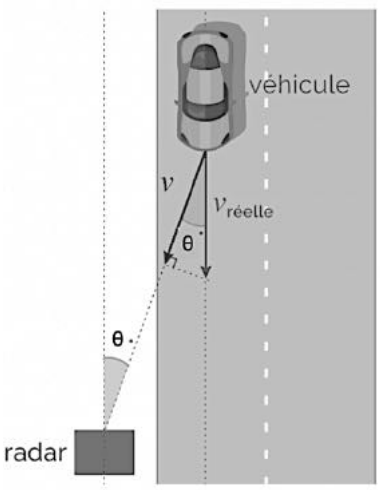
9. Donner l'expression de Δf en fonction de f_E , v et c.

10. Montrer que lorsque $v \ll c$ (approximation faible vitesse) , on obtient : $\Delta f = f_E \times \frac{v}{c}$.

Radar routier et effet Doppler

Dans le cas d'un **radar routier**, lorsqu'un véhicule s'approche du radar, le décalage Doppler observé est donné approximativement par :

$$\Delta f \approx f_E \times \frac{2 \times v_{réelle} \times \cos(\theta)}{c}$$



Ce qui change par rapport au cas précédent :

- Le radar émet une onde électromagnétique qui se réfléchit sur le véhicule avant de revenir vers le radar.
- L'onde subit donc deux décalages Doppler successifs :
  - **À l'aller :** lorsque l'onde émise par le radar atteint le véhicule en mouvement.
  - **Au retour :** lorsque l'onde réfléchie par le véhicule revient vers le radar.
- Ces deux décalages expliquent la présence du **facteur 2** dans la relation.

11. Pourquoi le décalage Doppler dépend-il de l'angle θ entre la direction de déplacement du véhicule et celle du faisceau radar ? Expliquer la présence du terme cos θ dans la relation.

Véhicule qui s'éloigne : relation Doppler

Lorsqu'un véhicule **s'éloigne d'un observateur immobile**, la fréquence de son reçu est donnée, dans un modèle simplifié [2] par :

$$f_R = \frac{f_E}{1+\frac{v}{c}} \quad \text{relation Ⓑ}$$

où v représente la vitesse d'éloignement du véhicule.

12. En comparant les relations Ⓐ (approche) et Ⓑ (éloignement), expliquer pourquoi le signe « − » devient « + » dans le dénominateur.

[2]
- Le récepteur est immobile.
- La source s'éloigne du récepteur en suivant un mouvement rectiligne uniforme à la vitesse *v* sur la durée de mesure.
- La source émet des ondes périodiques (mécaniques ou électromagnétiques) de même fréquence f_E se propageant à une même célérité *c* (bien) supérieure à *v*.