

Chapitre 4 - Propriétés des ondes: Interférences

Activité 1 – Écoute d'un même son avec deux haut-parleurs

Introduction au phénomène d'interférences avec des ondes sonores

But de l'activité

Discuter du sens du mot interférence de la vie quotidienne.

Introduire le phénomène d'interférences avec des ondes sonores et la perception auditive.

Compétences travaillées

| Compétences du BO | Commentaire |
|--|--|
| *** Connaître et exploiter les conditions d'interférences constructives et destructives pour des ondes monochromatiques | On introduit ici le phénomène des interférences à l'aide des ondes sonores. L'oreille suffit pour percevoir le phénomène d'interférences. En effet, à une fréquence de 500 Hz, la longueur d'onde est de 68 cm et en se déplaçant dans la salle, il est possible de localiser des zones où le son est très faible et d'autres où il est plus fort. |

Préparation (matériel)

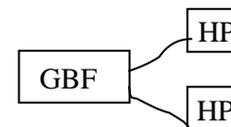
1 GBF qui alimente 2 hauts parleurs espacés de 2 m avec une tension sinusoïdale de 1000 Hz par exemple. Pour une bonne écoute du phénomène d'interférence il faut que le volume ne soit pas trop élevé. Interfrange au fond de la classe : $i = \lambda D/b = 0,34 \times 6/2 \approx 1 \text{ m}$

Objectif : Découvrir le phénomène d'interférence avec les ondes sonores et discuter du sens du mot interférence en physique et dans la vie quotidienne.

Questions

1. Noter sur votre cahier ce que signifie pour vous le mot « interférence ».

On va créer deux sources sonores identiques en branchant un GBF délivrant une tension sinusoïdale de 1000 Hz sur 2 haut-parleurs placés en dérivation comme représenté ci-contre.



2. A votre avis les ondes produites par les hauts parleurs vont-elles interférer ? Argumenter votre réponse.

On réalise l'expérience. Instructions orales du professeur pendant l'expérience.

- Vous allez vous déplacer dans le fond de la salle en écoutant attentivement le son ainsi produit (laisser un temps d'écoute libre aux élèves ... avant de donner l'instruction suivante).
- Ecouter les variations d'intensité sonore en fonction de votre position.
- Localiser les zones de la salle où le son est très faible et d'autres où le son est plus fort.
- Placez-vous à un endroit où l'intensité sonore est très faible.
- On débranche l'un des HP, que se passe-t-il ?

Lecture commentée du modèle « Propriétés des ondes : les interférences »

3. Le mot interférence en physique a-t-il le même sens que celui que vous avez noté en 1. ? Argumenter votre réponse.

4. Pourquoi ne perçoit-on pas ce phénomène d'interférences quand on écoute de la musique avec une chaîne hifi ?

Corrigé

1. En général, le mot interférence dans la vie quotidienne évoque plusieurs signaux qui interagissent, en général de façon négative (brouillage).
2. On s'attend à ce que les élèves prévoient qu'il n'y aura pas d'interférences parce qu'ils ont appris que « deux ondes se croisent sans se perturber ». Et c'est l'intérêt de la question : leur faire prendre conscience qu'il y a apparemment une contradiction entre cette propriété des ondes et le phénomène d'interférence.
3. Pour ce qui est de la chaîne hi-fi, si le phénomène d'interférence doit en principe jouer, il ne sera que très peu ou pas perceptible car noyé dans la complexité spectrale d'un morceau de musique (qui en plus évolue au cours du temps), les interférences ne se produisant qu'entre signaux de même fréquence. En outre, l'effet stéréo empêche que les mêmes ondes sonores soient émises simultanément des deux cotés.

Activité 2 (expérimentale) – Observation de la figure lumineuse obtenue avec deux sources de lumière identiques

Etude expérimentale du phénomène d'interférences dans le cas des ondes lumineuses

But de l'activité

Etudier qualitativement et quantitativement le phénomène d'interférences dans le cas des ondes lumineuses.

Compétences travaillées

| Compétences du BO | | Commentaires |
|-------------------|---|--|
| *** | Connaître et exploiter les conditions d'interférences constructives et destructives pour des ondes monochromatiques | L'étude quantitative est faite par une démarche d'investigation. |
| ** | Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier quantitativement le phénomène d'interférence dans le cas des ondes lumineuses | |

Préparation (matériel)

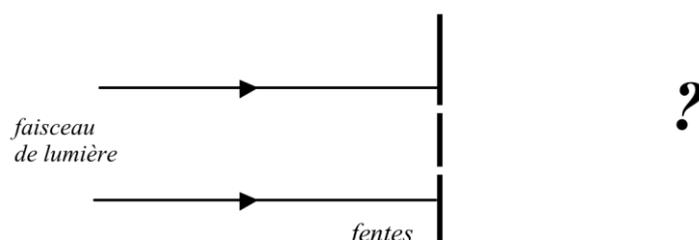
Fentes d' Young + laser. Prévoir un dispositif pour le prof pour l'étude qualitative et un dispositif par binôme pour l'étude quantitative.

Objectif : Étudier qualitativement le phénomène d'interférence avec les ondes lumineuses par analogie avec les ondes sonores. Utiliser le modèle des interférences pour étudier qualitativement puis quantitativement les facteurs qui influencent l'allure d'une figure d'interférence.

Questions**I. Etude qualitative**

On va faire passer un faisceau laser à travers deux fentes fines verticales, très proches l'une de l'autre.

1. Sur le schéma ci-dessous, représenter le faisceau de lumière après son passage par les fentes.



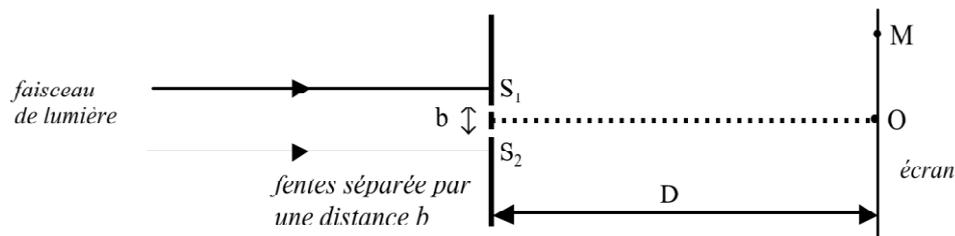
On réalise l'expérience et on met un écran après les fentes. Observer l'écran.

2. En faisant référence à l'activité précédente avec les deux HP, proposer une interprétation de vos observations.

3. Indiquer une observation visible avec la lumière mais qui n'a pas été perçue dans le cas des ondes sonores.

II. Étude quantitative

On considère le schéma de la situation expérimentale étudiée. Les deux fentes se comportent comme deux sources de lumière S_1 et S_2 cohérentes.



1. En vert, représenter un rayon lumineux qui va de S_1 à M . De même, représenter un rayon qui va de S_2 à M .

2. Avec une autre couleur, représenter la différence de marche δ entre les deux ondes qui interfèrent en M .

Utiliser le modèle pour répondre aux questions suivantes.

3. Si $\delta = 0$, où se trouve le point M sur l'écran ? Le point M est-il alors dans une frange claire ou dans une frange sombre ?

4. Si δ est un multiple entier (non nul) de la longueur d'onde. Le point M est-il dans une frange claire ou dans une frange sombre ?

5. Si δ est un multiple entier de la longueur d'onde, additionné d'une demi longueur d'onde. Le point M est-il dans une frange claire ou dans une frange sombre ?

On appelle interfrange, noté i , la distance séparant deux franges brillantes (ou deux franges sombres) consécutives sur l'écran. On peut montrer qu'on a ici :

$$i = \frac{\lambda D}{b}$$

6. Répondre aux questions suivantes en utilisant la relation donnant i :

Pour augmenter l'interfrange, faut-il rapprocher ou éloigner l'écran ?

Pour augmenter l'interfrange, faut-il rapprocher ou espacer les fentes ?

Avec quel laser (lumière verte ou lumière rouge) obtient-on un interfrange plus important, toutes conditions égales par ailleurs ?

Par groupe de 4, avec le matériel dont vous disposez, faire des mesures pour montrer que la relation ci-dessus permet effectivement de modéliser la situation.

7. Noter les mesures effectuées, les résultats obtenus, et l'analyse de ces résultats (mesures en accord ou non avec la relation, pertinence de la méthode, précision).

8. Rédiger un transparent (ou un poster, ou une diapo sur l'ordinateur ...) et présenter vos résultats expérimentaux à la classe.

III. Conclusion

Après mise en commun des résultats, remplir le tableau ci-dessous pour comparer les 2 expériences (interférences sonores et interférences lumineuses).

| Analogies | Différences |
|-----------|-------------|
| | |

Corrigé**I.**

1. Si les élèves appliquent ce qu'ils ont vu pour la diffraction, ils devraient prévoir une superposition de deux figures de diffraction. Comme les fentes sont proches sur le dessin, cela va faire une figure de diffraction avec une tâche centrale plus grande.

2. Points communs entre les deux expériences : deux sources d'ondes qui sont cohérentes. Les deux fentes sont équivalentes à deux sources de lumière cohérentes et, en plus de la diffraction prévue, on observe des franges d'interférences (franges dans une figure de diffraction). Dans les zones sombres sur l'écran : les interférences sont destructives. Dans les zones claires, elles sont constructives.

3. Avec les ondes sonores, la diffraction par le haut parleur est tellement importante qu'elle concerne tout l'espace ($\theta = \lambda/a$, θ : proche de 2π) et on ne peut observer d'extinction (ce n'est plus le cas avec des ultrasons).

II.

La mise en commun des différentes mesures effectuées permet de débattre dans la classe de la pertinence des méthodes utilisées et de la précision des mesures.

III.

Comparaison des 2 expériences

| Analogies | Différences |
|---|---|
| Sources cohérentes | Diffraction pour la lumière |
| Interférences | |
| Interfrange : zone claires/sombres et zones de niveau sonore important/faible | Pas le même ordre de grandeur de distances et longueurs d'onde en jeu |
| ... | ... |

3^e volet : l'effet Doppler

Activité 6 : à propos de la sirène des pompiers

But de l'activité :

Introduire l'effet Doppler et arriver à la conclusion : si une source sonore se rapproche d'un observateur fixe, sa fréquence est plus élevée que si elle est immobile ; si la source s'éloigne de lui, sa fréquence est plus basse.

Compétences travaillées :

| compétence du BO | | Explication |
|------------------|--|--|
| *** | Définir, pour une onde progressive sinusoïdale, la période, la fréquence et la longueur d'onde. | |
| * | Réaliser l'analyse spectrale d'un son musical et l'exploiter pour en caractériser la hauteur et le timbre. | Pour traiter cette activité les élèves doivent associer les affirmations « le son est plus grave » à « la fréquence de l'onde a baissé » |

Objectif : Ecouter des sons dans différentes situations où se manifeste l'effet doppler pour établir un lien entre l'évolution de la fréquence du son perçu et le mouvement de la source sonore.

► Écouter l'extrait sonore diffusé dans la salle de classe.

Questions :

- (a) Si on ne considère que le « pin » du « pin-pon » joué par la sirène des pompiers, comment sa hauteur évolue-t-elle entre le début et la fin de l'extrait sonore ?
- (b) En utilisant votre expérience personnelle, quelle différence y a-t-il entre le mouvement du camion par rapport au micro qui enregistre sa sirène :
- au début de l'extrait sonore
 - à la fin de cet extrait ?
- (c) Exploiter les deux réponses précédentes pour établir un lien entre la fréquence du son perçu et le mouvement de la source
- (d) **Autre situation :** frapper un diapason et lui faire faire des allers et retours au voisinage de votre oreille (rapprocher puis éloigner le diapason de votre oreille). Décrire l'effet auditif produit et vérifier que l'effet décrit à la question (c) est bien reproduit ici.

Corrigé

- (a) La note est plus aigüe au début et plus grave à la fin de l'extrait.
- (b) Au début le camion se rapproche du micro et à la fin il s'en éloigne.
- (c) Plus la fréquence d'une onde sonore est élevée, plus le son est perçu comme aigu.
Donc :
- Lorsque la source se rapproche du récepteur la fréquence des ondes sonores reçues est plus élevée que celle des ondes sonores émises.
 - Lorsque la source s'éloigne du récepteur la fréquence des ondes sonores reçues est plus faible que celle des ondes sonores émises.
- (d) On observe bien que le son produit par le diapason est plus aigu lorsque celui-ci se rapproche de l'oreille et plus grave lorsqu'il s'en éloigne.

Activité 7 : première interprétation à l'aide d'une analogie

But de l'activité :

Utiliser une analogie entre les ondes sonores et les vagues à la surface de l'eau pour interpréter les effets du mouvement relatif de la source et du récepteur sur la fréquence du son perçu.

Compétences travaillées :

| | compétence du BO | Explication |
|-----|---|--------------------|
| *** | Définir, pour une onde progressive sinusoïdale, la période, la fréquence et la longueur d'onde. | |

Objectif : Utiliser le modèle des ondes progressives périodiques pour étudier comment varient les fréquences et périodes des ondes mécaniques observées par des observateurs ayant des mouvements différents.

Trois matelots, sur trois bateaux différents, utilisent leurs téléphones pour discuter de l'état de la mer. Le premier matelot a jeté l'ancre mais pas les deux autres. Le premier matelot dit à ses collègues :

« La mer est agitée. Les vagues n'arrêtent pas de taper, on prend une grosse secousse toutes les secondes ! »

Le second matelot lui répond : « Viens par ici car c'est plus tranquille pour moi, on a bien 2 secondes entre chaque secousse ! ».

Le troisième dit : « Moi j'ai le mal de mer... j'aimerais bien qu'il y ait moins de vagues... »

Questions :

- Pour comprendre cette conversation, on modélise les vagues comme des ondes mécaniques périodiques. Que vaut leur fréquence ? Justifier à l'aide des propos d'un des matelots.
- Proposer une explication à la réponse du second matelot, qui fait intervenir le mouvement de son bateau.
- Reformuler la phrase prononcée par le 3^{ème} matelot en utilisant un vocabulaire de physicien, emprunté au modèle des ondes mécaniques périodiques.
- Que peut-on suggérer au 3^{ème} matelot, à propos du mouvement de son bateau, pour résoudre son problème ?
- La situation envisagée ici et celle de l'activité précédente présentent des similitudes et des différences. On souhaite les rassembler dans le tableau ci-après.

| | situation de l'activité 2 (les trois matelots) | situation de l'activité 1 (le camion de pompiers) |
|--|---|--|
| Quelles ondes interviennent ? | | |
| Est-ce la source ou le récepteur qui se déplace ? | | |
| À quelle condition sur le mouvement relatif de la source et du récepteur la fréquence des ondes reçues augmente-t-elle ? | | |
| À quelle condition sur le mouvement relatif de la source et du récepteur la fréquence des ondes reçues diminue-t-elle ? | | |

Corrigé

- (a) Le 1^{er} matelot, qui est immobile par rapport à la mer, indique qu'une vague par seconde atteint sa proue. Leur fréquence vaut donc : $f = 1 \text{ Hz}$
- (b) S'il est en mouvement dans un sens contraire aux vagues, cela peut expliquer qu'il perçoive les vagues avec une fréquence plus élevée que s'il était immobile.
- (c)
- (d) « J'aimerais que la fréquence des ondes mécaniques à la surface de l'eau diminue ! »
- (e) S'il se met en mouvement dans le même sens que celui dans lequel les vagues se propagent, la fréquence des ondes perçues va diminuer.
- (f)

| | situation de l'activité 2 (les trois matelots) | situation de l'activité 1 (le camion de pompiers) |
|--|---|---|
| Quelles ondes interviennent ? | ondes mécaniques à la surface de l'eau | ondes sonores |
| Est-ce la source ou le récepteur qui se déplace ? | le récepteur (bateau) | la source (le camion) |
| À quelle condition sur le mouvement relatif de la source et du récepteur la fréquence des ondes reçues augmente-t-elle ? | si la source et le récepteur se rapprochent l'un de l'autre | |
| À quelle condition sur le mouvement relatif de la source et du récepteur la fréquence des ondes reçues diminue-t-elle ? | si la source et le récepteur s'éloignent l'un de l'autre | |

Activité 8 : interprétation à l'aide du modèle des ondes périodiques**Buts de l'activité :**

Comprendre ce que représentent les schémas présents dans les manuels. Établir la relation entre fréquence émise et fréquence reçue, d'abord qualitativement, puis quantitativement.

Compétences travaillées :

| | compétence du BO | Explication |
|-----|--|--|
| *** | Définir, pour une onde progressive sinusoïdale, la période, la fréquence et la longueur d'onde. | |
| *** | Connaître et exploiter la relation entre la période ou la fréquence, la longueur d'onde et la célérité. | Dans la 1 ^{ère} partie les élèves doivent associer l'augmentation de la longueur d'onde à la diminution de la fréquence (et vice versa). Dans la 2 ^{nde} partie les élèves doivent utiliser la relation sous sa forme littérale pour obtenir la relation choisie. |
| * | Réaliser l'analyse spectrale d'un son musical et l'exploiter pour en caractériser la hauteur et le timbre. | Pour traiter cette activité les élèves doivent associer les affirmations « le son est plus grave » à « la fréquence de l'onde a baissé » |

Objectif : Utiliser le modèle des ondes progressives périodiques pour établir qualitativement puis quantitativement une relation entre le mouvement relatif de l'émetteur et de la source sonore et les

fréquences émises et perçues.

1^{ère} partie :

Interprétation qualitative

L'effet que nous avons observé lors de l'activité 1, lorsqu'il concerne les ondes sonores, est appelé « effet Doppler ». Voici deux illustrations censées interpréter l'effet Doppler et inspirées des schémas que l'on trouve sur internet :

Figure 1 : la source est immobile

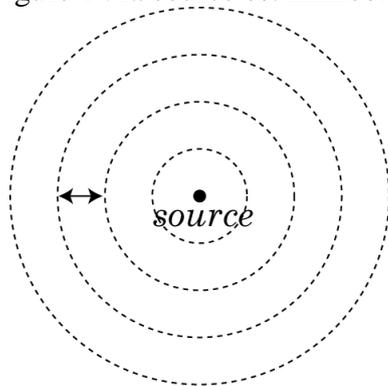
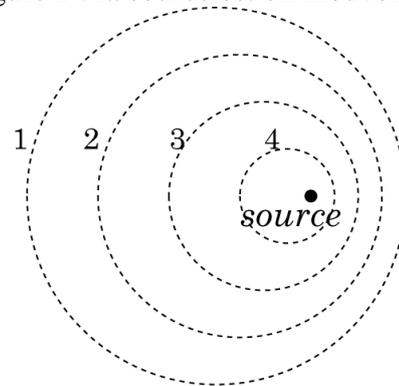


Figure 2 : la source est en mouvement



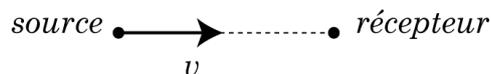
Questions :

- Que peuvent représenter les cercles en pointillés sur cette figure ? Utiliser le modèle des ondes sonores pour répondre.
- Quelle distance particulière est représentée par une double flèche sur la figure 1 ?
- Sur la figure 2, représenter par des points S1, S2, S3 et S4 les positions successives de la source lorsqu'elle a généré les perturbations 1, 2, 3 et 4.
- Sur la figure 2, indiquer dans quelle zone le son perçu est le plus grave et dans quelle zone il est le plus aigu. Justifier en utilisant la figure et le modèle des ondes sonores.

2^{ème} partie (facultative) :

Obtention d'une relation entre les fréquences des ondes émises et reçue

On considère une source sonore émettant une onde sonore périodique, de fréquence f , de période T , de longueur d'onde λ et de célérité c . Cette source sonore est en mouvement rectiligne uniforme à la vitesse v par rapport à un récepteur. La source sonore est en mouvement vers le récepteur.



Questions :

- Exprimer la distance sur laquelle l'onde s'est propagée pendant une période T de l'onde.
- Exprimer la distance parcourue par la source pendant cette même durée T .
- La longueur d'onde de l'onde reçue est notée λ' . Montrer que λ' s'exprime par :

$$\lambda' = \lambda - vT$$
- En déduire la relation entre la fréquence f' de l'onde reçue et la fréquence f de l'onde émise :

$$f' = f \frac{c}{c - v}$$

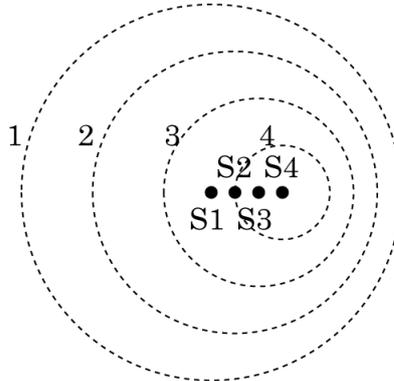
- Vérifier que cette relation rend bien compte de ce que nous avons affirmé précédemment : le son perçu est plus aigu lorsque la source se rapproche du récepteur.

- (f) Que devient la relation de la question (d) lorsque la source s'éloigne du récepteur ? Utiliser la nouvelle relation obtenue pour interpréter, dans cette nouvelle situation, la modification de la hauteur du son perçu.

Corrigé

1^{ère} partie :

- (a) Il s'agit d'une zone identiquement perturbée. Il peut s'agir, par exemple, des zones de compression.
 (b) Il s'agit de la longueur d'onde de l'onde sonore émise par la source.
 (c)



- (d) Plus la fréquence de l'onde sonore est élevée, le son est perçu comme aigu. Or fréquence et longueur d'onde sont inversement proportionnelles. Donc :
- du côté gauche : la longueur d'onde est plus grande, la fréquence est donc plus faible et le son est perçu comme plus grave.
 - du côté droit : la longueur d'onde est plus faible, la fréquence est donc plus élevée et le son est perçu comme plus aigu.

2^{ème} partie (facultative) :

- (a) distance : cT
 (b) distance : vT
 (c) $\lambda' = cT - vT = \lambda - vT$
 (d) La relation précédente donne :

$$\lambda' = \lambda - vT$$

$$\frac{c}{f'} = \frac{c}{f} - \frac{v}{f} = \frac{c-v}{f}$$

$$f' = f \frac{c}{c-v}$$

- (e) Cette relation indique que $f' > f$, l'onde sonore reçue a donc une fréquence plus élevée, le son est alors perçu comme plus aigu que si la source est immobile.

- (f) La relation (d) devient dans ce cas : $f' = f \frac{c}{c+v}$

Cette fois $f' < f$: le son est alors perçu plus grave que lorsque la voiture est immobile, ce qui est compatible avec ce que nous avons affirmé dans l'activité 1.



Activité 9 : comment exploiter l'effet Doppler pour mesurer une vitesse ? (activité expérimentale)

Buts de l'activité :

Exploiter la relation entre le décalage Doppler et la vitesse pour mesurer la vitesse d'une source. Pratiquer pour cela une « démarche expérimentale ».

Compétences travaillées :

| compétence du BO | | Explication |
|------------------|--|--|
| *** | Connaître et exploiter la relation entre la période ou la fréquence, la longueur d'onde et la célérité. | S'ils mesurent au réticule, les élèves utilisant la relation $f = 1/T$ pour trouver la fréquence |
| * | 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. | |
| | Identifier les différentes sources d'erreur (de limites à la précision) lors d'une mesure : variabilités du phénomène et de l'acte de mesure (facteurs liés à l'opérateur, aux instruments, etc.). | |
| | Évaluer l'incertitude d'une mesure unique obtenue à l'aide d'un instrument de mesure. | |

Objectif : Utiliser l'expression du décalage Doppler pour proposer puis mettre en œuvre une expérience permettant de mesurer la vitesse d'un véhicule à partir du son qu'elle émet. Analyser les conditions de l'expérience et les incertitudes de mesure pour vérifier que le décalage de fréquence est bien dû à l'effet Doppler.

Donnée : expression du décalage Doppler

On appelle « décalage Doppler » la différence δf entre la fréquence de l'onde sonore émise par la source en mouvement et celle de l'onde reçue.

Si la vitesse de la source est très faible devant la célérité des ondes sonores, le décalage Doppler vaut, en valeur absolue :

$$|\delta f| \approx f \frac{v}{c}$$

1^{ère} partie : mesure d'une vitesse en utilisant l'effet Doppler

Situation :

Une voiture à friction est astreinte à se déplacer sur un rail (un banc d'optique par exemple).

Votre travail :

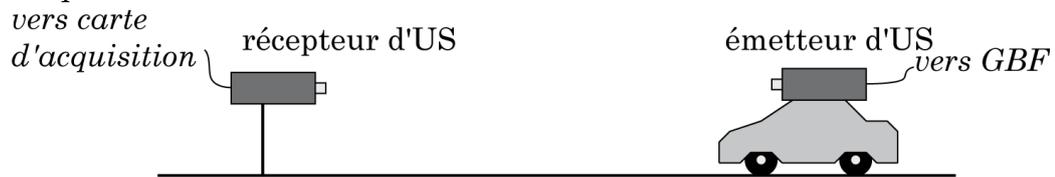
Avec le matériel présent sur votre paillasse, vous devez exploiter l'effet Doppler pour mesurer la vitesse de la voiture lorsqu'elle est lancée sur son rail.

Pour cela : décrire le principe d'une expérience permettant cela. Indiquer, en particulier, quel dispositif est envisagé et quelle(s) grandeur(s) il faut mesurer.

Protocole (à donner aux élèves après la mise en commun des dispositifs envisagés) :

- Alimenter un émetteur d'ultrasons à l'aide d'un GBF délivrant une tension sinusoïdale de fréquence 40 kHz.

- Sur le toit de la petite voiture, fixer cet émetteur d’ultrasons avec un ruban adhésif. La voiture se déplacera sur un rail (un banc d’optique par exemple).
- Fixer un récepteur d’ultrasons à une extrémité du banc d’optique, à la même hauteur que l’émetteur.



- Brancher le récepteur sur une carte d’acquisition et programmer le logiciel pour réaliser une acquisition de 10000 points environs, pendant une durée correspondant à une vingtaine de périodes de l’onde sonore.
- Réaliser une première acquisition du signal reçu, la voiture étant immobile, à 10 cm environ du récepteur.
- Exploiter les fonctionnalités du logiciel (curseur, réticule...) pour mesurer la période T du signal reçu. En déduire la valeur de sa fréquence f .
- Nous devons maintenant programmer une acquisition similaire, la voiture étant cette fois en mouvement sur son rail.

Dans ce but, programmer un déclenchement à une valeur suffisamment élevée pour que l’acquisition débute lorsque la voiture se trouve à 10 cm environ du récepteur. Pour cela, noter la valeur maximale du signal reçu lors de la première acquisition et la reporter dans la rubrique « déclenchement » du logiciel utilisé.

- Réaliser une seconde acquisition, la voiture étant, cette fois, en mouvement vers le récepteur.
- Exploiter les fonctionnalités du logiciel (curseur, réticule...) pour mesurer la période T' du signal reçu. En déduire la valeur de sa fréquence f' .

Exploitation des expériences :

Exploiter les deux valeurs de fréquence obtenues pour calculer la valeur v de la vitesse de la voiture au moment de l’acquisition du signal. Dans ce compte rendu, ne pas tenir compte des chiffres significatifs, la question de la précision sera abordée en 2nde partie.

2^{ème} partie : discussion sur les résultats obtenus

Cette deuxième partie a pour objectif de répondre à la question qu’on est en droit de se poser suite à l’expérience précédente : le décalage Doppler que nous avons mesuré est-il vraiment la conséquence du mouvement de la voiture ou peut-il s’agir d’un décalage dû aux incertitudes sur les mesures de fréquence ?

Questions :

- Collecter les résultats des mesures réalisées par les autres binômes de la classe. Qu’ont ces mesures en commun ? Ce constat suggère-t-il que notre résultat est la conséquence de l’effet Doppler ou d’une erreur de mesure ?
- Estimer l’incertitude Δt lors de la mesure d’une date avec le logiciel utilisé.
- En déduire l’incertitude ΔT sur la mesure d’une période par la méthode choisie.
- On admet que les incertitudes relatives sur la fréquence et la période sont égales :

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta T}{T}$$

Calculer les incertitudes sur les mesures des fréquences f et f' et répondre à la question posée en préambule : le décalage Doppler que nous avons mesuré dans la première partie est-il vraiment la conséquence du mouvement de la voiture ou s'agit-il d'un décalage dû aux incertitudes ?

(e) L'incertitude relative de la valeur de la vitesse calculée dans la 2^{de} partie s'exprime par :

$$\frac{\Delta v}{v} = \sqrt{\left(\frac{\Delta f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(\delta f)}{\delta f}\right)^2}$$

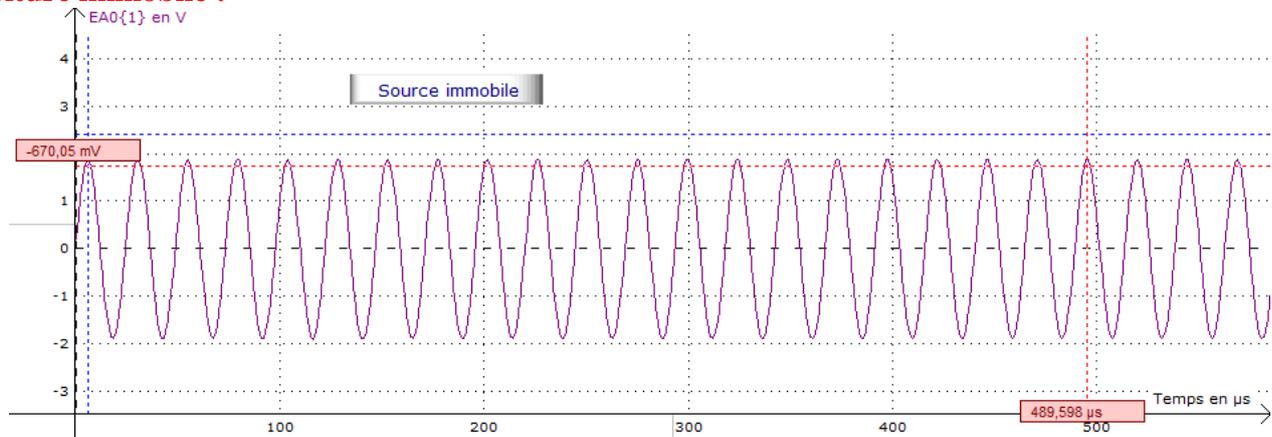
En déduire l'incertitude Δv et présenter la valeur de la vitesse de la petite voiture sous la forme : $v = \dots \pm \dots \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Corrigé

1^{ère} partie : mesure d'une vitesse en utilisant l'effet Doppler

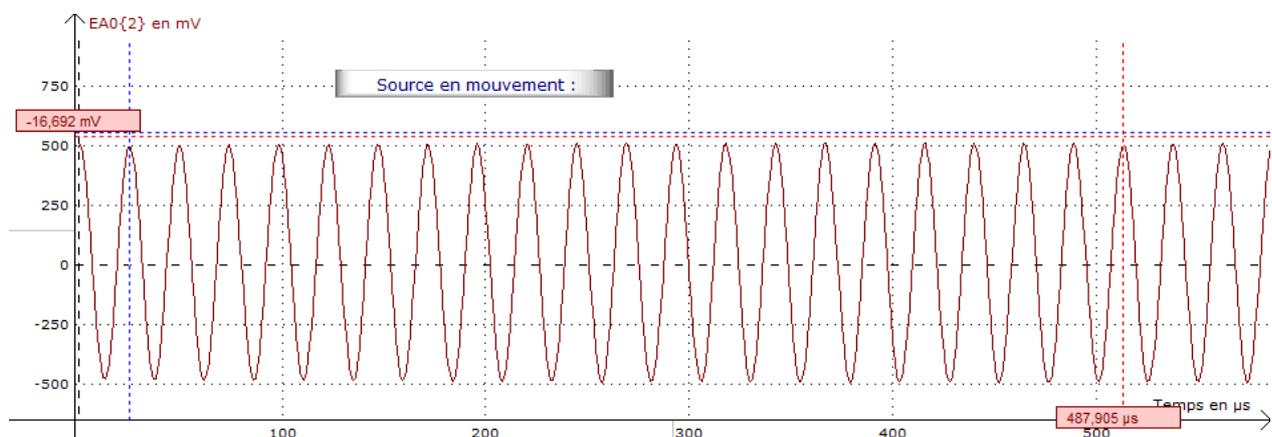
Exploitation des expériences :

Voiture immobile :



- Mesure de 20 périodes : $20 T = 489,60 \mu\text{s}$
- Donc $T = 24,480 \mu\text{s}$
- Donc $f = 40850 \text{ Hz}$

Voiture en mouvement :



- Mesure de 20 périodes : $20 T = 487,905 \mu\text{s}$
- Donc $T = 24,395 \mu\text{s}$
- Donc $f = 40991 \text{ Hz}$

Décalage Doppler : $\delta f = 141 \text{ Hz}$

Vitesse de la voiture : $v = c \frac{\delta f}{f} = 1,20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

(a) Toutes les fréquences mesurées alors que la voiture est en mouvement sont supérieures à celles mesurées lorsqu'elle est immobile. Cela plaide en faveur d'une mesure d'un décalage Doppler.

(b) Sans modification de l'échelle du graphique : $\Delta t = 0,5 \mu\text{s}$

(c) On mesure 2 dates qui séparent 20 périodes. Donc $\Delta T = 2\Delta t/20 = 0,05 \mu\text{s}$.

(d) Incertitude sur la mesure d'une fréquence :

$$\Delta f = f \cdot \Delta T / T = 80 \text{ Hz}$$

Ce calcul montre que le décalage Doppler est plus élevé que l'incertitude sur la mesure d'une fréquence. Le décalage en fréquence que nous mesurons peut donc être imputé à l'effet Doppler et non à une erreur de mesure.

Cependant l'ordre de grandeur du décalage Doppler est le même que celui de l'incertitude sur une mesure de fréquence. Notre mesure de vitesse est donc très grossière.

(e) On trouve : $\Delta v = 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

D'où, finalement : $v = 2 \pm 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Activité 10 : un moyen d'investigation en astrophysique

→ Les livres fourmillent d'activités documentaires avec support informatisé...