Chapitre 3 - Propriétés des ondes: la diffraction

Activité 1 – Fente ou obstacle sur le trajet d'ondes périodiques

Mise en évidence du phénomène de diffraction comme une propriété caractéristique des ondes

But de l'activité

Introduire la diffraction avec une onde lumineuse passant par une fente puis généraliser la diffraction comme une propriété caractéristique des ondes en général.

Compétences travaillées

Com	pétences du BO	Commentaire
***	Identifier les situations physiques où il est pertinent de	Activité d'introduction de la diffraction
	prendre en compte le phénomène de diffraction	Cette activité se termine par la lecture du
**	Savoir que l'importance du phénomène de	modèle qui présente la diffraction comme une propriété des ondes et qui donne les conditions de diffraction, puis par la mise en œuvre du modèle.

Préparation (matériel)

Passage d'un faisceau de lumière laser par une fente

Cuve à ondes : ondes circulaires et rectilignes passant par une ouverture, ondes rectilignes rencontrant un obstacle.

Objectif : Découvrir le phénomène de diffraction sur différentes situations puis le généraliser comme une propriété caractéristique des ondes en général.

Questions

On fait passer un faisceau de lumière laser par une fine fente verticale.

1. Prévision : sur le schéma suivant, représentant la situation vue de dessus, représenter le faisceau lumineux après le passage de la lumière par la fente.



Réalisation de l'expérience. Observation.

2. Avec une autre couleur, modifier votre schéma si besoin.

On pose maintenant dans une cuve à onde deux obstacles qui forment une ouverture, jouant le rôle de la fente de la situation précédente, comme schématisé dans la situation ci-contre.

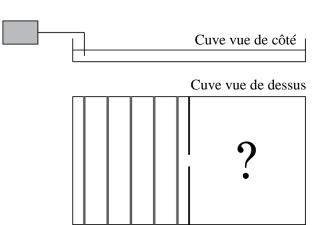
3. Prévision : prévoir ce qu'il va se passer en représentant les vagues après la fente sur le schéma.

Réalisation de l'expérience. Observation.

4. Avec une autre couleur, modifier votre schéma si besoin.

Toujours dans la cuve à onde, les vagues produites vont rencontrer un obstacle.

5. Après observation, compléter le schéma ci-contre.

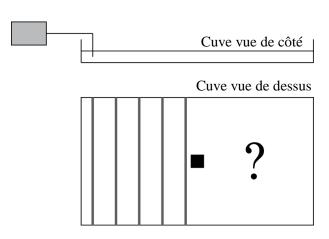


Dans le modèle, lire le paragraphe 1 « Propriétés des ondes : la diffraction »

6. A l'aide du modèle et en faisant une analogie avec ce que l'on vient de voir pour les ondes dans la cuve à onde, prévoir ce qu'il va se passer pour la lumière lorsqu'elle rencontre un fil fin sur son trajet.

Réalisation de l'expérience.

7. Confronter votre prévision avec l'expérience.



Activité 2 – Fentes de largeurs différentes sur le trajet d'ondes périodiques

Influence de la taille de l'ouverture sur le phénomène de diffraction

But de l'activité

Etudier, qualitativement et quantitativement, l'influence de la largeur de la fente (ou du fil) sur la figure de diffraction d'une onde lumineuse.

Compétences travaillées

Compétences du BO		Commentaire
***	Identifier les situations physiques où il est pertinent	
	de prendre en compte le phénomène de diffraction	
**	Savoir que l'importance du phénomène de diffraction est liée au rapport de la longueur d'onde aux dimensions de l'ouverture ou de l'obstacle	
*	Connaître et exploiter la relation $\theta = \lambda/a$	

Préparation (matériel)

Cuve à ondes : ondes rectilignes passant par une ouverture dont on fait varier la largeur.

Passage d'un rayon laser par une fente dont on fait varier la largeur (ou sur un obstacle de taille différente)

Objectif : Etudier qualitativement l'influence de la largeur de la fente sur la figure de diffraction d'une onde (lumineuse et mécanique). Puis établir, dans le cas d'une onde lumineuse, une relation mathématique entre largeur de la fente et la largeur de la figure de diffraction en accord avec les observations.

Questions

On pose dans la cuve à onde une ouverture en forme de fente. On observe la diffraction des ondes par la fente. On fait varier la largueur de la fente.

Réalisation

- 1. Qu'observe-t-on lorsque la largeur de l'ouverture diminue ?
- 2. Par analogie, prévoir l'évolution de la largeur de la tache centrale de diffraction de la lumière du laser lorsque la taille de l'ouverture diminue.

Réalisation de la même expérience avec le laser et un obstacle ou une fente.

3. Confronter votre prévision aux observations effectuées.

Dans le modèle, lire le paragraphe 2 « Relation entre l'ouverture angulaire du faisceau, la largeur de la fente et la longueur d'onde »

4. A partir du schéma du modèle représentant la figure de diffraction, exprimer $\tan\theta$ en fonction de d et D.

- 5. On peut considérer que ici que tan $\theta = \theta$ car l'angle est faible ($\theta < 10^{\circ}$). En déduire l'expression de d en fonction de D, a et λ .
- 6. Vérifier l'accord entre cette relation et les observations expérimentales effectuées en question 3.
- 7. (optionnelle) Utiliser la relation obtenue à la question 5 pour prévoir la figure observée si la fente est éclairée avec une lumière blanche. Faire un schéma.

Activité 3 – Détermination de la longueur d'onde d'un laser

Étude expérimentale du phénomène de diffraction dans le cas des ondes

But de l'activité

Pratiquer une démarche d'investigation et utiliser le phénomène de diffraction pour déterminer la longueur d'onde d'un laser. Evaluer l'incertitude du résultat obtenu.

Compétences travaillées

Compétences du BO		Commentaires	
***	Identifier les situations physiques où il est pertinent de prendre en compte le phénomène de diffraction		
**	Savoir que l'importance du phénomène de diffraction est liée au rapport de la longueur d'onde aux dimensions de l'ouverture ou de l'obstacle	Ré-investissement des notions concernant la diffraction par une démarche d'investigation.	
*	Connaître et exploiter la relation $\theta = \lambda/a$	diffraction par une demarche d'investigation.	
*	Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier ou utiliser le phénomène de diffraction dans le cas des ondes lumineuses		
	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'opérateurs, aux instruments, etc.). Evaluer et comparer les incertitudes associées à chaque source d'erreur. Évaluer l'incertitude d'une mesure unique obtenue à l'aide d'un instrument de mesure. Maitriser l'usage des chiffres significatifs et l'écriture scientifique. Associer l'incertitude à cette écriture. Exprimer le résultat d'une opération de mesure par une valeur issue éventuellement d'une moyenne et	Compétences transversales sur les mesures et les incertitudes.	
	une incertitude de mesure associée à un niveau de confiance. Évaluer la précision relative.		

Préparation (matériel)

Diffraction d'un faisceau de lumière laser par une fente et/ou un cheveu. Prévoir un laser par binôme.

Objectif : Utiliser le modèle de la diffraction pour proposer puis mettre en œuvre une expérience utilisant la diffraction de la lumière émise par un laser pour en déterminer sa longueur d'onde. Utiliser les résultats de cette expérience pour travailler sur la précision d'une mesure.

Questions

Comment déterminer expérimentalement la longueur d'onde de la lumière émise par une diode laser?

I. Première mesure

1. Avec le matériel disponible, réaliser une expérience utilisant la diffraction pour déterminer la longueur d'onde de la lumière émise par le laser.

2. Noter brièvement par quelques phrases le protocole suivi, les valeurs des mesures effectuées et le résultat obtenu pour la longueur d'onde.

Note - On demande ici à l'élève de faire l'expérience avant la rédaction du protocole parce que c'est comme cela que l'on procède, nous aussi, quand on veut mettre une manip au point ou faire une mesure.

II. Travail sur la précision de la mesure

- 1. Identifier les sources d'erreurs possibles et les limites à la précision de la mesure de longueur d'onde.
- 2. Évaluer l'incertitude associée à chaque grandeur intervenant dans la détermination de λ .
- 3. Réécrire si besoin, les valeurs des distances mesurées avec un nombre de chiffres significatifs adapté à l'incertitude qui leur est associée.
- 4. En déduire le nombre de chiffres significatifs de la longueur d'onde et l'incertitude associée à cette valeur.

Pour avoir une mesure plus fiable de la longueur d'onde, on peut utiliser les deux méthodes suivantes :

<u>Méthode A</u>: pour une fente donnée, on fait la moyenne des résultats des mesures réalisées par plusieurs groupes.

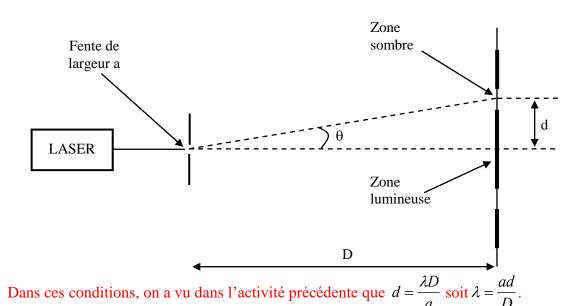
<u>Méthode B</u>: un groupe donné fait plusieurs mesures en faisant varier la largeur de la fente. Ensuite, il fait une moyenne des longueurs d'ondes obtenues par le calcul; ou il utilise une méthode graphique en traçant d/D en fonction de 1/a pour trouver la longueur d'onde qui correspond au coefficient directeur de la droite de modélisation.

- 5. Expliquer pourquoi la mesure sera plus fiable que celle de la partie I avec l'une ou l'autre de ces méthodes.
- 6. Réaliser la méthode indiquée par le professeur et déterminer la longueur d'onde du laser. Comparer cette valeur avec la valeur λ_0 donnée par le fabriquant et déterminer la précision relative de

la mesure en calculant : $\frac{\left|\lambda_0 - \lambda_{mesur\acute{e}}\right|}{\lambda_0}$.

Corrigé

I. On utilise la diffraction par une fente et la mesure de la largueur de la tache centrale.



Exemple de résultat :

 $a = 3\overline{5.10^{-6}}$ m; 2d = 54 mm; D = 1,50 m soit $\lambda = 6,3.10^{-7}$ m = 6,3 10^{2} nm.

II. Précision de la mesure :

Note - Certaines questions de cette deuxième partie ont plusieurs réponses possibles selon la norme utilisée pour la détermination des incertitudes. Le programme ne précise rien quant à la norme à utiliser et les manuels n'utilisent pas tous la même norme.

Afin d'introduire la notion d'incertitude de façon simple pour que les élèves puissent lui donner du sens, nous avons choisi de mettre en œuvre ici la compétence « Maitriser l'usage des chiffres significatifs et l'écriture scientifique. Associer l'incertitude à cette écriture » du programme ». Toujours dans le même souci de simplicité, nous avons aussi choisi de déterminer l'incertitude sur les mesures de longueur par une estimation qui met en œuvre le bon sens et non un calcul statistique compliqué.

L'objectif ici est de sensibiliser l'élève au fait que les notions de mesure et de précisions sont indissociables.

1. Sources d'erreurs : erreur de l'expérimentateur dans la mesure des distances.

Limites à la précision :

- précision des mesures des distances 2d et D liées à l'instrument de mesure (non limitant ici si gradué en mm) et à la mesure elle-même ;
- précision de la valeur de la largueur de la fente a, donnée par le fabriquant.
- 2. Pour l'exemple de valeurs donné ci-dessus :

Sans indication particulière du constructeur, on peut considérer que l'incertitude sur a est de : 1.10^{-6} m = 1 µm (incertitude déterminée à partir de l'écriture de a).

Incertitude sur 2d : estimée à 2 mm, donc incertitude sur d : 1 mm.

Incertitude sur D: estimée à 0,5 cm.

4. Vu les valeurs utilisées ici, le résultat du calcul de λ ne peut pas être donné avec plus de 2 chiffres significatifs. L'incertitude sur la longueur d'onde est donc de $0,1.10^{-7}$ m soit 10 nm.

Note - L'estimation précédente met en jeu la compétence : « Maitriser l'usage des chiffres significatifs et l'écriture scientifique. Associer l'incertitude à cette écriture » du programme.

Si on veut mettre en œuvre la compétence « Évaluer, à l'aide d'une formule fournie, l'incertitude d'une mesure obtenue lors de la réalisation d'un protocole dans lequel interviennent plusieurs sources d'erreurs » du programme, on peut donner et faire utiliser la formule suivante aux élèves :

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{35}\right)^2 + \left(\frac{1}{27}\right)^2 + \left(\frac{0.5}{150}\right)^2} = 0.047$$

ce qui donne comme incertitude absolue sur la longueur d'onde : $\Delta\lambda = 30$ nm soit un intervalle trois fois plus grand que celui qu'on obtient quand on utilise la règle sur les chiffres significatifs.

5. Faire plusieurs mesures, que ce soit pour la méthode A ou la méthode B, permet de repérer une éventuelle « grosse erreur » de mesure de l'expérimentateur. Faire une moyenne permet que les « petites erreurs de mesure = erreurs de mesures aléatoires » se compensent.

2^e volet : Interférences

Activité 4 – 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)

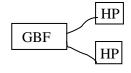
1 GBF qui alimente 2 hauts parleurs espacés de 2 m avec une tension sinusoïdale de 1000 Hz par exemple. Pour une bonne écoute du phénomène d'interférence il faut que le volume ne soit pas trop élevé. Interfrange au fond de la classe : $i = \lambda D/b = 0.34 \times 6/2 \approx 1 \text{ m}$

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 paragraphe II « 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 chaine 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 5 (expérimentale) – 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

Com	pétences 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
**	Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier quantitativement le phénomène d'interférence dans le cas des ondes lumineuses	d'investigation.

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

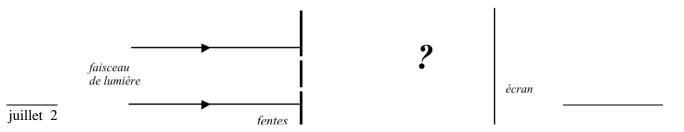
I. Etude qualitative (choisir l'une des 2 versions)

Note - L'étude des interférences étant nouvelle au lycée, nous ne savons pas comment les élèves vont réagir et pour cette étude qualitative, nous vous proposons pour l'instant 2 versions qui nous semblent à priori intéressantes, mais différentes. Après expérimentation (1 seule version par classe, bien entendu) nous espérons être en mesure de privilégier l'une des versions par rapport aux autres. Merci de nous faire des retours de votre expérimentation éventuelle.

Version 1

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

1. Prévision : sur le schéma ci-dessous, représentez le faisceau de lumière après son passage par les fentes.



On réalise l'expérience. Observer.

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

Version 2

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

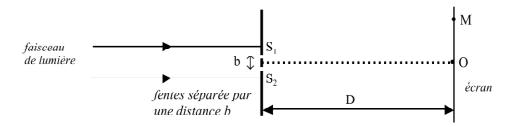
1. Quels sont, à priori les points communs entre cette expérience et celle avec les 2 HP de l'activité précédente ?

On réalise l'expérience. Observer.

- 2. On considère une zone noire de l'écran. Quel est son équivalent dans l'activité 1 ?
- 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 $\delta = 0$, ou 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.

Corrigé

I. Version 1

- 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. 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.

I. Version 2

- 1. Points communs entre les deux expériences : deux sources d'ondes qui sont cohérentes.
- Si les élèvent appliquent ce qu'ils viennent de voir avec les HP, ils penseront qu'on va obtenir des interférences avec la lumière mais ne prévoiront pas qu'elles seront à l'intérieur d'une figure de diffraction.
- 2. Son équivalent est une zone de l'espace où le niveau sonore était très faible.
- 3. La figure de diffraction.

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).

III. Démarche d'investigation

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.

A l'issue des deux activités sur les interférences, on peut conclure en construisant un tableau avec les analogies et les différences entre les deux expériences (ondes sonores et ondes lumineuses). Commencer par un temps de réflexion individuelle, puis mettre en commun.

Comparaison des 2 expériences

Analogies	Différences
Sources cohérentes	Diffraction pour la lumière
Interférences	
Interfrange : zone claires/sombres et zones de	Pas le même ordre de grandeur de distances
niveau sonore important/faible	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		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:

- (a) 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.
- (b) Proposer une explication à la réponse du second matelot, qui fait intervenir le mouvement de son bateau.
- (c) Reformuler la phrase prononcée par le 3^{ème} matelot en utilisant un vocabulaire de physicien, emprunté au modèle des ondes mécaniques périodiques.
- (d) Que peut-on suggérer au 3^{ème} matelot, à propos du mouvement de son bateau, pour résoudre son problème ?
- (e) 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	situation de l'activité 1
	(les trois matelots)	(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 Hz

(b) S'il est en mouvement dans un sens contraire aux vaques, 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)

L			
		situation de l'activité 2 (les trois matelots)	situation de l'activité 1 (le camion de pompiers)
		(les trois materots)	(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 récepter l'autre	ar se rapprochent l'un de
	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 récep l'autre	eteur s'éloignent l'un de

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 ^{ere} 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

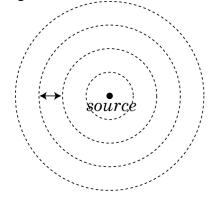
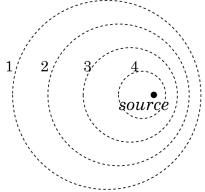


Figure 2 : la source est en mouvement



Questions:

- (a) Que peuvent représenter les cercles en pointillés sur cette figure ? Utiliser le modèle des ondes sonores pour répondre.
- (b) Quelle distance particulière est représentée par une double flèche sur la figure 1?
- (c) 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.
- (d) 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:

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

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

(d) En déduire la relation entre la fréquence f de l'onde reçue et la fréquence f de l'onde émise :

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

(e) 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.

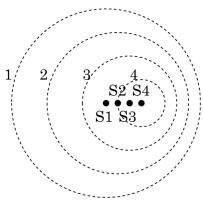
Corrigé

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 son 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 :

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

$\mathbf{1}^{\mathrm{\grave{e}re}}$ 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.

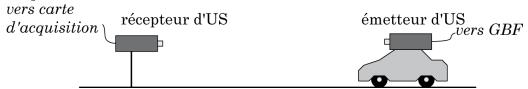
Pour cela : décrire le principe d'une expérience permettant cela. Indiquer, en particulier, quel dispositif est envisagé et quelle(s) grandeur(s) il faut mesurer.

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 2^{nde} 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 ?

Ouestions:

- (a) 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 ?
- **(b)**Estimer l'incertitude Δt lors de la mesure d'une date avec le logiciel utilisé.
- (c) En déduire l'incertitude ΔT sur la mesure d'une période par la méthode choisie.
- (d)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 2nde partie s'exprime par :

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

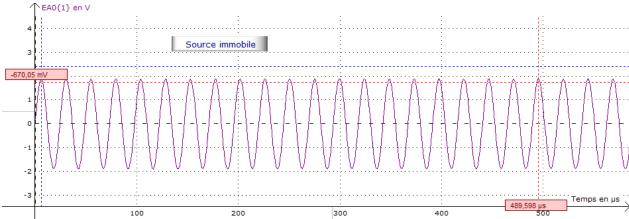
En déduire l'incertitude Δv et présenter la valeur de la vitesse de la petite voiture sous la forme : $v = \dots \pm \dots \text{ m·s}^{-1}$

Corrigé

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

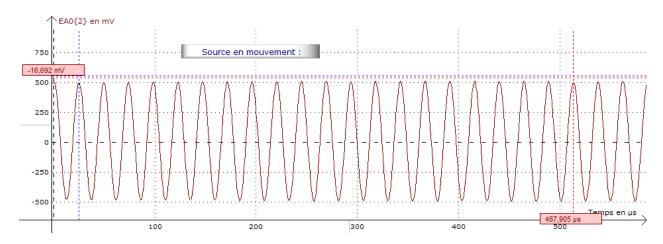
Exploitation des expériences :

Voiture immobile:



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

Voiture en mouvement :



- Mesure de 20 périodes : 20 $T = 487,905 \mu S$
- Donc $T = 24,395 \,\mu s$
- Donc f = 40991 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 : $\Delta t = 0.5 \mu s$
- (c) On mesure 2 dates qui séparent 20 périodes. Donc $\Delta T = 2\Delta t/20 = 0.05 \mu s$.
- (d)Incertitude sur la mesure d'une fréquence :

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

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...