

P1 : Ondes & rayonnements

Sommaire

Caractéristiques des ondes

- Définitions
- Onde transversale et onde longitudinale
- Dimensions d'une onde
- Onde progressive
- Célérité
- Onde progressive périodique et ses caractéristiques

Ondes sonores

- Définition
- Détecteurs sonores
- Intensité et niveau sonore
- Hauteur et timbre
- Analyse spectrale

Rayonnements dans l'Univers

- Définition
- Sources de rayonnements
- Étude de l'Univers
- Absorption de rayonnements

Comportements ondulatoires

- Diffraction
- Interférences
- Effet Doppler

Caractéristiques des ondes

Définir une onde progressive à une dimension.
 Connaître et exploiter la relation entre retard, distance et vitesse de propagation (célérité).
 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.
 Extraire et exploiter des informations sur les manifestations des ondes mécaniques dans la matière.
 Extraire et exploiter des informations sur : des sources d'ondes et de particules et leur utilisation ; un dispositif de détection.

Définitions

Perturbation

Une perturbation est la **modification** locale d'une ou plusieurs grandeur(s) physique(s) d'un milieu (hauteur, pression, position, champs électromagnétique).

Exemple : un caillou qui tombe dans l'eau provoque une perturbation de la hauteur de la surface de l'eau.

Onde mécanique

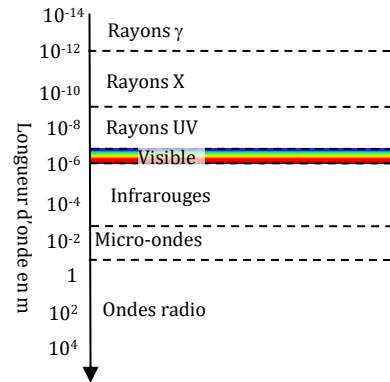
Une onde mécanique est la **propagation d'une perturbation** mécanique dans la matière. Il n'y a **pas de déplacement de matière**, mais il y a **transport d'énergie**. Une onde mécanique a besoin d'un milieu matériel pour se propager.

Exemple : la perturbation provoquée par la chute du caillou est une perturbation mécanique. La surface de l'eau est déformée. Cette perturbation (la vague) va se propager sur la surface de l'eau.

[Transport d'énergie](#) (vidéo - 2 minutes)

Onde électromagnétique

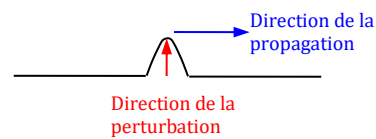
Une onde électromagnétique est la propagation de la perturbation du champ électromagnétique de l'espace. Les ondes électromagnétiques sont classées en différentes catégories selon leur fréquence : ondes radio, infra-rouge, lumière visible, ultra-violet, rayons X et rayons γ . Les ondes électromagnétiques peuvent se propager dans le vide, contrairement aux ondes mécaniques.



[Ondes électromagnétiques](#) (animation)

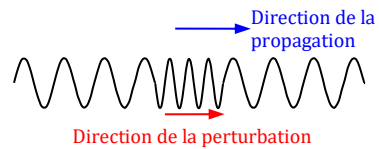
Onde transversale et onde longitudinale

Une onde est dite **transversale** si la direction de la perturbation est **perpendiculaire** à la direction de propagation de l'onde.



Propagation d'une impulsion le long d'une corde

Une onde est dite **longitudinale** si la direction de la perturbation est **parallèle** à la direction de propagation de l'onde.



Propagation d'une compression le long d'un ressort

[Ondes sur un ressort](#) (vidéo - 6 s)

[Onde longitudinale / transversale](#) (animation)

[Onde sonore](#) (gif animé)

Dimensions d'une onde

Selon son milieu de propagation, une onde peut être à une, deux ou trois dimensions

Une dimension : la perturbation se propage sur un objet filiforme (ex. perturbation sur une corde ou le long d'un ressort).

Deux dimensions : la perturbation se propage sur une surface (ex. vague)

Trois dimensions : dans l'espace (ex. onde sonore, onde lumineuse).

Exercice 1 Ondes longitudinales et transversales

Onde progressive

Une onde progressive est une onde qui se **propage**, par opposition aux ondes **stationnaires** (étudiées en spécialité seulement).

[Onde progressive](#) (animation : impulsion ou onde périodique)

[Houle stationnaire dans une piscine](#)

Célérité

La célérité c d'une onde est la vitesse de propagation de la perturbation. Elle dépend de la nature de l'onde et des caractéristiques du milieu.

Deux valeurs de célérité à connaître par cœur pour le bac :

- Célérité du son dans l'air : environ $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dans les conditions usuelles de température et de pression.
- Célérité de lumière dans le vide : environ $3,00\cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

[Célérité d'une onde non-périodique](#)

Onde progressive périodique et ses caractéristiques

Si la grandeur $s(t)$ associée à une onde (pression de l'air, hauteur d'eau, etc), en un point donné, est une fonction périodique du temps, l'onde est dite **périodique**.

Une onde progressive non-périodique peut être une impulsion, une onde de choc, un soliton, etc.

Ondes périodique et non périodique

Soliton dans un canal

Si $s(t)$ est sinusoïdale, l'onde est dite **sinusoïdale**.

Période (T)

La période d'une onde périodique est la plus courte durée de reproduction d'un motif élémentaire de $s(t)$.

Fréquence (f ou ν)

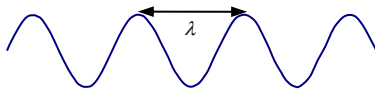
La fréquence d'une onde périodique est le nombre de répétitions du motif élémentaire par seconde. Unité : hertz (Hz).

$$f = 1/T$$

Longueur d'onde (λ)

La longueur d'onde d'une onde périodique est la plus courte longueur séparant 2 points dans le même état vibratoire.

$$\lambda = c \cdot T$$



Double périodicité d'une onde

TP P1.1 : Mesure de la vitesse des ultrasons

Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer T , f , λ et c d'une onde progressive sinusoïdale.

Pratiquer une démarche expérimentale mettant en œuvre un capteur ou un dispositif de détection.

Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier qualitativement et quantitativement un phénomène de propagation d'une onde.

Objectif : Déterminer la vitesse des ultrasons par mesure de leur longueur d'onde et de leur période.

Simulation du TP P1.1

Exercice 2 Célérité des ondes sonores

Exercice 3 Principe du sonar

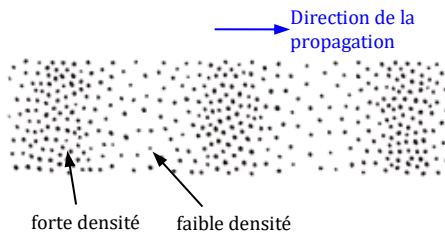
Exercice 4 Radar de recul d'une voiture

Ondes sonores

Connaître et exploiter la relation liant le niveau sonore à l'intensité sonore.

Définition

Un son (ou onde sonore) est produit par une perturbation qui fait se déplacer la matière de part et d'autre de sa position d'équilibre. C'est une onde périodique (pas forcément sinusoïdale), fréquence : 20 Hz à 20 kHz. Cette perturbation va créer des zones de plus forte densité de particules (haute pression) et des zones de plus faible densité de particules (faible pression).



Les ondes sonores sont des ondes mécaniques longitudinales en 3 dimensions (elles se propagent dans toutes les directions).

Détecteurs sonores

Oreille, microphone. Dans tous les cas, il s'agit d'une membrane mise en vibration par l'onde sonore.

Onde sonore plane

Mouvement et distance à l'équilibre

Le son et l'oreille

Le son

Intensité et niveau sonore

Intensité sonore I : puissance par unité de surface ($W \cdot m^{-2}$).

Niveau sonore L : lié à la « sensation » sonore ressentie. En décibel (dB).

$$L = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \text{ et } I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}}$$

Avec $I_0 = 10^{-12} W \cdot m^{-2}$ (seuil d'audition conventionnel).

Exemple	L (dB)	Perception humaine
Silence	0	Très tranquille
Murmures	30	
Bruits dans une bibliothèque	40	
Bruits domestiques	50	Légèrement dérangeant
Conversation normale	60	
Bruits dans un restaurant	70	Difficulté à parler au téléphone
Sèche-cheveux à 60 cm	80	
Guitare électrique	100	Très dérangeant
Concert de rock	110	
Klaxon à 1 m	120	Insupportable
Train	130	

Atténuation

L'atténuation d'un son correspond à une baisse du niveau sonore après que le son a parcouru une certaine distance. Elle est proportionnelle à la distance parcourue. Elle s'exprime en $dB \cdot m^{-1}$ ou $dB \cdot km^{-1}$.

Exercice 5 Niveau sonore et atténuation

Exercice 6 Communication chez les baleines

Hauteur et timbre

TP P1.2 : Hauteur et timbre d'un son

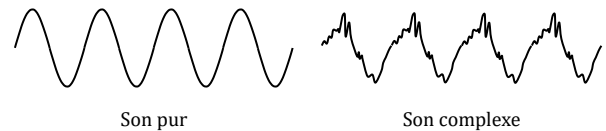
Réaliser l'analyse spectrale d'un son musical et l'exploiter pour en caractériser la hauteur et le timbre.

Problématique : Qu'est-ce qui différencie deux notes différentes d'un même instrument ? Deux mêmes notes de deux instruments différents ?

La hauteur et le timbre sont des caractéristiques physiologiques d'une onde sonore : elles sont clairement perceptibles par l'oreille humaine.

La **hauteur** d'un son (aigu ou grave) dépend de la fréquence fondamentale. Son **timbre** (le « caractère » du son) dépend de l'allure de l'onde sonore.

Un **son pur** (au sens physique, aucun intérêt sur le plan musical) est une onde sonore sinusoïdale.



Analyse spectrale

Décomposition de Fourier

Joseph Fourier, en 1822, postule qu'une fonction périodique quelconque, de fréquence f , peut toujours être obtenue par addition de fonctions sinusoïdales de fréquence $f, 2f, 3f$, etc.

Créer une fonction périodique quelconque

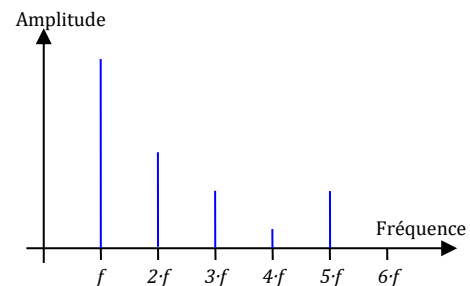
Fondamentale et harmoniques

La sinusoïde de fréquence f est appelée **fondamentale** ou **1^{ère} harmonique**.

La fonction de fréquence $n \cdot f$ est la **n^{ième} harmonique**, avec n un nombre entier.

Spectre d'une fonction périodique

Le spectre d'une fonction périodique se présente sous la forme d'un graphique, ressemblant au graphique ci-dessous :



En abscisse : fréquence de l'harmonique

En ordonnée : son amplitude

On en déduit donc quelles sont les harmoniques présentes dans la fonction et quelles sont leurs amplitudes relatives.

Un **son pur** est une sinusoïde, son spectre est donc constitué d'une seule harmonique.

Un **son complexe** possède un spectre présentant plusieurs harmoniques.

🔗 [Créer une fonction périodique à partir d'un spectre](#)

🔗 [Créer un son musical de A à Z](#)

Exercice 7 [Hauteur et timbre d'un son](#)

Rayonnements dans l'Univers

Extraire et exploiter des infos sur l'absorption de rayonnements par l'atmosphère terrestre et ses conséquences sur l'observation des sources de rayonnements dans l'Univers.

Connaître des sources de rayonnement radio, infrarouge et ultraviolet.

Définition

Rayonnement : processus d'émission d'énergie impliquant une onde ou une particule (synonyme : radiation).

Sources de rayonnements

Depuis la Terre, nous captions divers rayonnements électromagnétiques ainsi qu'un rayonnement cosmique particulaire.

Rayonnement particulaire

- Particules élémentaires : électrons, neutrinos, etc.
- Assemblages de particules élémentaires (par exemple noyaux formés de neutrons et de protons).
- Photons, particules associées aux ondes électromagnétiques.

Rayonnement électromagnétique

Contrairement aux ondes mécaniques, les ondes électromagnétiques ne nécessitent pas de milieu matériel pour se propager. Les sources des ondes électromagnétiques dans l'Univers diffèrent selon l'énergie des photons associés.

🔗 [Spectre et onde EM](#)

• **Ondes infrarouges, visibles et ultraviolettes** ont pour principales sources des corps chauffés (des étoiles dans l'Univers). La loi de Wien permet de faire le lien entre la température d'un corps noir et la longueur d'onde correspondant au maximum d'intensité émise par ce corps.

🔗 [Loi de Wien](#)

• **Ondes radio**, ou ondes hertziennes, sont produites sur Terre par des antennes, et dans l'espace par certaines étoiles en fin de vie, les pulsars, des gaz froids et des nuages de poussières.

• **Rayonnements ionisants (X ou gamma)** sont également créés dans le cosmos par des pulsars, des étoiles à neutrons, des naines blanches ou des phénomènes très énergétiques (absorption de matière par un trou noir, par exemple). Sur Terre, ils proviennent de corps radioactifs.

Étude de l'Univers

C'est grâce à l'analyse des ondes ou des particules que les scientifiques peuvent étudier les objets de l'Univers.

Chaque longueur d'onde apporte des informations différentes.

🔗 [Galaxie M81 à différentes longueurs d'onde](#)

🔗 [Radioastronomie](#)

🔗 [Astronomie dans d'autres longueurs d'onde](#)

Absorption de rayonnements

La Terre reçoit de toutes les directions de l'espace des rayonnements et des particules. Ces rayonnements interagissent avec l'atmosphère, ce qui empêche parfois leur détection (par exemple le rayonnement UV émis par le Soleil est absorbé en partie par l'atmosphère terrestre). Pour s'affranchir de cette limitation, certains détecteurs sont embarqués dans des engins spatiaux, comme le télescope Hubble.

Si ce flot ininterrompu n'était pas en grande partie arrêté par l'atmosphère, ses effets interdiraient toute vie sur Terre.

Rajouter le graphique

🔗 [Absorption des ondes EM par l'atmosphère](#)

Exercice 8 [La mission Planck](#)

Comportements ondulatoires

Diffraction

- 💡 Savoir que l'importance du phénomène de diffraction est lié au rapport λ / a .
- 💡 Connaître et exploiter la relation $\theta = \lambda / a$.
- 💡 Identifier les situations physiques où il est pertinent de prendre en compte le phénomène de diffraction.

Définition

La **diffraction** est la modification de la propagation d'une onde (ouverture du faisceau), sans changement de λ lorsque l'onde rencontre un obstacle de taille a suffisamment petit par rapport à λ .

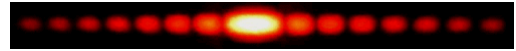
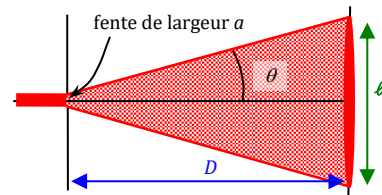


Figure de diffraction créée par une fente verticale, en lumière monochromatique.

La tache la plus brillante est appelée « tache centrale ». Sa largeur est notée ℓ sur le schéma ci-dessous.

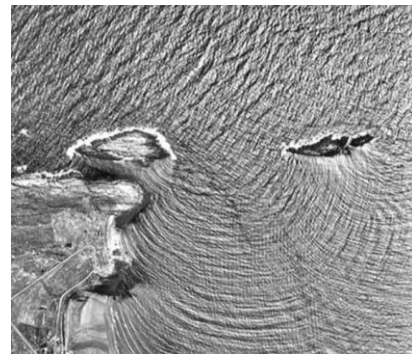


Vue de dessus du dispositif de diffraction. La fente est verticale et la figure de diffraction est horizontale

θ : angle entre la limite du faisceau définissant la **tache centrale** et la direction initiale de l'onde (en **radian**).

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

Toutes les ondes peuvent être diffractées.



Diffraction de la houle

Cas de la lumière blanche

Dans le cas de la lumière blanche, la diffraction provoque des irisations. Les figures de diffraction correspondant à chaque longueur d'onde se superposent.



🔗 [Diffraction par une fente](#)

🔗 [Diffraction par un trou](#)

Méthode : calcul de ℓ

Calculer ℓ si l'on connaît λ , a et D :

- $\tan \theta = \frac{1}{2} \times \ell / D = \ell / 2D$
- Si θ est assez petit et exprimé en radian, alors $\tan \theta \approx \theta$

• Or, $\theta = \lambda / a$, donc : $\frac{\lambda}{a} = \frac{\ell}{2D}$

TP 1.3 : Étude de la diffraction

Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier ou utiliser le phénomène de diffraction dans le cas des ondes lumineuses.

Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant un laser comme outil d'investigation ou pour transmettre de l'information

Problématique : Quelle est l'influence de la taille de l'obstacle sur le phénomène de diffraction ? Comment mesurer le diamètre d'un cheveu grâce à un rayon laser ?

Exercice 9 Tache centrale de diffraction

Exercice 10 Diffraction et longueur d'onde

Exercice 11 Surfez sur la vague

Interférences

Connaître et exploiter les conditions d'interférences constructives et destructives pour les ondes monochromatiques

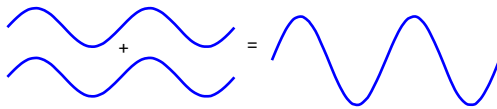
Superposition d'ondes

Deux ondes de même nature passant par un même point se superposent. La perturbation totale $S(t)$ en ce point est la somme algébrique des perturbations dues à chacune des ondes : $S(t) = s_1(t) + s_2(t)$.

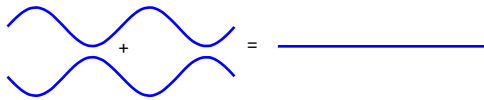
Superposition de deux ondes

Formation des interférences

Lorsque deux ondes de même fréquence et de même nature arrivent au même point **en phase**, il y a **interférence constructive**.



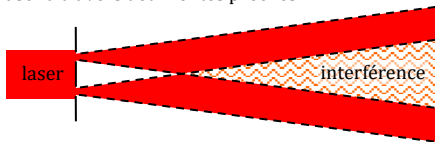
Si elles arrivent en **opposition de phase**, il y a **interférence destructive**.



Interférences de vagues

Interférences lumineuses

On peut facilement observer des interférences lumineuses en faisant passer un faisceau laser à travers deux fentes proches.



Dans la zone où les deux faisceaux se superposent, il y a interférence. On obtient la figure ci-dessous.



Figure obtenue par un dispositif de fentes doubles en lumière monochromatique

On reconnaît un motif de diffraction, lui-même découpé en une série régulière de zones sombres et de zones lumineuses. Nous étudierons ce motif en TP au chapitre P7, à l'aide d'un capteur numérique.

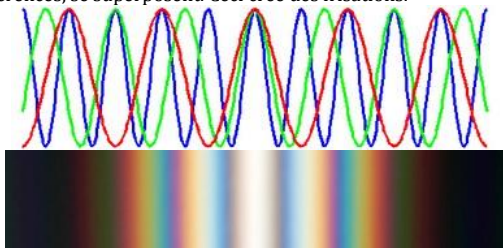
Conditions interférences

Interférences lumineuses

En lumière blanche

Comme pour la diffraction, le motif obtenu par interférence dépend de la longueur d'onde de la lumière utilisée.

Dans le cas de la lumière blanche (polychromatique), les figures d'interférences, se superposent. Ceci crée des irisations.



Exercice 12 Expérience des fentes d'Young

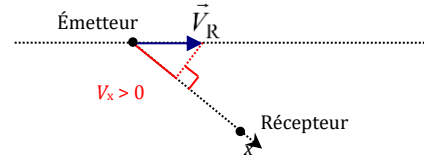
Effet Doppler

Exploiter l'expression du décalage Doppler de la fréquence dans le cas des faibles vitesses.

Utiliser des données spectrales et un logiciel de traitement d'images pour illustrer l'utilisation de l'effet Doppler comme moyen d'investigation en astrophysique.

Lorsqu'un émetteur d'une onde périodique de fréquence v_E est en mouvement par rapport à un récepteur, la fréquence v_R perçue par le récepteur peut être différente de v_E .

Effet Doppler



$v_x > 0$ si l'émetteur se rapproche du récepteur. $v_R > v_E$.

$v_x < 0$ dans le cas contraire et $v_R < v_E$

Mouvement émetteur-récepteur

$$v_R = v_E \cdot \left(1 + \frac{v_x}{c_{\text{onde}}} \right)$$

Mouvement d'un réflecteur

$$v_R = v_E \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot v_x}{c_{\text{onde}}} \right)$$

TP 1.4 : Détermination d'une vitesse par effet Doppler

Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mesurer une vitesse en utilisant l'effet Doppler.

Objectif : Mesurer la vitesse d'un vélo par effet Doppler.

Exercice 13 Quand les physiciens voient rouge