

Voyage au Cœur du Son : Les Ondes Sonores

Prérequis

Pour aborder ce chapitre avec succès, il est essentiel d'avoir une bonne maîtrise des notions suivantes, acquises lors de vos précédentes années de lycée :

- **En Première** : La notion générale d'**onde mécanique progressive**. Vous devez savoir qu'une onde est une propagation d'une perturbation, sans transport de matière mais avec transport d'énergie. La distinction entre une onde longitudinale et transversale est également un atout.
- **En Seconde et Première** : Les concepts de grandeurs physiques fondamentales comme la distance (en mètre, m), le temps (en seconde, s), et la vitesse (en mètre par seconde, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).
- **En Mathématiques** : Une connaissance des fonctions logarithmiques, notamment la fonction \log_{10} (logarithme décimal), vous sera très utile pour comprendre le niveau d'intensité sonore.

Ce cours sur les ondes sonores s'inscrit parfaitement dans le thème "Ondes et signaux" du programme de Physique-Chimie de Terminale Technologique, constituant une application concrète des principes généraux des ondes et préparant à l'étude des signaux en général.

Chapitre 1 : Le son, une onde mécanique singulière

Commençons par le commencement : qu'est-ce que le son, d'un point de vue physique ? C'est bien plus qu'une simple sensation auditive.

1.1. Nature du son : une perturbation mécanique

Une onde est, par définition, la propagation d'une perturbation dans un milieu, transportant de l'énergie sans transporter de matière. Le son s'inscrit pleinement dans cette catégorie.

Le son est une **onde mécanique progressive**. Cela signifie qu'elle a besoin d'un support matériel (solide, liquide ou gazeux) pour se propager. Contrairement à la lumière (une onde électromagnétique), le son ne peut absolument pas se propager dans le vide. C'est pourquoi, dans l'espace, personne ne vous entend crier !

Définition Une **onde mécanique** est une propagation d'une perturbation dans un milieu matériel élastique, sans transport de matière.

Cette perturbation se manifeste par des variations locales de pression et de densité dans le milieu. Lorsqu'une source sonore vibre (par exemple, les cordes d'une guitare, ou vos cordes vocales), elle met en mouvement les molécules d'air adjacentes. Ces molécules vont ensuite heurter leurs voisines, leur transmettant ainsi l'énergie de la vibration. C'est un effet domino.

1.2. Une onde longitudinale

Les ondes mécaniques peuvent être transversales ou longitudinales.

- Une **onde transversale** est une onde dont la direction de la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde (exemple : une vague à la surface de l'eau, ou une corde que l'on agite).
- Une **onde longitudinale** est une onde dont la direction de la perturbation est parallèle à la direction de propagation de l'onde. C'est le cas du son.

Imaginez une foule faisant la "ola" : la perturbation (le mouvement des personnes) est transversale à la direction de propagation de la ola. Maintenant, imaginez un ressort que vous poussez à une extrémité : la compression (la perturbation) se propage le long du ressort, dans la même direction que la poussée. Le son fonctionne de la même manière : les molécules d'air vibrent d'avant en arrière, dans le sens même de la propagation du son.

Définition : Une **onde longitudinale** est une onde dont la perturbation est parallèle à la direction de propagation.

1.3. Vitesse de propagation du son

La vitesse de propagation du son, souvent notée v , n'est pas constante. Elle dépend du milieu dans lequel le son se propage, et même de la température de ce milieu.

Plus le milieu est "rigide" et ses particules proches, plus la perturbation se transmet rapidement. Ainsi, la vitesse du son est généralement plus élevée dans les solides que dans les liquides, et plus élevée dans les liquides que dans les gaz.

Remarque pédagogique : C'est pourquoi, si vous posez votre oreille sur un rail de chemin de fer, vous entendrez le train arriver plus tôt par le rail que par l'air !

La vitesse du son dans l'air augmente également avec la température. À 0°C , elle est d'environ $331\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, et à 20°C , elle est d'environ $343\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

1.4. Ondes sonores, infrasons et ultrasons

L'oreille humaine est sensible à une plage de fréquences limitée.

- Les **ondes sonores** (ou sons audibles) sont les ondes de pression dont la fréquence est comprise entre environ 20 Hz et 20000 Hz (20 kHz).
- Les **infrasons** sont des ondes sonores dont la fréquence est inférieure à 20 Hz . Certains animaux (éléphants) les perçoivent.
- Les **ultrasons** sont des ondes sonores dont la fréquence est supérieure à 20000 Hz . Ils sont utilisés dans de nombreuses applications technologiques et médicales (échographie, sonar) et perçus par certains animaux (chauve-souris, dauphins).

Erreur fréquente : Confondre ondes sonores et ondes électromagnétiques (lumière, ondes radio). Les ondes sonores nécessitent un milieu, les ondes électromagnétiques non.

Question de réflexion : Si la vitesse du son dans l'air est d'environ $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, quelle distance le son parcourt-il en 3 s ? Quel phénomène cela vous rappelle-t-il lorsque vous observez un orage ?

Chapitre 2 : Les caractéristiques physiques d'une onde sonore

Une fois que nous avons compris la nature du son, il est crucial d'étudier ses caractéristiques mesurables qui nous permettent de le décrire précisément.

2.1. Période et fréquence

Comme toute onde périodique, une onde sonore est caractérisée par sa période et sa fréquence.

Définition : La **période** T d'une onde sonore est la durée du plus petit motif qui se répète. Elle s'exprime en secondes (s).

Définition : La **fréquence** f d'une onde sonore est le nombre de répétitions de ce motif par unité de temps. Elle s'exprime en Hertz (Hz).

La fréquence et la période sont inversement proportionnelles :

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{et} \quad T = \frac{1}{f}$$

Plus la fréquence est élevée, plus le son est aigu. Plus la fréquence est basse, plus le son est grave. C'est la fréquence qui détermine la **hauteur** du son perçu.

2.2. Longueur d'onde

Lorsque le son se propage, la perturbation se déplace. La longueur d'onde est la "taille" d'un motif de cette perturbation dans l'espace.

Définition : La **longueur d'onde** λ (lambda) est la plus petite distance séparant deux points du milieu qui vibrent en phase. Elle s'exprime en mètres (m).

La longueur d'onde, la fréquence et la vitesse de propagation sont liées par une relation fondamentale :

$$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{f}$$

où :

- λ est la longueur d'onde en mètres (m).

- v est la vitesse de propagation de l'onde dans le milieu en mètre par seconde ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).
- f est la fréquence en Hertz (Hz).

Exemple : Un son de fréquence $f=440\text{Hz}$ (le La du diapason) se propageant dans l'air à $v=340\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ aura une longueur d'onde $\lambda=\frac{340}{440}\approx 0,77\text{m}$.

2.3. Intensité sonore et niveau d'intensité sonore

L'amplitude de l'onde sonore est liée à l'énergie qu'elle transporte. Plus l'amplitude des variations de pression est grande, plus le son est "fort" ou intense.

Définition : L'intensité sonore I correspond à la puissance sonore par unité de surface traversée par l'onde. Elle s'exprime en watt par mètre carré ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$).

L'oreille humaine est capable de percevoir des intensités sonores extrêmement faibles (seuil d'audibilité $I_0=1,0\times 10^{-12}\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) jusqu'à des intensités très élevées (seuil de douleur, environ $1\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$). Cette vaste plage de valeurs rend l'utilisation directe de l'intensité sonore peu pratique. On utilise donc une échelle logarithmique : le niveau d'intensité sonore.

Définition : Le niveau d'intensité sonore L (parfois noté L_I) est une grandeur sans unité qui exprime l'intensité sonore sur une échelle logarithmique par rapport à une intensité de référence I_0 . Il s'exprime en décibels (dB).

La formule du niveau d'intensité sonore est :

$$L=10\cdot\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

où :

- L est le niveau d'intensité sonore en décibels (dB).
- I est l'intensité sonore en watt par mètre carré ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$).
- $I_0=1,0\times 10^{-12}\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ est l'intensité de référence (seuil d'audibilité de l'oreille humaine).

Exemple : Si l'intensité sonore est $I=1,0\times 10^{-6}\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ (conversation normale), alors :

$$L = 10 \cdot \log\left(\frac{1,0 \times 10^{-6}}{1,0 \times 10^{-12}}\right) = 10 \cdot \log(10^6) = 10 \cdot 6 = 60 \text{ dB}.$$

Remarque pédagogique : L'échelle des décibels est logarithmique. Cela signifie qu'une augmentation de 10dB correspond à une multiplication par 10 de l'intensité sonore. Par exemple, 70dB est 10 fois plus intense que 60dB . Une augmentation de 3dB correspond à un doublement de l'intensité sonore. C'est pour cela qu'il est si dangereux d'être exposé

à des niveaux sonores élevés, car l'énergie sonore augmente très vite !

Question de réflexion : Pourquoi, à votre avis, l'oreille humaine utilise-t-elle une perception logarithmique de l'intensité sonore et non linéaire ?

Chapitre 3 : Les phénomènes ondulatoires et le son

Le son, en tant qu'onde, est sujet à des phénomènes qui caractérisent le comportement de toutes les ondes : réflexion, diffraction, interférences, et résonance.

3.1. Réflexion et écho

Lorsque des ondes sonores rencontrent un obstacle, elles peuvent rebondir. C'est le phénomène de réflexion.

Définition : La **réflexion** est le phénomène par lequel une onde, rencontrant une surface, est renvoyée sans changement de fréquence ou de longueur d'onde.

L'**écho** est un cas particulier de réflexion sonore. Il se produit lorsque le son réfléchi revient à l'oreille avec un délai suffisant (plus de 50ms) pour être perçu comme un son distinct du son original.

- ***Exemple :** Dans une montagne ou une grande pièce vide, vous pouvez entendre votre propre voix se répéter. La réverbération est un phénomène similaire, mais les réflexions sont multiples et rapprochées, se superposant au son original et prolongeant sa durée de perception. C'est ce qui donne une "ambiance" sonore à une pièce (une cathédrale a beaucoup de réverbération).
- ==== 3.2. Diffraction ==== La diffraction est la capacité d'une onde à contourner les obstacles ou à s'étaler après avoir traversé une ouverture.
- Définition :** La diffraction est le phénomène par lequel une onde rencontre un obstacle ou une ouverture de dimension comparable à sa longueur d'onde, et change de direction de propagation en s'étalant derrière cet obstacle ou cette ouverture.
- Exemple :** Si une porte est ouverte dans une pièce, vous pouvez entendre les conversations de l'autre côté même si vous n'êtes pas dans l'axe direct de l'ouverture. Le son "contourne" le montant de la porte. Cet effet est d'autant plus marqué que la longueur d'onde du son est grande par rapport à la taille de l'ouverture. Les sons graves (grandes longueurs d'onde) diffractent mieux que les sons aigus (petites longueurs d'onde). C'est pourquoi on entend souvent mieux la basse d'une discothèque à travers les murs que les aigus.
- ==== 3.3. Interférences (qualitatif) ==== Lorsque deux ondes sonores ou plus se rencontrent dans le même milieu, leurs amplitudes s'additionnent ou se soustraient. C'est le phénomène d'interférence.
- Définition :** Les interférences se produisent lorsque deux ondes de même nature et de même fréquence se superposent dans le même milieu, conduisant à des zones d'amplification (interférences constructives) et des zones d'atténuation (interférences destructives) de l'amplitude de l'onde résultante.
- Exemple :** Dans une salle de concert mal insonorisée, certains endroits peuvent être très bruyants (interférences constructives) tandis que d'autres sont étrangement silencieux (interférences destructives), selon la position des

sources sonores et les réflexions. Les ondes stationnaires sont un cas particulier d'interférences. Elles sont créées lorsqu'une onde et son onde réfléchie se superposent, formant des points fixes où l'amplitude est nulle (nœuds) et des points où l'amplitude est maximale (ventres). C'est le principe de fonctionnement des instruments de musique à vent ou à cordes. === 3.4. Résonance (qualitatif) ===

La résonance est un phénomène où un système vibre avec une amplitude maximale lorsqu'il est soumis à une force oscillante dont la fréquence est proche de sa fréquence naturelle de vibration. Définition : **La résonance est l'amplification de l'amplitude des oscillations d'un système lorsqu'il est soumis à une excitation externe dont la fréquence est égale ou très proche de sa fréquence propre (ou naturelle).** Exemple : **Si vous tenez un coquillage contre votre oreille, vous pouvez entendre un bruit de "mer". En réalité, le coquillage, de par sa forme, a des fréquences propres de vibration. Les sons ambiants, même faibles, contiennent ces fréquences qui sont alors amplifiées par résonance à l'intérieur du coquillage. C'est aussi ce qui permet à une caisse de résonance d'une guitare d'amplifier le son des cordes. Un autre exemple célèbre est le verre qui se brise sous l'effet d'une note de musique, si la fréquence de la note correspond à la fréquence propre du verre. =====**

Chapitre 4 : Perception du son et applications

===== Au-delà de ses propriétés physiques, le son est aussi une sensation. Notre oreille et notre cerveau interprètent ces propriétés pour nous donner des attributs perceptifs. =====

4.1. Les attributs du son perçu =====

L'oreille humaine transforme les ondes de pression en signaux électriques qui sont ensuite interprétés par le cerveau. Trois attributs principaux caractérisent notre perception du son :

- La hauteur : **Elle est directement liée à la fréquence fondamentale de l'onde sonore. Un son de fréquence élevée est perçu comme aigu, un son de fréquence basse comme grave.**
- L'intensité (ou volume sonore) : **Elle est liée au niveau d'intensité sonore L (en *text{dB}*), qui dépend de l'amplitude de l'onde. Un niveau d'intensité sonore élevé correspond à un son fort, un niveau faible à un son faible.**
- Le timbre : **C'est ce qui nous permet de distinguer deux instruments différents jouant la même note (même hauteur et même intensité). Le timbre est lié à la forme de l'onde complexe, c'est-à-dire à la présence et à l'amplitude des harmoniques (multiples entiers de la fréquence fondamentale) qui accompagnent la fréquence fondamentale.** Analogie : **Imaginez un gâteau. La hauteur est la saveur principale (sucré), l'intensité est la quantité de gâteau, et le timbre est l'ensemble des épices et des arômes qui rendent chaque gâteau unique même s'ils partagent la même saveur principale et la même quantité. =====**

4.2. L'effet Doppler (qualitatif) =====

L'effet Doppler est un phénomène que nous expérimentons tous, même sans le savoir. Définition : **L'effet Doppler est le changement apparent de la fréquence (et donc de la hauteur) d'une onde perçue par un observateur, lorsque la source de l'onde est en mouvement relatif par rapport à cet observateur.** Exemple : **Le son d'une ambulance qui s'approche de vous semble plus aigu, puis plus grave après qu'elle vous ait dépassé. * Quand la source s'approche de l'observateur, les ondes sont "compressées", la fréquence perçue est plus élevée que la fréquence émise (son plus aigu). * Quand la source s'éloigne de l'observateur, les ondes sont "étirées", la fréquence perçue est plus basse que la fréquence émise (son plus grave). Cet effet est utilisé dans de nombreuses applications, comme les radars routiers (qui utilisent des ondes électromagnétiques) ou la mesure de la vitesse d'écoulement du sang en échographie Doppler (qui utilise des ultrasons). =====**

4.3. Applications des ondes sonores et ultrasonores =====

Les propriétés des ondes sonores et ultrasonores sont exploitées dans une multitude de

domaines : * Médecine : **L'échographie utilise les ultrasons pour "voir" à l'intérieur du corps humain (organes, fœtus) sans être invasif. Le principe est similaire au sonar : les ultrasons sont émis, se réfléchissent sur les tissus et sont captés par une sonde. Le temps de retour et l'intensité des ondes réfléchies permettent de reconstruire une image.** * Sonar : **Utilisé sous l'eau (par les sous-marins, les navires), le sonar (Sound Navigation and Ranging) permet de détecter des objets, de cartographier les fonds marins ou de localiser des bancs de poissons grâce à la réflexion des ultrasons.**

* Musique et acoustique : **La conception d'instruments de musique, de salles de concert ou de studios d'enregistrement repose sur une compréhension fine des phénomènes de résonance, de réflexion et d'absorption des ondes sonores.** * Contrôle non destructif : **Dans l'industrie, les ultrasons permettent de détecter des défauts (fissures, bulles d'air) dans des matériaux sans les endommager.**

Question de réflexion : **Comment la connaissance des ondes sonores et de leurs propriétés vous semble-t-elle essentielle pour les ingénieurs qui conçoivent des casques audio à réduction de bruit active ?** — Exercice d'application n°1 : La mesure d'une distance par l'écho **Un biologiste marin souhaite estimer la profondeur d'un banc de poissons sous son bateau. Il envoie une impulsion ultrasonore vers le fond marin et reçoit l'écho après $1,5 \text{ s}$. La vitesse des ultrasons dans l'eau de mer est estimée à $1540 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. - Quelle distance totale ont parcouru les ultrasons ? - Quelle est la profondeur du banc de poissons ?** Correction guidée n°1 : **Les ultrasons parcourent la distance aller-retour jusqu'au banc de poissons. * Nous connaissons la vitesse $v = 1540 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et le temps total $t = 1,5 \text{ s}$. * La formule reliant distance, vitesse et temps est $d = v \cdot t$. * Calcul : $d_{\text{total}} = 1540 \cdot 1,5 = 2310 \text{ m}$. * Les ultrasons ont parcouru une distance totale de 2310 m . - La profondeur h du banc de poissons correspond à la moitié de la distance totale parcourue par les ultrasons (un aller simple). * Calcul : $h = \frac{d_{\text{total}}}{2} = \frac{2310}{2} = 1155 \text{ m}$. * La profondeur du banc de poissons est de 1155 m .** — Exercice d'application n°2 : Niveau sonore d'un concert **Lors d'un concert, l'intensité sonore maximale mesurée à une certaine distance de la scène est $I = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Le seuil d'audibilité I_0 est de $1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. - Calculer le niveau d'intensité sonore L en décibels (dB). - Un groupe de spectateurs s'éloigne, et l'intensité sonore est divisée par 10 . Quel est le nouveau niveau d'intensité sonore ?** Correction guidée n°2 : **Utilisons la formule du niveau d'intensité sonore :**

$$L = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad * \quad L = 10 \cdot \log\left(\frac{2,5 \cdot 10^{-2}}{1,0 \cdot 10^{-12}}\right) *$$

$$L = 10 \cdot \log\left(2,5 \cdot 10^{10}\right) \quad * \quad \text{En utilisant une calculatrice : } L \approx 10 \cdot 10,4 = 104 \text{ dB} \quad *$$

Le niveau d'intensité sonore est d'environ 104 dB . C'est un niveau très élevé, proche du seuil de douleur. - Si l'intensité sonore est divisée par 10 , la nouvelle intensité I est I' . * Calculons le nouveau niveau d'intensité sonore L' :

$$L' = 10 \cdot \log\left(\frac{I'}{I_0}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{10 \cdot I_0}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) - 10 \cdot \log(10) = L - 20$$

$L' = 104 - 20 = 84 \text{ dB}$. * Une méthode plus rapide, grâce aux propriétés des logarithmes : Lorsque l'intensité sonore est divisée par 10 , le niveau d'intensité sonore diminue de 10 dB . Donc, $L' = 104 - 10 = 94 \text{ dB}$. — En conclusion, la compréhension des ondes sonores va bien au-delà de la simple appréciation de la musique. C'est une clé pour décrypter le monde physique qui nous entoure et pour innover dans des domaines aussi variés que la médecine, l'ingénierie et la communication. J'espère que ce cours vous aura passionné et vous aura donné

l'envie d'explorer encore davantage ces phénomènes. ===== Résumé ===== * Le son **est une** onde mécanique progressive longitudinale : **il se propage par une perturbation de pression et de densité parallèle à sa direction de propagation, nécessitant un milieu matériel (solide, liquide, gaz) et ne se propage pas dans le vide.** * La vitesse de propagation du son v **dépend du milieu et de sa température ; elle est plus rapide dans les solides que dans les liquides, et dans les liquides que dans les gaz (ex: $v_{\text{air}} \approx 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $v_{\text{eau}} \approx 1500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$).** * Les ondes sonores audibles **ont une fréquence comprise entre 20 Hz et 20000 Hz ; les infrasons ont une fréquence inférieure à 20 Hz et les ultrasons supérieure à 20000 Hz .** * La période T (en s) et la fréquence f (en Hz) **sont liées par $f = \frac{1}{T}$.** La fréquence détermine la hauteur du son. * La longueur d'onde λ (en m) **est la distance parcourue par l'onde pendant une période.** La relation fondamentale des ondes est $v = \lambda \cdot f$ ou $\lambda = \frac{v}{f}$. * L'intensité sonore I (en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) **correspond à la puissance sonore par unité de surface.** * Le niveau d'intensité sonore L (en dB) **est une échelle logarithmique de l'intensité sonore, définie par la formule $L = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$, où $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ est le seuil d'audibilité.** Une augmentation de 10 dB **correspond à une intensité multipliée par 10 .** * La réflexion **est le rebond des ondes sur un obstacle, donnant naissance à l'écho si le délai est suffisant.** * La diffraction **est la capacité du son à contourner les obstacles ou à s'étaler après une ouverture, d'autant plus marquée que la longueur d'onde est grande par rapport à l'obstacle/ouverture.** * Les interférences **sont la superposition de deux ondes ou plus, créant des zones d'amplification (constructives) ou d'atténuation (destructives).** * La résonance **est l'amplification des vibrations d'un système quand la fréquence d'excitation correspond à sa fréquence propre.** * Le son **est caractérisé par sa hauteur (liée à la fréquence), son intensité (liée au niveau sonore) et son timbre (lié aux harmoniques de l'onde).** * L'effet Doppler **est le changement apparent de fréquence d'une onde perçue par un observateur en mouvement relatif par rapport à la source.** * Les ultrasons **sont utilisés dans des applications comme l'échographie et le sonar**.**

From: <https://wikiprof.fr/> - wikiprof.fr

Permanent link: https://wikiprof.fr/doku.php?id=cours:lycee:sti2d:terminale_technologique:physique_chimie:les_ondes_sonores&rev=1778256391

Last update: 2026/05/08 18:06

