

1 Qu'est-ce qu'une onde ?

1.1 Un caillou dans un étang

Pour comprendre ce qu'est une onde, on peut en observer facilement en jetant un caillou dans un étang. Lorsque que l'on effectue cette expérience, on observe des vagues qui partent de façon concentrique au point d'impact. Ces vagues sont des variations périodiques de la hauteur d'eau, c-à-d des ondes.

Une onde sonore est comparable à ce type d'onde, à deux différences importantes : la variation porte sur la compression de la matière et une onde sonore se propage dans un volume et non dans un plan comme une vague.

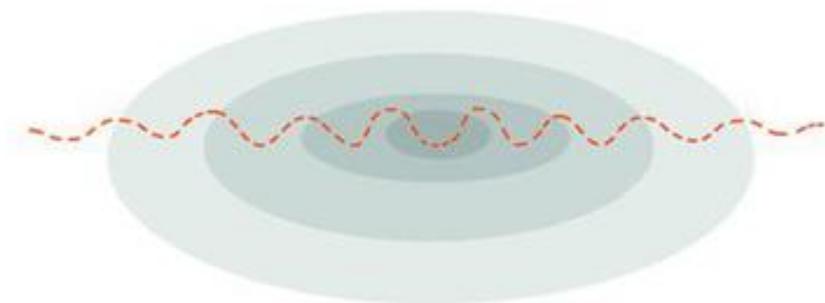


FIGURE 1 – Des ondes se formant sur un étang.

1.2 Longueur d'onde, Période, Fréquence

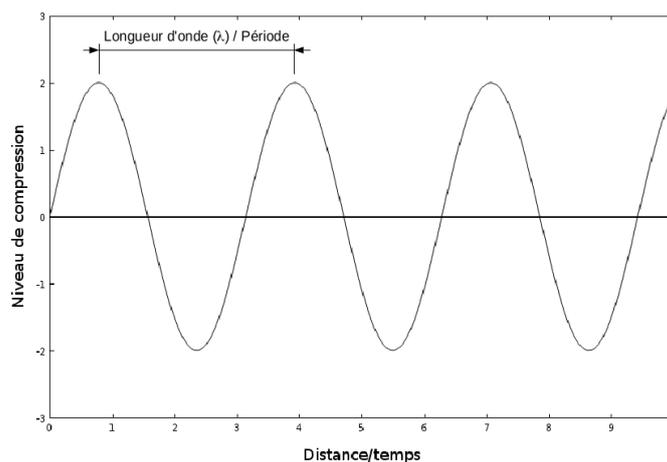


FIGURE 2 – Les caractéristiques d'une onde.

La longueur d'onde est la distance entre les deux valeurs maximums d'une variation périodique.

La période est le temps nécessaire pour la propagation d'une onde sur la distance d'une longueur d'onde.

La vitesse de propagation d'une onde est donc le rapport entre la longueur d'onde sur sa période.

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

La fréquence d'une onde est le nombre de maximum atteint par seconde. Elle correspond donc à l'inverse de la période.

$$T = \frac{1}{f}$$

La vitesse d'une onde correspond donc au produit de la longueur d'onde (λ) et de la fréquence (f).

$$v = \lambda * f$$

1.3 Onde, énergie et portée

Si une onde correspond à un déplacement, il ne s'agit pas d'un déplacement de matière. Une vague sur un plan d'eau ne fait pas se déplacer un objet flottant ; une onde sonore ne fait pas déplacer les molécules dans laquelle elle se propage. Une onde ne déplace donc que de l'énergie.

La quantité d'énergie transportée est proportionnelle à l'amplitude de l'onde et à sa fréquence. Plus la fréquence est élevée, plus la quantité d'énergie est importante.

Le déplacement de l'onde ne modifie pas sa longueur d'onde et donc sa fréquence. Cependant, si cette onde se diffuse dans un volume ou une surface plus importante, son amplitude s'atténuera peu à peu. En effet, la quantité d'énergie émise au départ doit correspondre à la quantité d'énergie à l'arrivée. Comme le front d'onde est plus élevée à l'arrivée qu'au départ, si la fréquence ne change pas, l'amplitude doit diminuer, même sans tenir compte de l'absorption de cette onde.

De plus, l'atténuation d'amplitude sera plus importante pour les hautes fréquences que pour les basses fréquences.

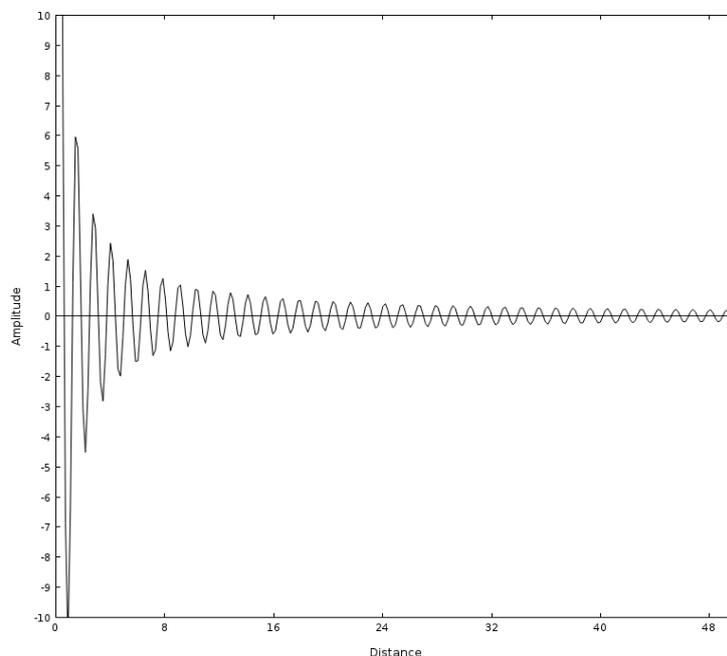


FIGURE 3 – Atténuation du son en fonction de la distance

1.4 Effet Doppler-Fizeau

L'effet Doppler, ou effet Doppler-Fizeau¹, est le décalage de fréquence d'une onde (mécanique, acoustique, électromagnétique ou d'une autre nature) observée entre les mesures à l'émission et à la réception, lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.

Imaginons le cas d'une personne sur une plage, debout dans l'eau, au bord du rivage. Des vagues arrivent à ses pieds toutes les dix secondes. La personne marche en direction du large : elle va à la rencontre des vagues, celles-ci l'atteignent alors avec une fréquence plus élevée, par exemple toutes les huit secondes. Lorsque cette personne se met à courir vers le large, les vagues l'atteignent alors toutes les cinq secondes. Lorsque cette personne fait demi-tour, et marche puis court en direction de la plage, les vagues l'atteignent avec une fréquence moins élevée, par exemple toutes les douze, puis quinze secondes.

La fréquence des vagues ne dépend pas du mouvement de la personne par rapport à l'eau (elle est notamment indépendante de la présence ou non d'un courant), mais du mouvement de la personne par rapport à l'émetteur des vagues (en l'occurrence un lieu au large où le courant s'oppose au vent).

Nous verrons l'effet Doppler-Fizeau dans le cadre sonore (le son d'un objet en mouvement) et le cadre électromagnétique (radar routier, décalage des couleurs des étoiles).

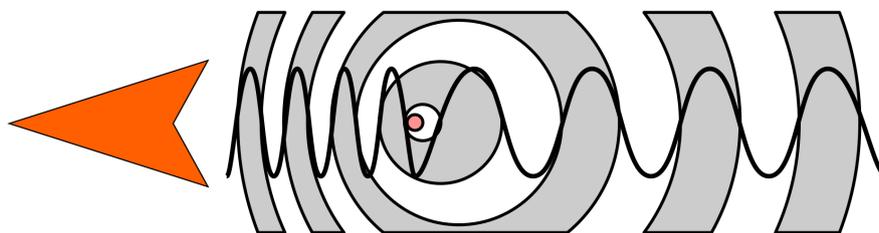


FIGURE 4 – L'effet Doppler-Fizeau

1. De Christian Doppler, 1803-1853, physicien autrichien et Hippolyte Fizeau, 1819-1896, physicien et astronome français

2 Les ondes sonores

2.1 Qu'est-ce qu'un son ?

Après la vue, l'ouïe est certainement le système sensoriel le plus important chez l'être humain. En effet, l'essentiel de la communication humaine se fait par l'audition ou par sa transposition symbolique l'écriture.

Cependant, tout comme la vue, proportionnellement peu d'êtres humains comprennent l'ensemble des processus physiques et biologiques qui permettent cette audition. Le but de ce chapitre sera d'expliquer au mieux les processus physiques liés aux sons.

Un son est une variation périodique de la compression ou de la dilatation de la matière. Pour qu'un son se propage, il faut donc de la matière ; dans le vide interstellaire pas de matière, donc pas de son. Le son peut donc se propager aussi bien dans un gaz (l'air), dans un liquide (l'eau) que dans les solides (la roche, par exemple, on parle alors d'ondes sismiques).²

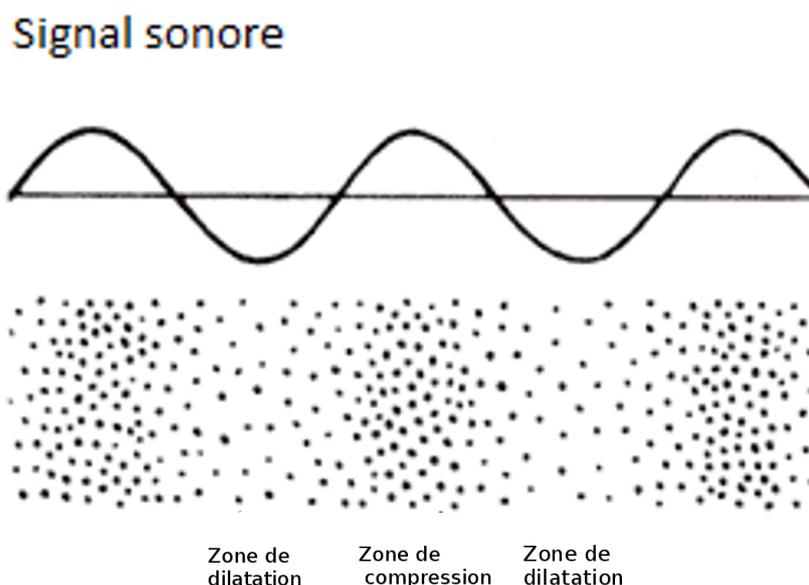


FIGURE 5 – Représentation d'une onde sonore

2.2 Milieu de propagation et vitesse

La vitesse de propagation d'une onde sonore dépend de la matière dans laquelle elle se propage. Plus le milieu est dense (c-à-d que le rapport de la masse sur le volume est important), plus cette vitesse est élevée.

Dans l'air, cette vitesse est approximativement de 340 m/s (1224 km/h) suivant la température et la pression atmosphérique.

Dans l'eau, cette vitesse est approximativement de 1500 m/s (5400 km/h) suivant la température et la pression.

Dans les roches, cette vitesse varie entre 3000 m/s (10 800 km/h) et 6000 m/s (21 600 km/h) suivant le type de roche.

2. cfr. 1 Qu'est-ce qu'une onde ?

2.3 Plage humaine d'audition

L'être humain perçoit les ondes sonores entre 20 Hz et 20 kHz (20 000 Hz). Avec l'âge, le tympan se rigidifie et les hautes fréquences sont donc moins perçues par les adultes (diminution vers 16 000 Hz). Les sons graves sont des sons basses fréquences, et donc dont la longueur d'onde est importante. Les sons aigus sont des sons hautes fréquences, et donc dont la longueur d'onde est courte.

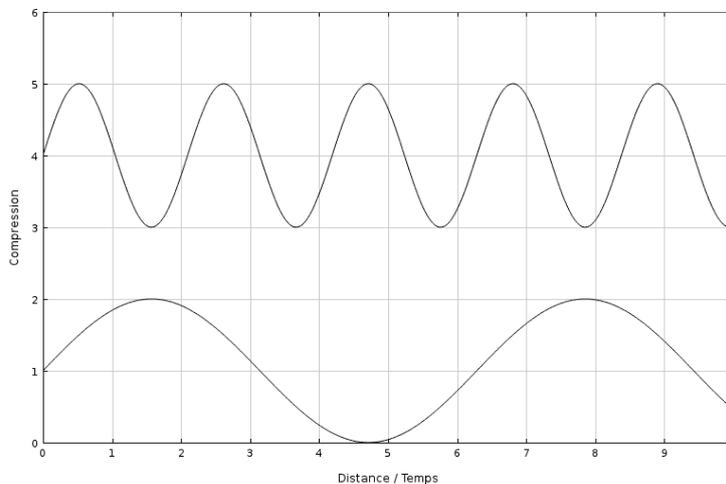


FIGURE 6 – L'onde du haut représente un son aigu. L'onde du bas représente un grave.

On appelle infra-sons les sons basses fréquences non perçus par l'être humain.

On appelle ultra-sons les sons hautes fréquences non perçus par l'être humain.

Le volume sonore dépend donc de l'amplitude de la compression, même si pour une même amplitude un son aigu (fréquence haute) sera perçu comme plus élevé qu'un son grave (fréquence basse).

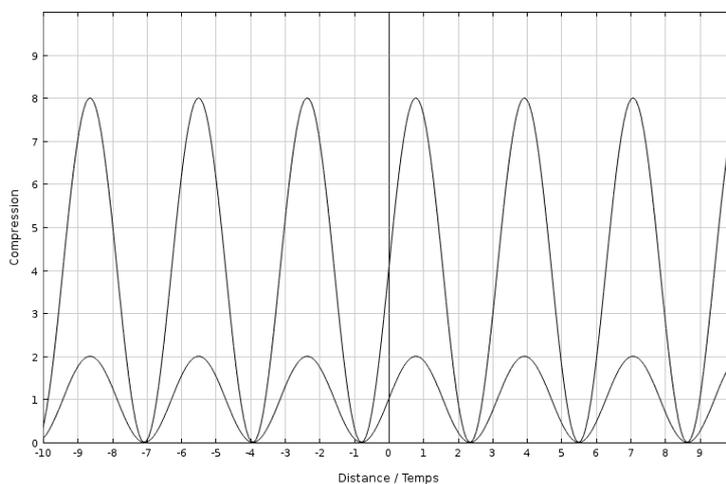


FIGURE 7 – Les deux ondes ont la même fréquence, mais celle qui a le plus de variation de compression a un volume plus important.

2.4 Intensité sonore

L'intensité sonore (ou puissance sonore) correspond à la quantité d'énergie liée à la compression de la matière par unité de temps.

2.4.1 Décibel

Le décibel (dB) est un dixième de bel.³

Cette unité permet d'évaluer l'intensité d'une onde par rapport à une valeur de référence. Dans le cadre des ondes sonores, l'intensité sonore de référence correspond à un son perceptible par l'être humain d'une onde de 1000 Hz⁴.

$$\beta = 10 * \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Donc, chaque augmentation de 10 décibels multiplie l'intensité sonore par 10; chaque diminution de 10 décibels divise l'intensité sonore par 10.

2.4.2 Risques sonores

Le tableau ci-dessous reprend les valeurs en décibels de différents environnements.

<i>Décibel</i>	<i>Environnement</i>	<i>Risque</i>
130	Avion à réaction au décollage	Douleurs
120	Voiture de course	Douleurs
110	Discothèque	Dangers
100	Moto de course	Dangers
90	Aboiements	
80	Auto à fort trafic	
70	Salle de classe	
60	Auto en trafic faible	
50	Restaurant tranquille	
40	Conversation normale	
30	Résidence tranquille	
20	Studio d'enregistrement	
10	Laboratoire d'acoustique	

FIGURE 8 – Décibels et dangers

En réalité, l'oreille humaine ne développe pas la même sensibilité à toutes les fréquences, comme on peut l'observer dans le graphique ci-dessous représentant la zone d'audibilité moyenne de l'oreille humaine (entre 0 et 30 ans). Ainsi, nous n'entendons que très peu les sons de basse fréquence, et sous les 20 Hz (infrasons), les sons sont carrément inaudibles. La même chose se produit pour les sons de haute fréquence : leur perception diminue dès 4 kHz et au-delà de 20 kHz (ultrasons), ils sont également inaudibles. Le maximum de sensibilité se situe entre 2 kHz et 4 kHz.

Avec l'âge et les comportements à risque, la zone d'audibilité tend à se réduire, surtout dans les hautes fréquences. Les conséquences d'une exposition à des sons ou des bruits trop intenses vont d'une simple fatigue auditive se traduisant par une légère baisse de l'audition, à une sensation d'oreille ouatée ou à des acouphènes (sifflements, bourdonnements dans les oreilles en absence de sources auditives) éventuellement permanents, pour aboutir à la surdité aux fréquences élevés, puis aux basses fréquences. Des campagnes de sensibilisation sont régulièrement menées auprès du public des festivals, des concerts ou de tout événement festif et musical. Que ce soit pour ses loisirs ou sur le lieu de

3. en l'honneur de Alexander Bell, phonéticien écossais, à l'origine du développement du télégraphe aux États-Unis à la fin du XIXème siècle

4. L'intensité de référence correspond à $10^{-12}W/m^2$.

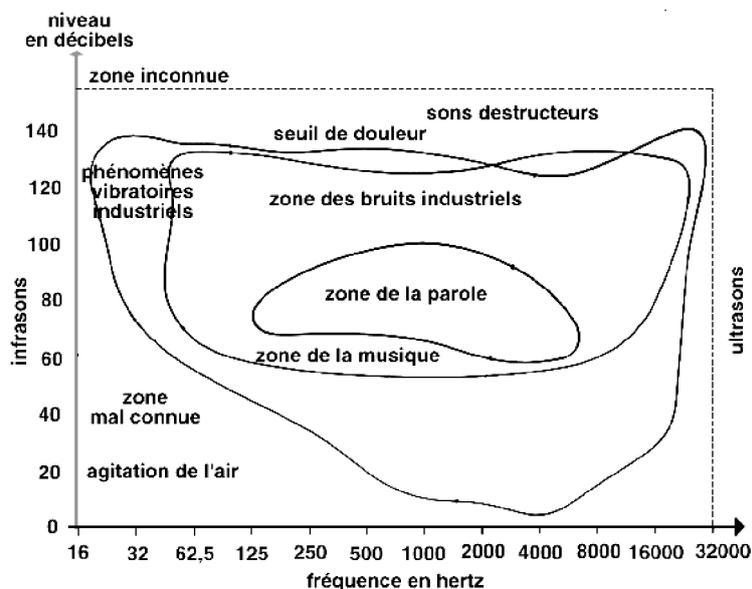


FIGURE 9 – Rapport entre décibels et fréquence.

travail, toute personne exposée trop longtemps à une intensité sonore élevée court le risque d'altérer durablement ses capacités auditives.

Certaines normes européennes fixent des plafonds d'intensités pour les écouteurs (100 dB) et pour les discothèques ou les concerts (105 dB), mais il faut également limiter les durées d'exposition. Si l'exposition à des intensités de moins 80 dB est considérée sans danger, l'usage d'écouteurs devrait être limitée à une heure par jour à 89 dB, à 30 minutes à 92 dB, à 15 minutes à 95dB, à 5 minutes à 100 dB de manière à ne pas produire de troubles irréversibles. Les expositions à des intensités sonores élevées doivent être brèves et entrecoupées de temps de repos.

2.4.3 Atténuations et protections sonores

La lutte contre les nuisances sonores est un enjeu important de notre société urbaine et industrialisée. Les machines et les transports sont aujourd'hui devenus des sources majeures de pollution acoustique du quotidien. Il n'existe que deux moyens de s'en protéger.

On peut tout d'abord tenter de s'éloigner de la source. En effet, l'intensité sonore sera divisée par le carré de la distance. Cela signifie que s'éloigner deux fois plus loin de la source divisera par quatre l'intensité sonore.

On peut aussi interposer entre la source et les oreilles de l'auditeur différents matériaux capables d'absorber en tout ou en partie les ondes sonores (casque auditif, paroi anti-bruit, ...). Chaque matériau aura des caractéristiques d'absorption phonique liées à certaines fréquences suivant sa densité et sa forme.

2.5 Ondes sonores et êtres vivants

2.5.1 Infra-sons

Certains animaux ont une audition qui leur permet d'écouter et/ou émettre les infrasons. Il s'agit de la girafe, de l'éléphant (jusque 10 Hz), et de la baleine (jusque 1Hz).

2.5.2 Ultra-sons

De nombreux animaux ont une audition qui leur permet d'écouter et/ou d'émettre les ultrasons. Il s'agit des chiroptères (chauve-souris), des cétacés (baleines, dauphins, cachalot), des chiens, de certains rongeurs (souris), et de grenouilles.

2.5.3 Écholocation

Certains animaux utilisent les sons pour se localiser. C'est ce qu'on appelle l'écholocation. Il émette une onde à ultrason qui ricoche sur les objets à proximité (et notamment, leurs proies). L'onde renvoyée leur permette de se localiser. Il s'agit des chiroptères (chauve-souris) et des cétacés (baleines, dauphins, cachalot).

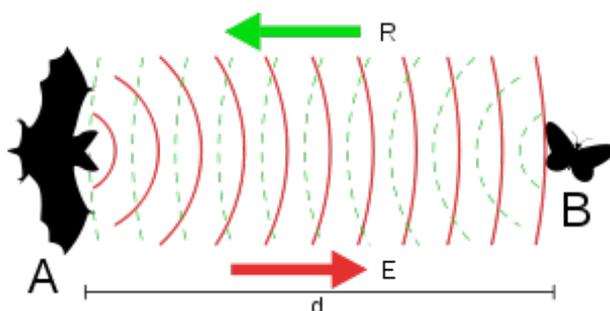


FIGURE 10 – La chauve-souris peut détecter les papillons en détectant les ondes qu'elle a émises et qui sont réfléchies par le papillon.

2.6 Applications

2.6.1 Sonars

Les sonars sont des appareils de détection sous-marins. Ils émettent des ultrasons qui vont ricocher sur les fonds et tout autre objet présent. L'onde réfléchiée par l'objet est détectée et permet de déterminer la distance de l'objet. Les sonars peuvent permettre de déterminer le profil du fond sous-marin (écho-sondeur), la présence de bancs de poissons (pour les pêcheurs) ou la présence de sous-marin (pour les militaires).

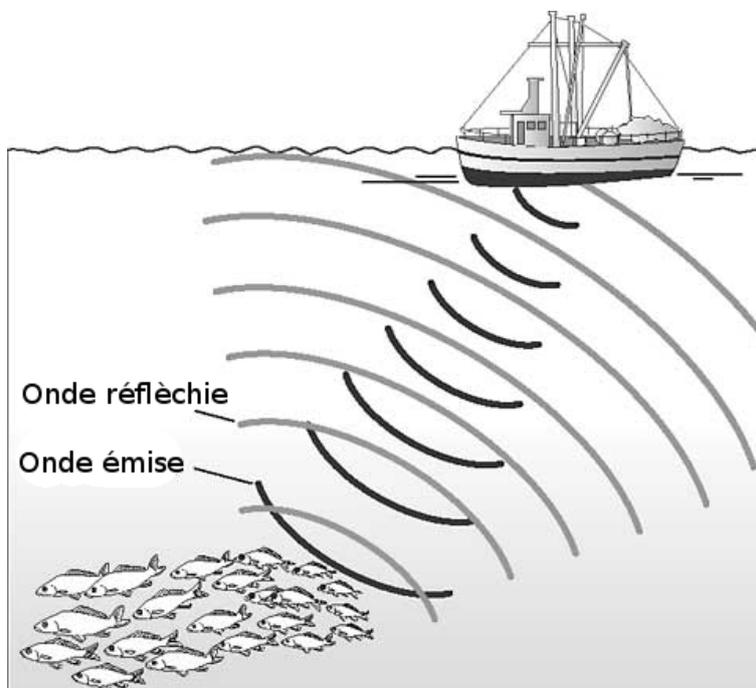


FIGURE 11 – Détection des bancs de poissons grâce au sonar.

2.7 Sons d'objets en déplacement

Lorsqu'un objet qui émet un son se déplace ou que le récepteur est en déplacement, l'effet Doppler-Fizeau est perceptible.

- Si la distance entre émetteur et récepteur augmente, le son émis est plus grave.
- Si la distance entre émetteur et récepteur diminue, le son émis est plus aigu.

L'exemple typique est une voiture qui s'approche d'un piéton. Le son augmente en amplitude à l'approche de la voiture, mais surtout il est plus aigu. Dès que la voiture a dépassé le piéton, le son diminue en amplitude et est plus grave.

2.7.1 Échographie

L'échographie est une technique d'imagerie médicale utilisant aussi les ultrasons. D'une façon analogue aux sonars, elle permet de donner une image des corps mous (muscles, vaisseaux sanguins, sac amniotique, ...). Son utilisation la plus fréquente se fait en diagnostic prénatal vers le 3ème et 6ème mois de grossesse. Une sonde est placée sur le ventre de la mère. Un gel permet la bonne transmission des ultrasons envoyés et réfléchis sur le fœtus.

2.7.2 Sismographie

Les ondes sismiques sont des ondes sonores se transmettant à travers la roche suite aux chocs de rupture de la croûte terrestre. L'étude de la sismologie a permis de grandes évolutions. D'une part, cette étude a permis une meilleure prévision des tremblements de terre et des éruptions volcaniques. D'autre part, grâce à des ondes sismiques parfois provoquées (explosions), les différentes couches de la Terre (croûte terrestre, manteau, noyau) ont pu être localisées et analysées en terme de composition.

3 Les ondes électromagnétiques

3.1 La lumière : onde ou particule ?

3.1.1 La lumière est une particule.

Les expériences de réflexion et de réfraction montre bien que la lumière se déplace en ligne droite. La réflexion est la déviation d'un rayon lumineux sur une surface réfléchissante. La réfraction est la déviation d'un rayon lumineux lorsque qu'il change de milieu (de l'air dans l'eau, par exemple).

On pourrait donc penser que la lumière se comporte comme un corps qui « rebondit » sur les surfaces (réflexion) ou dont la direction est modifiée en changeant de milieu (réfraction). On appelle cette particule, un **photon**.

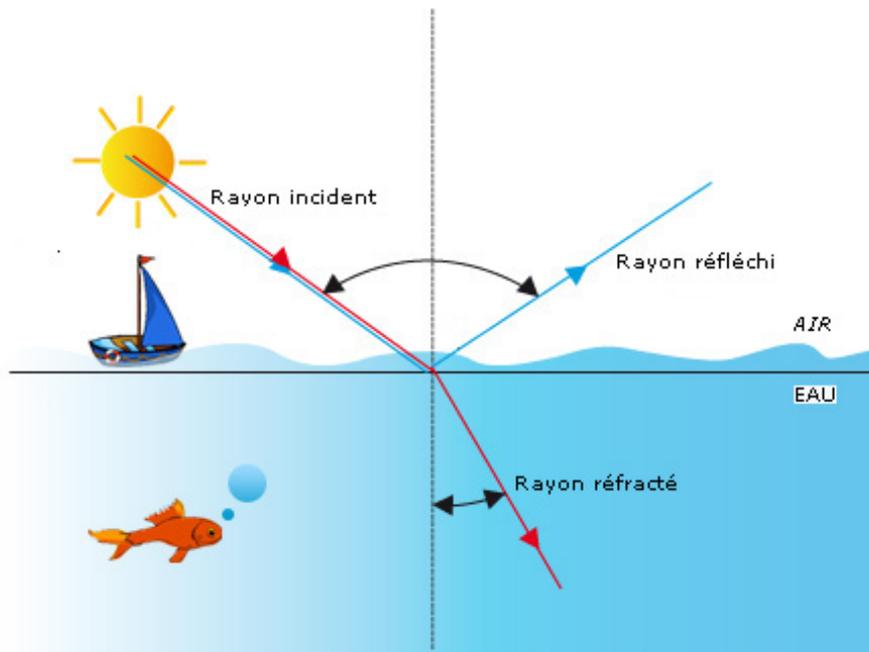


FIGURE 12 – Réflexion et réfraction de la lumière.

3.1.2 La lumière est une onde.

Lorsque qu'une onde passe par un passage dont la distance est plus petite ou proche de la longueur d'onde, on peut observer que le passage se comporte comme un générateur d'une nouvelle onde de même longueur. C'est le phénomène de **diffraction**.

Dans l'expérience des fente de Young⁵, un rayon lumineux traverse deux petites fentes et un écran est disposé à une certaine distance.

Si le rayon lumineux était constitué uniquement de photons, on devrait s'attendre à voir deux points lumineux sur l'écran.

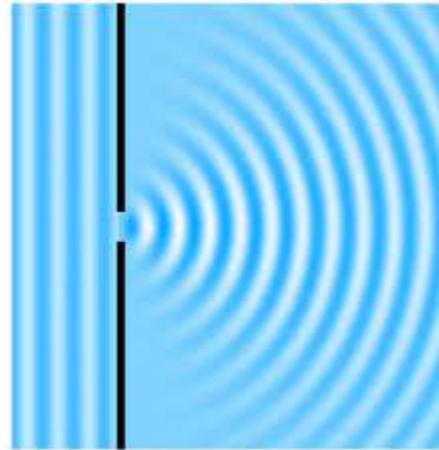
Ce n'est pas ce qui est observé. L'observation montre une série de franges lumineuses intenses au milieu et de moins en moins lumineux sur les bords.

Young a interprété son expérience en affirmant que la lumière est une onde. En effet, si c'est le cas, suivant la distance de l'écran, on devrait observer des amplifications de l'intensité lumineuse (par cumulation des deux « pics » d'ondes) ou des absences de lumière (par annulation d'un « pic » par un « creux »). Or, c'est bien ce que l'on observe.

5. Thomas Young, physicien, médecin et égyptologue anglais, première expérience en 1801

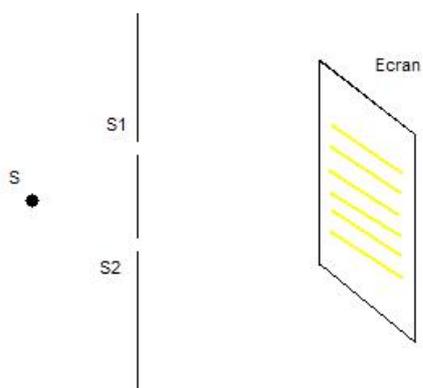


(a) Photo de vagues générant une diffraction.



(b) Modélisation de la diffraction.

FIGURE 13 – La diffraction.



(a) Dispositif des fentes de Young.



(b) Photographie de l'écran d'un dispositif des fentes de Young.

FIGURE 14 – Les fentes de Young.

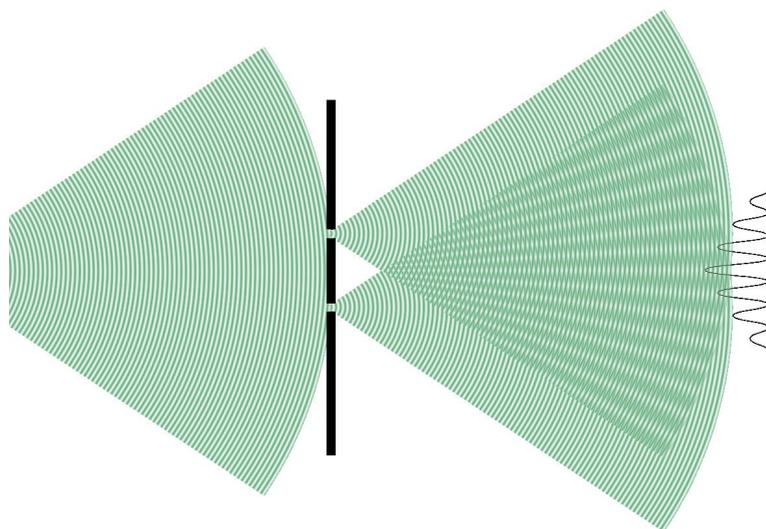


FIGURE 15 – Interprétation de l'expérience des fentes Young par les ondes.

3.1.3 La lumière est une onde et une particule.

Actuellement, on considère que tout rayonnement électromagnétique, est composée de particules (les photons, des particules proches des électrons) portées par une onde électromagnétique. En effet, les équations de physique peuvent s'écrire soit comme soit une onde, soit comme une particule.

La lumière est donc une onde électromagnétique, et une onde électromagnétique est une variation périodique du champ électromagnétique.

3.2 Les caractéristiques

3.2.1 Le champ électromagnétique

Le champ électromagnétique est un espace où s'exerce des forces dues à l'attraction des charges (champ électrique, + et - s'attirent) et des forces dues aux mouvements des charges (champ magnétique, attirance des aimants par exemple).

Vu que l'on ne peut séparer les charges (protons, électrons) de leur mouvement, on parle de champ électromagnétique et non de champ électrique et de champ magnétique.

3.2.2 Milieu de propagation

Les ondes électromagnétiques peuvent se propager dans le vide, dans l'air et dans les matériaux conducteurs d'électricité.

Les ondes électromagnétiques sont rapidement absorbées car dispersées, dans l'eau et les solides non-conducteurs proportionnellement à leur densité.

3.2.3 Vitesse

La vitesse de la lumière (et donc des ondes électromagnétiques) notés c (célérité) vaut $300000 \frac{\text{km}}{\text{seconde}}$ dans le vide (et comparable dans l'air).

La vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans les matériaux conducteurs dépend de leur composition, de leur densité, de leur température et de la fréquence de l'onde, mais reste proche de la vitesse de la lumière.

3.2.4 Énergie

Pour un photon, plus la longueur d'onde (λ) est faible, donc plus la fréquence est élevée, plus l'énergie (E) est importante.

En effet pour un photon, $E = \frac{c \times h}{\lambda}$, où c est la vitesse de la lumière (célérité), h est la constante de Planck.

L'énergie est donc directement proportionnelle à la fréquence.

3.2.5 Portée et Informations

Pour une technologie donnée, plus la fréquence est élevée (plus la longueur d'onde est faible), moins la portée est importante, mais plus la quantité d'informations transportées peut être importante.

Plus la fréquence est faible (plus la longueur d'onde est importante), plus la portée est importante, mais plus la quantité d'informations transportées est faible.

Ceci est dû au fait que les ondes à haute fréquence s'atténuent plus rapidement que les ondes à plus faible fréquence, mais que, par contre, une onde à haute fréquence transporte plus d'informations.

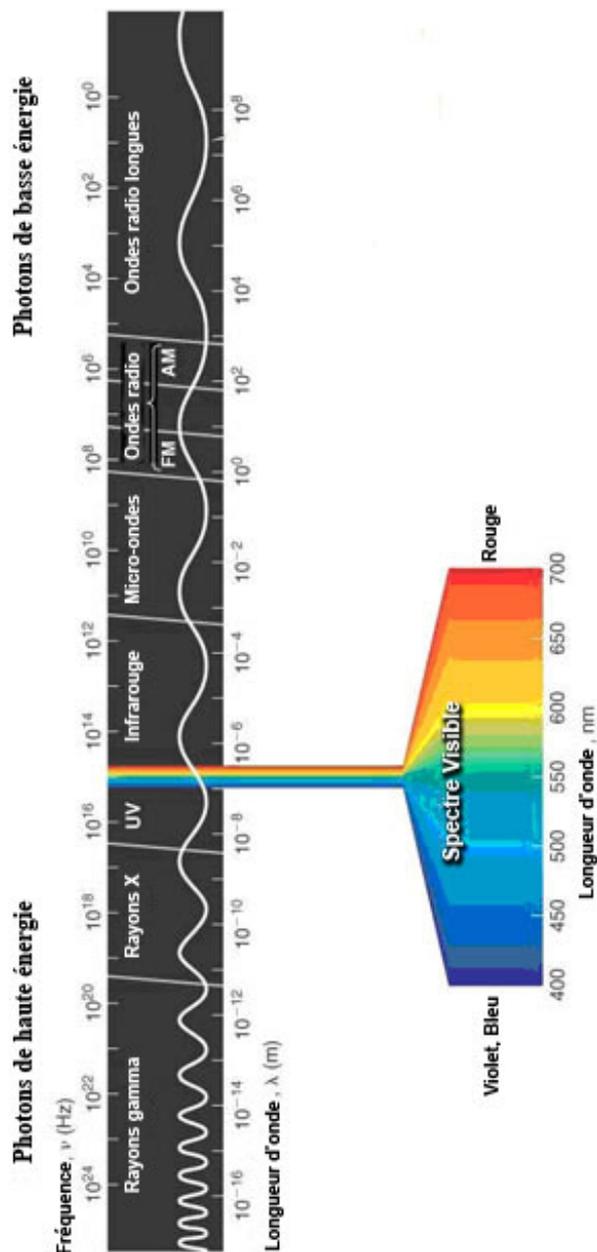


FIGURE 16 – Le spectre électromagnétique.

3.3 Le spectre électromagnétique.

3.3.1 Les ondes radios

Les ondes radios comprennent les ondes hertziennes et radar. elles ont une longueur d'onde entre 10 000 km et 10 centimètres.

Elles sont utilisées dans de nombreux domaines :

dans les télécommunications :

- radiodiffusion : FM (fréquence modulée), LW (ondes longues), MW (ondes moyennes) ;
- télédiffusion : UHF, VHF ;
- communication maritimes et aériennes ;
- communication satellites ;
- liaisons téléphoniques : ADSL/SDSL.

dans la télédétection :

- radiolocalisations maritime et aérienne (radars) ;
- radionavigations maritime et aérienne ;
- radioastronomie ;
- image radar en météorologie (détection des zones de précipitations).

Le fond diffus cosmologique Le fond diffus cosmologique a une longueur d'onde entre 73,5cm et 0,33cm.

3.3.2 Les micro-ondes : le rayonnement pénétrant

Les micro-ondes, au sens large, ont une longueur d'onde comprise entre 10 cm et 1 mm. Elles sont dites pénétrantes, car elles ont la capacité de commencer à faire vibrer les atomes et donc à traverser des corps solides.

Voici quelques unes de leurs utilisations :

- four à micro-ondes : échauffement des aliments par agitation par résonance de la molécule d'eau (2,45 GHz) ;
- Wifi : communication sans fil de réseau informatique (2,412 à 2,484 GHz et 5,170 GHz à 5,835 GHz) ;
- Bluetooth : communication sans fil de périphérique informatique (2,4 à 2,483 GHz) ;
- GSM (2G) : communication téléphonique sans fil (0,9 GHz et 1,8 GHz) ;
- LTE (4G/5G) : communication téléphonique sans fil (0,6 GHz à 28 GHz) ;
- les radars routiers utilisent l'effet Doppler-Fizeau pour déterminer la vitesse des véhicules ⁶.

3.3.3 L'infrarouge

L'infrarouge est l'onde électromagnétique typique émise par les corps lors d'une augmentation de température. Cette augmentation de température est détectée par les cellules sensorielles de notre peau. C'est pourquoi le rouge est associée à la chaleur par le cerveau, alors que le rouge est moins énergétique que le bleu.

La longueur d'onde va de 1 mm à 0,000765 mm (765 nanomètres). L'infrarouge est très utilisé en recherche scientifique et météorologie. Elle est utilisée pour transmettre des informations à courte distance de façon directionnelle (télécommande de télévision, ...).

6. Certains radars routiers utilisent la fréquence de 24,125 GHz.

3.3.4 Le visible

Le spectre visible est constitué des 3 couleurs de base ⁷ :

- le rouge/rose (magenta) (de 765 à 600 nanomètres)
- le jaune (590 à 575 nanomètres)
- le bleu/violet (cyan) (490 à 465 nanomètres)

C'est la combinaison de différentes longueurs d'ondes qui formera l'ensemble des couleurs.

- rouge + jaune = orange
- jaune + bleu = vert
- rouge + bleu = mauve
- blanc = rouge + jaune + bleu
- noir = absence de longueur d'onde visible

Un objet est perçu ayant une couleur car il absorbe certaines ondes ayant des longueurs d'onde spécifiques et réfléchit donc les autres ondes. La couleur d'un objet dépend donc du type de lumière éclairante et de la composition moléculaire de l'objet.

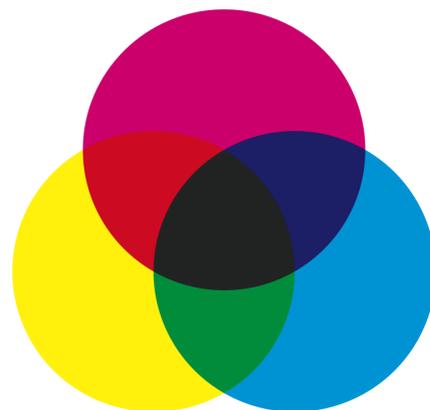


FIGURE 17 – Les couleurs fondamentales en physique.

Le décalage de couleurs des étoiles Le décalage spectral vers le rouge ou le bleu d'une étoile nous indique sa vitesse de déplacement via l'effet Doppler-Fizeau, qui fait que la fréquence de l'onde lumineuse augmente ou diminue selon la distance de l'observateur.

3.3.5 Les rayonnements ionisants

L'ultra-violet A partir des ultra-violets, le rayonnement électromagnétique est dit ionisant, car il peut dans certaines conditions scinder une molécule en deux ions. Le soleil nous renvoie des ultra-violets partiellement filtrés en haute atmosphère par la molécule d'ozone (O_3).

Les rayons X Les rayons X ont une longueur d'onde comprise entre 10 et 5 nanomètres. Ils conservent en les augmentant les propriétés ionisantes. Ils sont utilisés dans le domaine médical et le contrôle au douane.

Les rayons γ Les rayons γ sont des rayonnement ayant une longueur d'onde plus petite que 5 nanomètres. Ils sont produits lors d'une réaction nucléaire par désintégration radioactive (fission nucléaire). Ils sont responsables de graves brûlures et altérations moléculaires chez les êtres vivants.

⁷. Au niveau informatique, par contre, vu la grande sensibilité au vert de l'être humain, les normes utilisent le rouge/vert/bleu (RVB en français, RGB en anglais).

Table des figures

1	Des ondes se formant sur un étang.	1
2	Les caractéristiques d'une onde.	1
3	Atténuation du son en fonction de la distance	2
4	L'effet Doppler-Fizeau	3
5	Représentation d'une onde sonore	4
6	L'onde du haut représente un son aigu. L'onde du bas représente un grave.	5
7	Les deux ondes ont la même fréquence, mais celle qui a le plus de variation de compression a un volume plus important.	5
8	Décibels et dangers	6
9	Rapport entre décibels et fréquence.	7
10	La chauve-souris peut détecter les papillons en détectant les ondes qu'elle a émises et qui sont réfléchies par le paillon.	8
11	Détection des bancs de poissons grâce au sonar.	8
12	Réflexion et réfraction de la lumière.	10
13	La diffraction.	11
14	Les fentes de Young.	11
15	Interprétation de l'expérience des fentes Young par les ondes.	12
16	Le spectre électromagnétique.	13
17	Les couleurs fondamentales en physique.	15

Table des matières

1	Qu'est-ce qu'une onde ?	1
1.1	Un caillou dans un étang	1
1.2	Longueur d'onde, Période, Fréquence	1
1.3	Onde, énergie et portée	2
1.4	Effet Doppler-Fizeau	3
2	Les ondes sonores	4
2.1	Qu'est-ce qu'un son ?	4
2.2	Milieu de propagation et vitesse	4
2.3	Plage humaine d'audition	5
2.4	Intensité sonore	6
2.4.1	Décibel	6
2.4.2	Risques sonores	6
2.4.3	Atténuations et protections sonores	7
2.5	Ondes sonores et êtres vivants	7
2.5.1	Infra-sons	7
2.5.2	Ultra-sons	7
2.5.3	Écholocation	8
2.6	Applications	8
2.6.1	Sonars	8
2.7	Sons d'objets en déplacement	9
2.7.1	Échographie	9
2.7.2	Sismographie	9
3	Les ondes électromagnétiques	10
3.1	La lumière : onde ou particule ?	10
3.1.1	La lumière est une particule.	10
3.1.2	La lumière est une onde.	10
3.1.3	La lumière est une onde et une particule.	12
3.2	Les caractéristiques	12
3.2.1	Le champ électromagnétique	12
3.2.2	Milieu de propagation	12
3.2.3	Vitesse	12
3.2.4	Énergie	12
3.2.5	Portée et Informations	13
3.3	Le spectre électromagnétique.	14
3.3.1	Les ondes radios	14
3.3.2	Les micro-ondes : le rayonnement pénétrant	14
3.3.3	L'infra-rouge	14
3.3.4	Le visible	15
3.3.5	Les rayonnements ionisants	15