Chapitre 11 : Vitesse de propagation des signaux

📚 Voir le chapitre sur le livre, si la page ne s'ouvre pas automatiquement, allez à la page 212.

📥 Télécharger le pdf du cours

📝 Voir et télécharger la fiche de révision (PDF)

I. Propagation des signaux lumineux et sonores

1. La vitesse de la lumière : une limite universelle

- La lumière est un signal qui se propage dans le vide et dans les milieux transparents (air, eau, verre) à une vitesse finie mais extraordinairement élevée, appelée la **célérité (c)**.
- Dans le vide et dans l'air, sa vitesse est d'environ :

$$\mathbf{c \approx 300\ 000\ km/s = 3 \times 10^8\ m/s}$$

- **Activité : La lumière a-t-elle une vitesse infinie ?**
  Pendant longtemps, les Hommes ont cru que la lumière se déplaçait instantanément (vitesse infinie). Grâce aux

observations des lunes de Jupiter par Ole Rømer au XVIIe siècle, la science a prouvé que la lumière mettait du temps pour voyager. À notre échelle humaine, ce déplacement semble instantané (la lumière fait 7 fois le tour de la Terre en une seule seconde), mais sa vitesse est bien finie.

2. La vitesse du son : le besoin de matière

- Contrairement à la lumière qui peut voyager dans le vide absolu de l'espace, le son est une onde mécanique. Il a obligatoirement besoin d'un **milieu matériel** (solide, liquide ou gaz) pour déplacer ses molécules de proche en proche.
- Dans l'air à une température de $20\ ^\circ\mathrm{C}$ et au niveau de la mer, la vitesse du son est beaucoup plus lente que celle de la lumière :

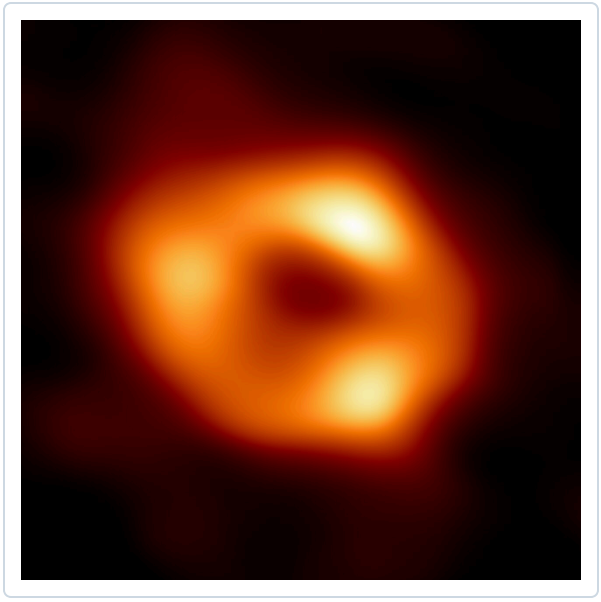
$$\mathbf{v_{son} \approx 340\ m/s = 1\ 224\ km/h}$$

3. L'année-lumière : mesurer l'infiniment grand

- Les distances dans l'Univers sont si colossales que les kilomètres ne suffisent plus. Les astronomes utilisent l'**année-lumière (al)**.
- *Activité : Quelle est la distance de Sagittarius A ?**

  Sagittarius A* (Sgr A*) est le trou noir supermassive situé au centre géométrique de notre galaxie, la Voie Lactée. Les scientifiques ont calculé qu'il se situe à une distance d'environ $26\ 000$ années-lumière de la Terre.

- *Que signifie cette distance ?* Une année-lumière est la distance parcourue par la lumière en une année (environ $9,5 \times 10^{12}\ km$). Dire que Sagittarius A* est à $26\ 000\ al$ signifie deux choses :
  a. La lumière voyageant à $300\ 000\ km/s$ met $26\ 000\ \text{ans}$ pour faire le voyage jusqu'à nous.
  b. Lorsque les télescopes observent Sagittarius A* aujourd'hui, ils ne le voient pas tel qu'il est en ce moment, mais **tel qu'il était il y a 26 000 ans**, au moment où la lumière a quitté le centre galactique. Regarder loin dans l'espace, c'est regarder loin dans le passé.



- **La prouesse technologique de l'EHT (Event Horizon Telescope) :**
  En mai 2022, les scientifiques ont publié la toute première image historique de Sagittarius A*. Un trou noir étant par définition totalement invisible (sa gravité est si forte que même la lumière ne peut s'en échapper), les astrophysiciens ont dû ruser.

- **Comment l'image a-t-elle été capturée ?** L'EHT a capturé les signaux lumineux invisibles à l'œil nu (des ondes radio) émis par le gaz brûlant qui tourbillonne à une vitesse folle autour du trou noir, créant une sorte d'anneau brillant qui dessine son "ombre" au centre.
- **La synchronisation de la Terre :** Pour capter ces signaux extrêmement faibles et lointains, les scientifiques ont relié ensemble 8 radiotélescopes répartis tout autour du globe (au Chili, à Hawaï, au pôle Sud, en Europe). En synchronisant la réception de ces signaux à l'aide d'horloges atomiques ultra-précises, ils ont transformé la Terre entière en un unique télescope géant virtuel.

II. Applications pratiques et calculs de distance

1. Calcul de distance par un signal direct : la règle "Flash et Bang"

- **Activité : L'éclair, le tonnerre et la vidéo du volcan**
  Lorsqu'une explosion se produit au loin (foudre ou éruption volcanique), la lumière du flash et le son du bang sont émis exactement en même temps.
  - Comme la lumière voyage à $300\ 000\ km/s$, l'image de l'explosion arrive dans nos yeux de façon quasi-instantanée ($t \approx 0\ s$).
  - Le son, bloqué à sa vitesse de $340\ m/s$, voyage beaucoup plus lentement. C'est ce décalage temporel

qui crée le délai entre ce que l'on voit et ce que l'on entend.

- **Exercice d'application : L'éruption explosive du volcan de Tavurvur**

  Sur la vidéo d'astronomie ci-dessous, on observe l'éruption d'un volcan. On voit nettement l'éclair de l'explosion, puis **l'onde de choc mécanique** se propager et repousser violemment les nuages tout autour du cratère. Un chronomètre rigoureux mesure un **délai de 12 secondes** entre l'image de l'explosion et l'arrivée du terrible "bang" sonore qui secoue la caméra.



- **Calcul de la distance séparant le cameraman du cratère du volcan :**

  La lumière nous donne le point de départ du temps ($t = 0$). Le son parcourt la distance à une vitesse constante $v = 340\ m/s$ pendant une durée $t = 12\ s$.

$$d = v \times t$$

$$d = 340 \times 12 = 4\ 080 \text{ mètres}$$

- **Conclusion :** Le spectateur se trouvait donc en parfaite sécurité à un peu plus de $4\ km$ du volcan lors du tournage de ces images.

2. Principe de la télémétrie et de l'écho (Aller-Retour)

- Dans les technologies de détection modernes (sonar des sous-marins, radar de recul des voitures, télémètres laser des chantiers), le signal doit faire un **aller-retour** : il part de l'appareil, frappe l'obstacle, rebondit et revient vers le détecteur.
- La distance parcourue par le signal est égale à deux fois la distance de l'objet ($2 \times d$). La formule de distance de l'obstacle devient donc :

$$\mathbf{d = \frac{v \times t}{2}}$$

III. Définitions

- **Célérité (c)** : Nom spécifique donné à la vitesse de propagation de la lumière ou d'une onde électromagnétique dans le vide ou dans un milieu transparent ($c \approx 300\ 000\ km/s$).
- **Onde mécanique** : Phénomène de propagation d'une perturbation locale dans un milieu matériel, sans transport de matière mais avec transport d'énergie (ex : le son, les vagues).
- **Année-lumière (al)** : Unité de distance utilisée en astronomie, correspondant à la distance parcourue par la

lumière en une année complète dans le vide ($1\ al \approx 9,5\ \text{milliards de kilomètres}$).

- **Écho** : Phénomène physique de réflexion d'une onde sonore qui revient vers sa source après avoir rebondi contre un obstacle opaque.
- **Télémétrie** : Technique scientifique permettant de mesurer à distance la position d'un objet en calculant le temps de vol aller-retour d'un signal (lumineux ou sonore).