

Les ondes électromagnétiques : de l'invisible au quotidien

Prérequis

Pour aborder ce cours dans les meilleures conditions, il est indispensable de maîtriser les notions suivantes issues des classes de seconde et de première :

- La définition d'un phénomène périodique et la relation entre période T (en s) et fréquence f (en Hz) : $f = \frac{1}{T}$.
- La notion de propagation d'un signal sans transport de matière.
- La conversion des unités (nanomètres, micromètres, gigahertz).
- La manipulation de base des puissances de dix.

Ce chapitre se situe généralement au milieu de l'année de Terminale technologique, après l'étude des signaux périodiques et avant l'étude de la transition énergétique ou de la santé, car il constitue le socle de compréhension des télécommunications et de l'imagerie médicale.

1. Les fondements physiques : Nature et caractéristiques

L'univers dans lequel nous évoluons est baigné d'ondes. Que ce soit la lumière qui nous permet de voir, les ondes Wi-Fi qui transportent nos données ou les rayons X utilisés à l'hôpital, tous ces phénomènes appartiennent à la même famille : les **ondes électromagnétiques**.

1.1 Qu'est-ce qu'une onde électromagnétique ?

Contrairement aux ondes mécaniques (comme le son ou les vagues) qui ont besoin d'un milieu matériel (air, eau, métal) pour se déplacer, une **onde électromagnétique** résulte de la propagation d'une perturbation des champs électrique et magnétique. Sa caractéristique majeure est qu'elle peut se propager dans le **vide** comme dans les milieux matériels transparents.

Dans le vide, toutes les ondes électromagnétiques se déplacent à une vitesse constante, appelée **célérité**, notée c . Sa valeur est : $c \approx 3,00.10^8 m.s^{-1}$

1.2 Les grandeurs caractéristiques

Une onde électromagnétique est définie par deux grandeurs intimement liées :

- **La fréquence (f ou ν)** : C'est le nombre de vibrations par seconde. Elle s'exprime en **Hertz** (Hz). Elle ne dépend que de la source de l'onde.
- **La longueur d'onde (λ)** : C'est la distance parcourue par l'onde pendant une période T . Elle

s'exprime en **mètres** (m).

La relation fondamentale reliant ces grandeurs est : $\lambda = \frac{c}{f}$

Remarque pédagogique : Attention à ne pas confondre la fréquence et la longueur d'onde. Elles sont inversement proportionnelles : plus la fréquence est élevée (vibrations rapides), plus la longueur d'onde est courte.

Exemple concret : Une station radio émettant sur 100MHz ($100 \cdot 10^6\text{Hz}$). Calculons sa longueur

$$\lambda = \frac{(3,00 \cdot 10^8)}{(100 \cdot 10^6)} = 3,00\text{m}$$

d'onde : L'antenne de réception devra avoir une taille proportionnelle à ces 3 mètres pour capter efficacement le signal.

2. L'exploration du spectre électromagnétique

Le **spectre électromagnétique** est le classement de toutes les ondes électromagnétiques en fonction de leur fréquence ou de leur longueur d'onde. Bien que de même nature, ces ondes interagissent très différemment avec la matière selon leur énergie.

2.1 Les différents domaines du spectre

On distingue classiquement plusieurs familles (de la plus grande longueur d'onde à la plus petite) :

- **Ondes Radio** ($\lambda > 10\text{cm}$) : Utilisées pour la radio, la télévision et les réseaux mobiles.
- **Micro-ondes** ($1\text{mm} < \lambda < 10\text{cm}$) : Radar, Wi-Fi, fours à micro-ondes.
- **Infrarouges (IR)** : Rayonnement thermique, télécommandes.
- **Domaine du Visible** ($400\text{nm} < \lambda < 800\text{nm}$) : La seule partie du spectre détectée par l'œil humain.
- **Ultraviolets (UV)** : Responsables du bronzage (et des coups de soleil).
- **Rayons X et Rayons Gamma** : Ondes de très haute fréquence, utilisées en médecine et industrie, mais très énergétiques.

2.2 L'aspect corpusculaire : le photon

Au début du XXe siècle, les physiciens ont découvert que l'onde électromagnétique peut aussi être décrite comme un flux de particules sans masse appelées **photons**. Chaque photon transporte un "paquet" d'énergie appelé **quantum**.

La loi de Planck permet de calculer l'énergie E d'un photon : $E = h \cdot f$ Où :

- E est l'énergie en **Joules** (J)
- h est la constante de Planck : $h \approx 6,63 \cdot 10^{-34}\text{J.s}$
- f est la fréquence en **Hertz** (Hz)

En utilisant la relation $\lambda = \frac{c}{f}$, on peut aussi écrire : $E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$

Analyse : On constate que l'énergie est proportionnelle à la fréquence. Ainsi, un photon de rayon X (haute fréquence) est beaucoup plus énergétique qu'un photon radio (basse fréquence). C'est pour cela que les rayons X peuvent traverser le corps humain alors que les ondes radio rebondissent ou sont absorbées sans dégâts cellulaires immédiats.

3. Propagation et applications technologiques

La propagation des ondes est régie par des phénomènes physiques qui déterminent la qualité de nos communications modernes.

3.1 Réflexion, réfraction et absorption

Lorsqu'une onde rencontre un obstacle ou un nouveau milieu, plusieurs scénarios se produisent :

- **Réflexion** : L'onde "rebondit" sur la surface (ex : miroir pour la lumière, ionosphère pour certaines ondes radio).
- **Réfraction** : L'onde change de direction en changeant de milieu (ex : lentille optique).
- **Absorption** : Le milieu absorbe une partie de l'énergie de l'onde et la transforme souvent en chaleur (ex : les aliments dans un four à micro-ondes).

3.2 L'atténuation d'un signal

Lorsqu'un signal se propage dans un câble ou dans l'air, sa puissance diminue avec la distance. C'est ce qu'on appelle l'**atténuation**. L'affaiblissement A (ou affaiblissement de propagation) s'exprime

$$A = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{\text{entree}}}{P_{\text{sortie}}} \right)$$

souvent en décibels (dB) :

Question de réflexion : Pourquoi capte-t-on moins bien le Wi-Fi dans une chambre éloignée de la box ? Le signal subit une atténuation due à la distance, mais aussi à l'absorption et à la réflexion causées par les murs et les dalles en béton.

3.3 Exercice d'application 1 : La fibre optique

Une fibre optique présente une atténuation linéique de $\alpha = 0,2 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$. On injecte un signal de puissance $P_{\text{entree}} = 10 \text{ mW}$. Quelle sera la puissance après 50 km de propagation ?

Corrigé guidé :

- Calculons l'atténuation totale : $A = \alpha \cdot L = 0,2 \cdot 50 = 10 \text{ dB}$.

$$10 = 10 \cdot \log\left(\frac{P_e}{P_s}\right), \text{ donc } 1 = \log\left(\frac{P_e}{P_s}\right).$$

- Utilisons la formule de l'atténuation :

$$10^1 = \frac{P_e}{P_s}, \text{ soit } P_s = \frac{P_e}{10}.$$

- Par définition du logarithme,

- Résultat : $P_s = \frac{10}{10} = 1mW$. Le signal a perdu 90% de sa puissance.

4. Interactions avec le vivant et enjeux de sécurité

L'omniprésence des ondes soulève des questions de santé publique. Il est crucial de distinguer les effets thermiques des effets ionisants.

4.1 Rayonnements ionisants et non-ionisants

- **Rayonnements non-ionisants** : (Radio, Micro-ondes, IR, Visible). Leur énergie est insuffisante pour arracher des électrons aux atomes des cellules. Leur principal effet est thermique (échauffement).
- **Rayonnements ionisants** : (UV lointains, Rayons X, Gamma). Leur fréquence est si élevée que chaque photon possède assez d'énergie pour briser des liaisons chimiques ou endommager l'ADN.

Encadré Sécurité : L'exposition aux rayonnements ionisants doit être contrôlée selon le principe **ALARA** (*As Low As Reasonably Achievable* - aussi bas que raisonnablement possible). C'est pourquoi le radiologue se protège derrière un écran de plomb.

4.2 Le Débit d'Absorption Spécifique (DAS)

Pour les téléphones portables, on utilise l'indice **DAS**. Il mesure la vitesse à laquelle l'énergie est absorbée par le corps humain lorsqu'il est exposé à un champ électromagnétique radiofréquence. Il s'exprime en $W.kg^{-1}$. En France, la limite réglementaire pour la tête est de $2W.kg^{-1}$.

4.3 Exercice d'application 2 : Énergie d'un photon UV

Un rayonnement ultraviolet a une longueur d'onde $\lambda = 250nm$.

- Calculer sa fréquence.
- Calculer l'énergie d'un photon associé.

Corrigé guidé :

- Données : $c = 3,00.10^8 m.s^{-1}$; $\lambda = 250.10^{-9} m$.

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{(3,00.10^8)}{(250.10^{-9})} = 1,2.10^{15} \text{ Hz}$$

$$\bullet E = h.f = 6,63.10^{-34} \cdot 1,2.10^{15} = 7,96.10^{-19} \text{ J}$$

Résumé

- Une **onde électromagnétique** se propage dans le vide à la célérité $c = 3,00.10^8 \text{ m.s}^{-1}$.
- La relation fondamentale entre longueur d'onde et fréquence est $\lambda = \frac{c}{f}$.
- Le **spectre électromagnétique** regroupe les ondes par domaines d'application (Radio, Visible, X, etc.).
- Le **photon** est la particule associée à l'onde, son énergie est donnée par $E = h.f$.
- Plus la fréquence est élevée, plus l'onde est énergétique et potentiellement **ionisante** (danger pour l'ADN).
- L'**atténuation** d'un signal traduit la perte de puissance lors de la propagation, elle s'exprime en décibels (dB).
- Le **DAS** limite l'exposition du public aux ondes des terminaux mobiles pour éviter l'échauffement des tissus.

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

Permanent link:
https://www.wikiprof.fr/doku.php?id=cours:lycee:sti2d:terminale_technologique:physique_chimie:les_ondes_electromagnetiques&rev=1781226669

Last update: 2026/08/15 12:57

