

Chapitre 5 : Les ondes électromagnétiques

Dr. Julien DOUADY

Objectifs pédagogiques du chapitre 5

A l'issue de ce chapitre, l'étudiant devra être capable :

- **De décrire, et de relier entre eux, les paramètres essentiels d'une onde électromagnétique**
- **De situer les spectres du visible, des infrarouges et des ultraviolets dans l'ensemble du spectre électromagnétique**
- **De définir l'indice de réfraction d'un matériau et son effet sur la propagation de l'onde lumineuse**

Plan du chapitre 5

1. Les ondes électromagnétiques (OEM) et leurs paramètres
2. Le spectre des ondes électromagnétiques
3. Dans la matière : l'indice de réfraction, la vitesse de propagation

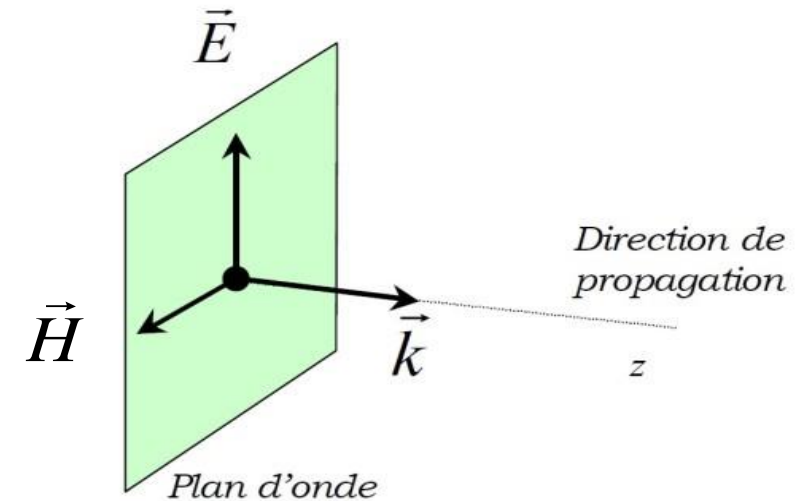
Chap. 5-1 – Les ondes électromagnétiques (OEM)

- **Les ondes électromagnétiques (OEM)** sont une catégorie d'ondes qui se propagent aussi bien dans le vide que dans la matière (gaz, liquide, solide)
- **Intérêt pour les ondes électromagnétiques (OEM) progressives** qui transportent simultanément un champ électrique \vec{E} et un champ magnétique \vec{H}
- **Propagation des OEM progressives** selon une direction de l'espace repérée par le **vecteur d'onde \vec{k}**
- **Intérêt pour les OEM planes et progressives :**
Le champ électrique et le champ magnétique évoluent dans un plan (le plan d'onde) de l'espace en fonction du temps

$$\vec{E} \perp \vec{H}$$

$$\vec{E} \perp \vec{k}$$

$$\vec{H} \perp \vec{k}$$



Chap. 5-1 – Les paramètres temporels des OEM

- OEM planes, progressives et sinusoïdales
- Paramètres temporels :
 - période temporelle d'oscillation T (s).
 - fréquence temporelle d'oscillation f (s^{-1} ou Hz).

On rappelle que $f = \frac{1}{T}$

- Dans le vide, l'OEM se propage à la vitesse c ($m.s^{-1}$)

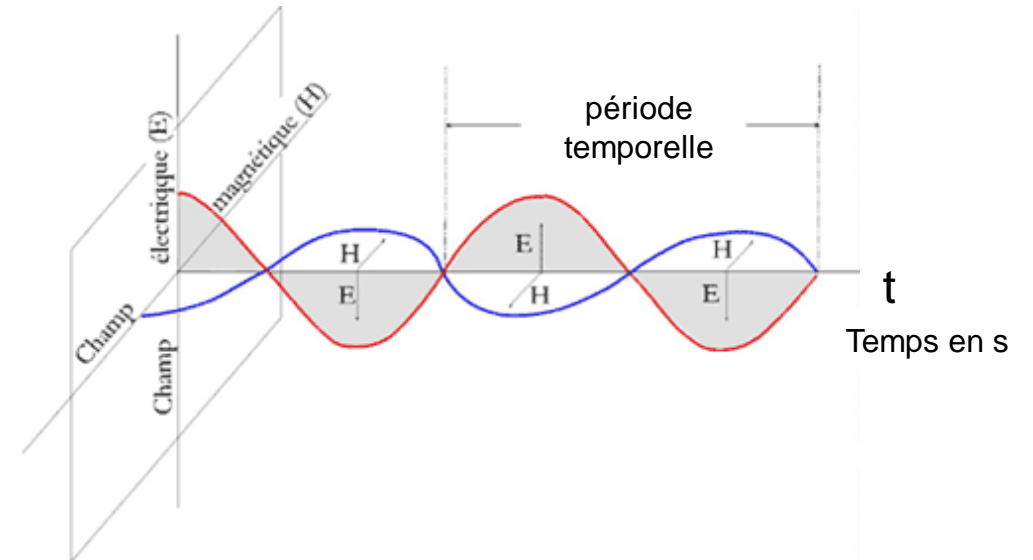
c est appelée **la célérité** ou la **vitesse « de la lumière dans le vide »**

sa valeur est fixée avec exactitude : $c = 299\,792\,456\, m.s^{-1}$.

On considère que $c = 3 \cdot 10^8\, m.s^{-1}$

Pour fixer les idées, les OEM :

- tournent 7 fois autour de la terre en 1s,
- parcourent la distance terre-soleil en ≈ 8 min.



Chap. 5-1 – La longueur d'onde dans le vide

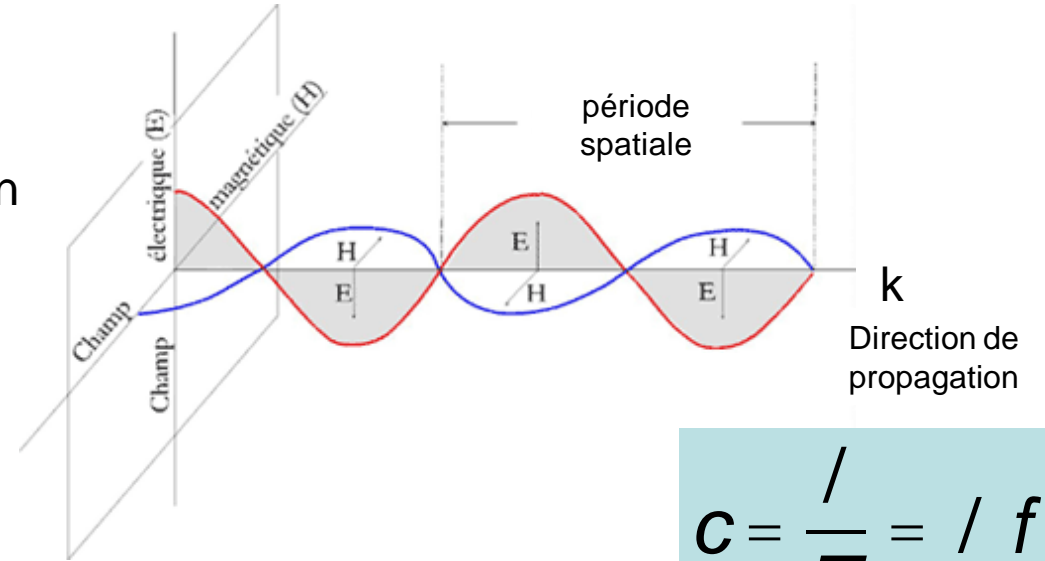
- Les OEM sont définies par **la longueur d'onde** qui représente **la période spatiale** de leur oscillation

- La longueur d'onde a pour symbole λ**

- λ est la distance parcourue par l'OEM pendant **la période temporelle d'oscillation T** (s).

- λ a pour unite le mètre ou ses multiples (m, dm, cm, mm, μm , nm, pm....)

- Les OEM sont **monochromatiques** si elles ont une seule longueur d'onde λ (ex : LASER)
- Les OEM **polychromatiques** mélangent plusieurs longueurs d'onde différentes (ex : soleil)



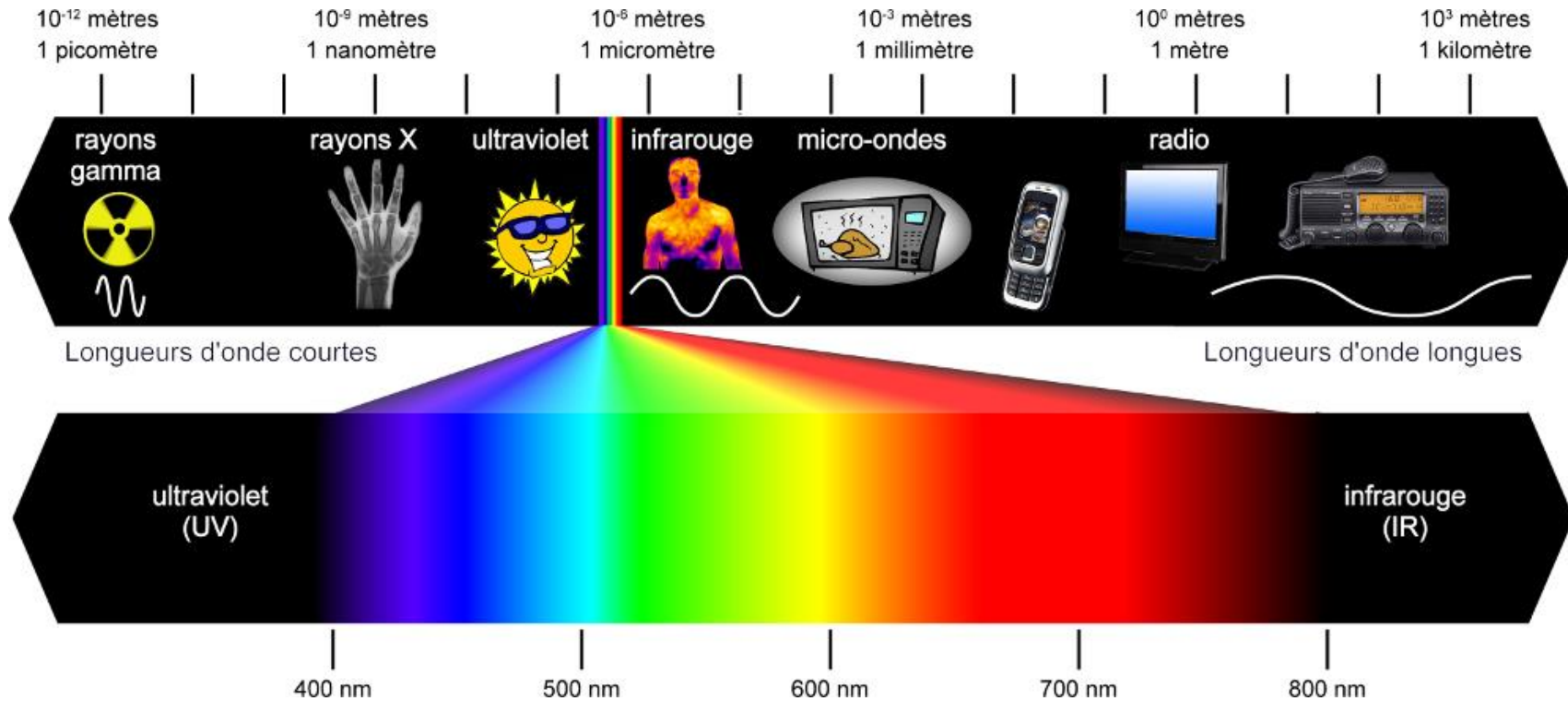
$$c = \frac{l}{T} = l \cdot f$$
$$l = cT = \frac{c}{f}$$

Plan du chapitre 5

1. Les ondes électromagnétiques (OEM) et leurs paramètres
2. Le spectre des ondes électromagnétiques
3. Dans la matière : l'indice de réfraction, la vitesse de propagation

Chap. 5-2 – Le spectre des OEM dans le vide

- Un spectre très étendu en fonction de la longueur d'onde



$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}$$

λ augmente \rightarrow

$\leftarrow f$ augmente

- Le spectre est scindé en domaines : les rayons gamma, X, UV, Visible, IR, μ -ondes....
- Les OEM naturelles (solaires) sont polychromatiques
- L'humain ne voit que la lumière visible : les longueurs d'onde comprises entre 400 nm et 800 nm
- Plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence est élevée

Plan du chapitre 5

1. Les ondes électromagnétiques (OEM) et leurs paramètres
2. Le spectre des ondes électromagnétiques
3. Dans la matière : l'indice de réfraction, la vitesse de propagation

Chap. 5-3 – Paramètres des OEM dans la matière

Dans la matière, l'onde électromagnétique est RALENTIE : sa vitesse est réduite par rapport au vide.

$$v = \frac{c}{n}$$

$$v < c$$

- **n désigne l'indice de réfraction : $n > 1$**

Remarque : pour un matériau transparent, la valeur de n ne dépasse pas 2,5.

Pour le vide, on a $n_{\text{vide}} = 1$;

Pour l'air, n est très proche de 1 : $n_{\text{air}} = 1,0008$ environ.

Dans la matière, les OEM se propagent à la vitesse v (m.s⁻¹) < la célérité c dans le vide

- **La longueur d'onde s'en trouve également modifiée :**

$$\lambda_{\text{matière}} = v T$$

$$\lambda_{\text{matière}} = \frac{v}{f} = \frac{c}{n} T = \frac{c}{nf} = \frac{\lambda}{n}$$

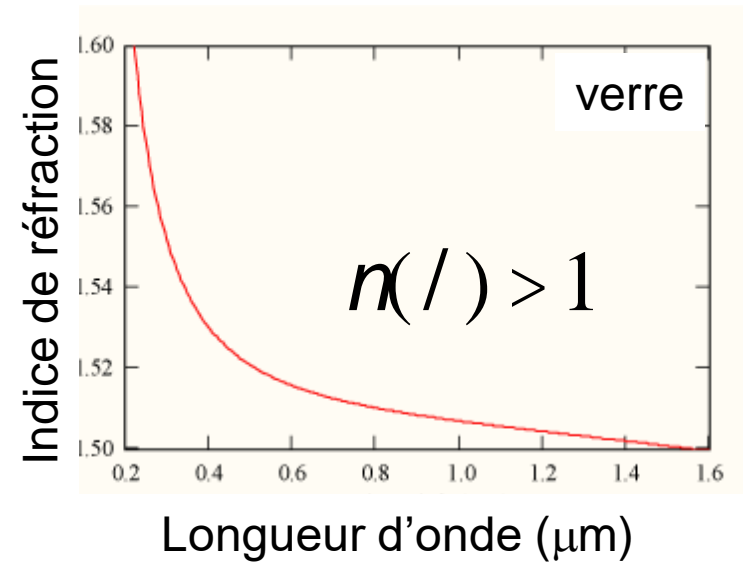
Chap. 5-3 – L'indice de réfraction et son évolution en fonction de la longueur d'onde

- **Etude de la matière homogène et isotrope :**
l'indice n diminue si la longueur d'onde λ augmente
- **Dans la matière, la vitesse v (m.s⁻¹) des OEM dépend de la longueur d'onde λ**

Si la longueur d'onde λ augmente,
alors l'indice de réfraction n diminue
et la vitesse v augmente

$$v = \frac{c}{n}$$

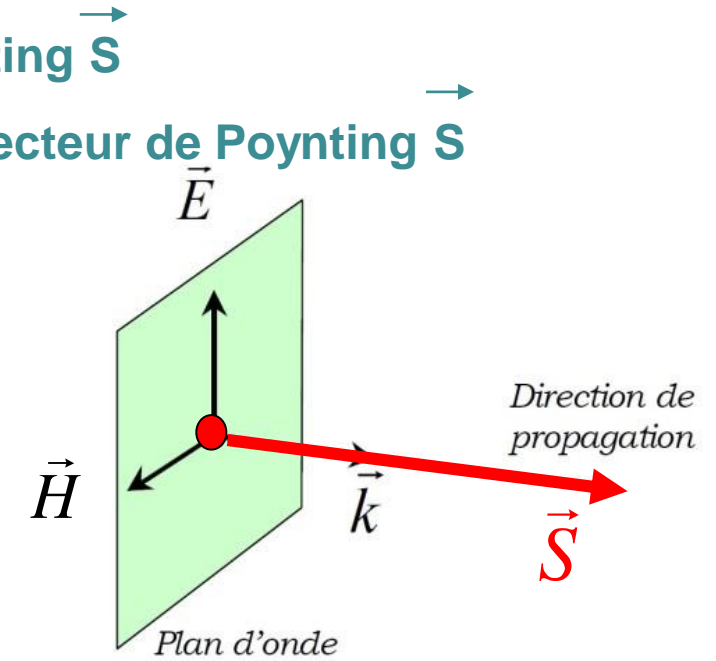
$$v < c$$



Chap. 5 – compléments : Propagation des OEM dans le vide ou dans la matière

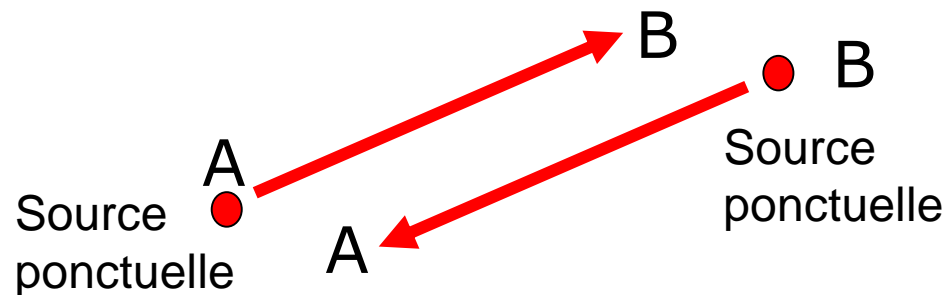
- Les OEM transportent des photons selon le vecteur de Poynting \vec{S}
- Les OEM transportent de l'énergie et de l'intensité selon le vecteur de Poynting \vec{S}

- **Le rayon lumineux associé aux OEM** : un outil mathématique qui décrit le trajet de l'énergie et de l'intensité I des OEM



- **Principe du retour inverse :**

même trajet entre A et B ou B et A



$$\vec{S} // \vec{k}$$

$$||\vec{k}|| = k = \frac{2\pi}{\lambda} n(\lambda)$$

$$||\vec{S}|| = S = I$$

Messages essentiels du chapitre 5

- Intérêt pour les OEM planes progressives et sinusoïdales qui se propagent dans le vide ou dans la matière
- Les OEM sont caractérisées par :
une période T , une fréquence f , une longueur d'onde λ , une vitesse (c dans le vide, v dans la matière), et une intensité I
- La matière est caractérisée par son indice de réfraction n
- Le spectre des OEM fait apparaître des domaines dont les UV, le visible ($0,4 \mu\text{m} < \lambda < 0,8 \mu\text{m}$), les IR...

Mentions légales

L'ensemble de ce document relève des législations française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction de tout ou partie sont réservés pour les textes ainsi que pour l'ensemble des documents iconographiques, photographiques, vidéos et sonores.

Ce document est interdit à la vente ou à la location. Sa diffusion, duplication, mise à disposition du public (sous quelque forme ou support que ce soit), mise en réseau, partielles ou totales, sont strictement réservées à l'Université Grenoble Alpes (UGA).

L'utilisation de ce document est strictement réservée à l'usage privé des étudiants inscrits à l'Université Grenoble Alpes (UGA), et non destinée à une utilisation collective, gratuite ou payante.