

## Plan du cours

### I - Équation de propagation et propriétés des solutions

- 1 - Équation de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide
- 2 - Solutions en ondes planes
- 3 - Solutions en ondes planes progressives monochromatiques (OPPM)
- 4 - Structure des ondes planes progressives monochromatiques (OPPM)

### II - Polarisation des OPPM

- 1 - Polarisation
- 2 - Cas particulier de la polarisation rectiligne
- 3 - Polariseurs

### III - Aspect énergétique des OPPM

- 1 - Densité volumique d'énergie
- 2 - Vecteur de Poynting

### IV - Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)

## Ce qu'il faut connaître

————— (cours : I)

- <sub>1</sub> Quelle est l'équation de propagation des champs  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$  dans une zone vide de charges et de courants ?  
Quelle est l'expression du laplacien vectoriel en coordonnées cartésiennes ?  
Quelle est l'expression de la célérité des ondes électromagnétiques dans le vide en fonction de  $\epsilon_0$  et de  $\mu_0$  ?
- <sub>2</sub> Connaître la forme des solutions en ondes planes progressives :  $\vec{E}(ct - z)$  et  $\vec{B}(ct - z)$  pour l'exemple d'une propagation selon  $+\vec{e}_z$ .  
Connaître la structure de ces ondes dans le vide :  $\vec{E}$ ,  $\vec{B}$ ,  $\vec{u}$  trièdre orthogonal direct ( $\vec{u}$  direction de propagation).
- <sub>3</sub> Connaître la forme des solutions en ondes planes progressives monochromatiques :
  - en notation complexe, par ex. :  $\vec{E}(M, t) = \vec{E}_0 e^{j(\omega t - kz)}$  si propagation selon les  $z$  croissants, avec la condition  $\omega/k = c$  ;
  - le champ réel est alors  $\vec{E}(M, t) = \text{Re} \left\{ \vec{E}(M, t) \right\}$ .

Connaître les propriétés des OPPM solutions des équations de Maxwell dans le vide :

- $\vec{E}$ ,  $\vec{B}$ ,  $\vec{k}$  trièdre orthogonal direct ;
  - $\vec{B} = \frac{\vec{k} \wedge \vec{E}}{\omega}$  et donc  $\|\vec{B}\| = \|\vec{E}\|/c$ .
- <sub>4</sub> Expliquer le caractère idéal des OPPM et leur intérêt.
  - <sub>5</sub> Citer des domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leurs applications.

————— (cours : II)

- <sub>6</sub> Polarisation d'une OPPM :
  - C'est l'étude de l'évolution de la direction de  $\vec{E}(M, t)$  (le vecteur *réel*, pas complexe) à  $M$  fixé, dans le plan perpendiculaire à  $\vec{k}$ .
  - Connaître les différents cas possibles : pas de polarisation ( $\vec{E}(M, t)$  varie rapidement aléatoirement), polarisation elliptique (la pointe du vecteur  $\vec{E}(M, t)$  décrit une ellipse), dont cas particuliers pour cette ellipse (l'ellipse est un cercle : polarisation circulaire, et l'ellipse se réduit à un segment : polarisation rectiligne).
- <sub>7</sub> Comment s'écrit le champ  $\vec{E}(M, t)$  dans le cas d'une OPPM se propageant dans les  $z$  croissants et de polarisation rectiligne selon le vecteur  $\vec{\alpha}$  ?  
( $\vec{E}(M, t) = E_0 e^{j\varphi} \vec{\alpha} e^{j(\omega t - kz)}$ , soit en notation réelle :  $\vec{E}(M, t) = E_0 \vec{\alpha} \cos(\omega t - kz + \varphi)$ .)

- ▶<sub>8</sub> Quel est le principe d'un polariseur pour les ondes dans le domaine de l'optique ?  
 \_\_\_\_\_ (cours : IV)
- ▶<sub>9</sub> Quelle doit être la relation entre  $\tau$  (temps de propagations des ondes à travers le système) et  $T$  (période de variations des champs  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$  et donc des sources) pour être dans l'ARQS ?  
 Quelles sont les conséquences de l'ARQS pour l'étude des circuits électriques ? (loi des nœuds valide)  
 Quelles sont les conséquences de l'ARQS magnétique sur les équations de Maxwell ? (pas de terme  $\mu_0\epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$  donc théorème d'Ampère valide, c'est le cadre de l'induction)

## Ce qu'il faut savoir faire

- \_\_\_\_\_ (cours : I)
- ▶<sub>10</sub> À partir des équations de Maxwell, démontrer l'équation de propagation des champs  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$  dans une zone vide de charges et de courants.  
 \_\_\_\_\_ (cours : II)
- ▶<sub>11</sub> Reconnaître l'expression d'une OPPM polarisée rectilignement, qu'elle soit donnée en notation réelle ou complexe (TD I).
- ▶<sub>12</sub> Proposer et/ou interpréter une expérience avec un analyseur pour conclure sur le caractère polarisé rectilignement d'une lumière.  
 \_\_\_\_\_ (cours : III)
- ▶<sub>13</sub> Pour une OPPM dans le vide, exprimer la densité volumique d'énergie  $u$  et le vecteur de Poynting  $\vec{\Pi}$ , ainsi que leurs moyennes sur une période.
- ▶<sub>14</sub> Exprimer la puissance électromagnétique rayonnée à travers une surface  $S$ .  
 \_\_\_\_\_ (cours : IV)
- ▶<sub>15</sub> Estimer si l'on peut se placer dans l'ARQS ou non.
  - On considère un circuit électrique de TP, dont la longueur est de l'ordre d'un mètre. Dans quelle gammes de fréquences peut-on considérer que l'on est dans l'ARQS ?

## Documents

### I – Équation de propagation et propriétés des solutions

Figure 1 : Spectre des ondes électromagnétiques (source : Wikipedia)

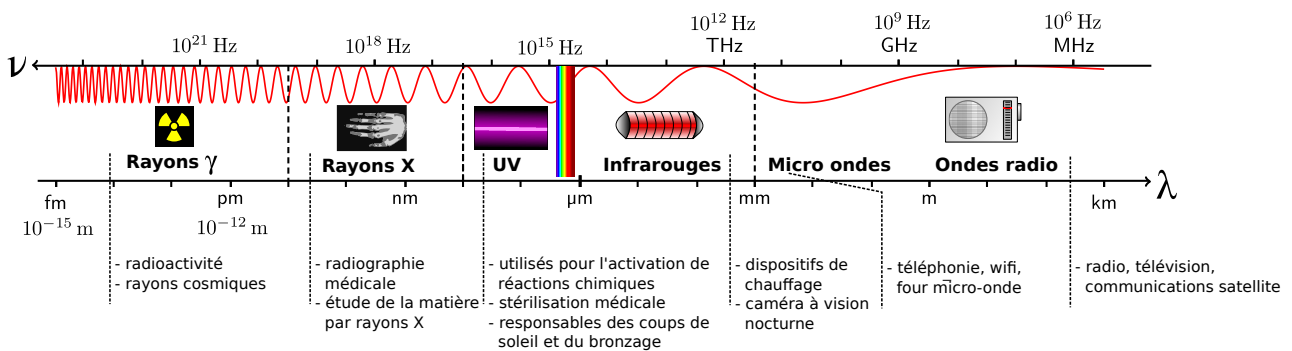
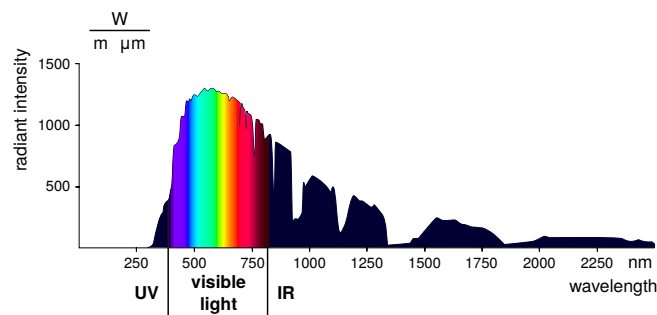


Figure 2 : Exemple de spectre de sources lumineuses

Spectre de la lumière du Soleil reçue sur Terre (après traversée de l'atmosphère du Soleil, et de l'atmosphère terrestre). (source : Wikipedia)



## II – Polarisation des OPPM

Figure 3 : Évolution du vecteur  $\vec{E}$  dans un plan fixe orthogonal à  $\vec{k}$

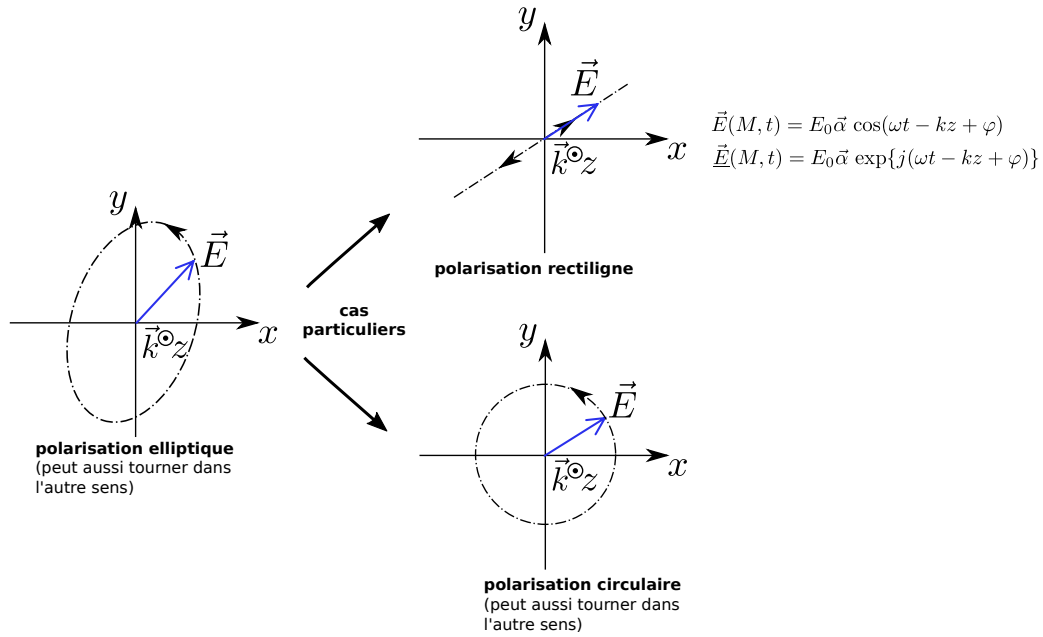


Figure 4 : Évolution des champs  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$  pour une OPPM polarisée rectilignement  
La direction de polarisation du champ  $\vec{E}$  est  $\vec{e}_x$ , et la propagation selon  $+\vec{e}_z$ .  
On peut donc écrire  $\vec{E}(M, t) = E_0 \vec{e}_x \cos(\omega t - kz + \varphi)$ .

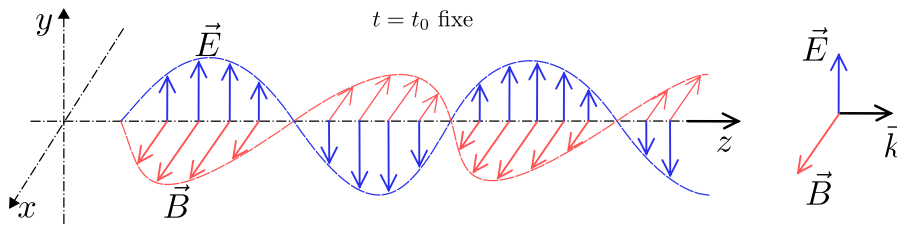


Figure 5 : Observation de l'effet d'un polariseur par absorption sur une lumière polarisée provenant d'un écran plat d'ordinateur.  
(source : Wikipedia, page sur la polarisation)

