Champs électromagnétiques et Polarisation

I – Champ électromagnétique

Un champ électromagnétique est constitué de la superposition d'une champ électrique $\overrightarrow{E}$ et d'un champ magnétique $\overrightarrow{B}$. Ces champs peuvent être définis à partir de la nature des sources qui les créent (voir cours d'électrostatique et de magnétostatique de 1ère année). En première approche on retiendra, qu'en statique (situation indépendante du temps), une différence de potentiel électrique, ou une distribution de charges électriques fixes, crée un champ électrique $\overrightarrow{E}$ et qu'une distribution de courants, crée un champ magnétique $\overrightarrow{B}$.
On peut aussi caractériser ces champs par la nature des actions qu'ils exercent sur une particule chargée de charge q. Si on note $\overrightarrow{v}$ la vitesse de cette particule dans le réferentiel où agissent $\overrightarrow{E}$ et $\overrightarrow{B}$, cette particule chargée subit la force de Lorentz

$$\overrightarrow{F} = q\left(\overrightarrow{E} + \overrightarrow{v} \wedge \overrightarrow{B}\right)$$

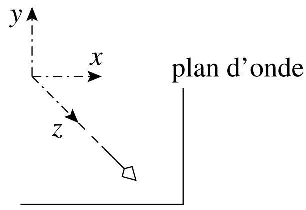
On constate de suite la nature très différente des deux actions des champs $\overrightarrow{E}$ et $\overrightarrow{B}$. Un champ électrique agît sur toute particule chargée avec une force dirigée selon la direction de ce champ $\overrightarrow{E}$, alors qu'un champ magnétique n'agit que sur des particules chargées en mouvement (ou sur de courants) et selon une direction toujours orthogonale à $\overrightarrow{B}$.
Outre ces différences sur la direction des actions exercées sur une charge, on peut noter une autre différence importante entre les forces d'origine électrique $\overrightarrow{F_e} = q\overrightarrow{E}$ et magnétique $\overrightarrow{F_m} = q\left(\overrightarrow{v} \wedge \overrightarrow{B}\right)$ au niveau de l'accélération d'une particule chargée en calculant la puissance de chacune de ces forces. On constate alors que $\overrightarrow{F_m}.\overrightarrow{v} = 0$ en toutes circonstances. Ainsi la force d'origine magnétique ne peut pas faire varier l'énergie cinétique de la particule ni donc le module de sa vitesse. Un champ magnétique seul ne peut pas accélérer une particule chargée, en fait il ne peut que la dévier. Pour accélérer une particule chargée, c'est la composante électrique de la force de Lorentz qui est efficace.

II – Etats de polarisation d'une onde électromagnétique

1/ Préambule et notations

Une onde électromagnétique se propageant dans le vide ou l'air, est représentée par la propagation de deux vecteurs $\overrightarrow{E}$ et $\overrightarrow{B}$ selon une direction de propagation caractérisée par un vecteur d'onde $\overrightarrow{k}$. Ces ondes sont transverses, c'est à dire que les vecteurs $\overrightarrow{E}$ et $\overrightarrow{B}$ sont orthogonaux au vecteur d'onde $\overrightarrow{k}$. On va en plus se restreindre ici aux cas des ondes planes progressives, c'est à dire des ondes pour lesquelles les champs $\overrightarrow{E}$ d'une part et $\overrightarrow{B}$ d'autre part prennent chacun même valeur en tous points d'un plan perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde et appelé plan d'onde.
On peut très souvent se ramener au cas des ondes planes pour la lumière en travaillant par exemple avec des faisceaux de lumière parallèle (obtenus à l'aide d'une ou plusieurs lentilles) ou loin des sources.

On peut alors écrire sans un tel plan d'onde, pour le vecteur $\overrightarrow{\mathrm{E}}$ (avec une relation similaire pour $\overrightarrow{\mathrm{B}}$) et en considérant que la direction et le sens de propagation sont ceux d'un vecteur unitaire $\overrightarrow{e_z}$:



$$\overrightarrow{\mathrm{E}}(z,t) = \mathrm{E}_x(z,t)\overrightarrow{e_x} + \mathrm{E}_y(z,t)\overrightarrow{e_y}$$

De plus dans le cas des ondes planes progressives monochromatiques auquel on se limitera, les dépendances de E_x et E_z en (z,t) sont, dans le cas général, du type :

$$\mathrm{E}_x(z,t) = \mathrm{E}_{0x}\cos(\omega t - kz)$$

$$\mathrm{E}_y(z,t) = \mathrm{E}_{0y}\cos(\omega t - kz - \varphi)$$

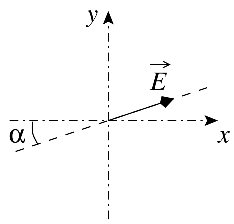
Pour alléger les écritures, on a choisi l'origine des phases (sans signification physique) de manière à écrire la phase de $\mathrm{E}_x(z,t)$ sous la forme $\xi_t = \omega t - kz$.

2/ Etats de polarisation particuliers

On distingue plusieurs états de polarisation particuliers. On les visualise simplement en représentant, dans un plan d'onde fixé, la trajectoire suivie par la pointe du vecteur $\overrightarrow{\mathrm{E}}$ représenté ici par ces composantes E_x et E_y :

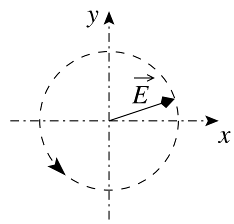
Polarisation rectiligne :

$$\overrightarrow{\mathrm{E}} = \begin{pmatrix} \mathrm{E}_0\cos\alpha\cos\xi_t \\ \mathrm{E}_0\sin\alpha\cos\xi_t \end{pmatrix}$$



Polarisation circulaire gauche :

$$\overrightarrow{\mathrm{E}} = \begin{pmatrix} \mathrm{E}_0\cos\xi_t \\ \mathrm{E}_0\sin\xi_t \end{pmatrix}$$



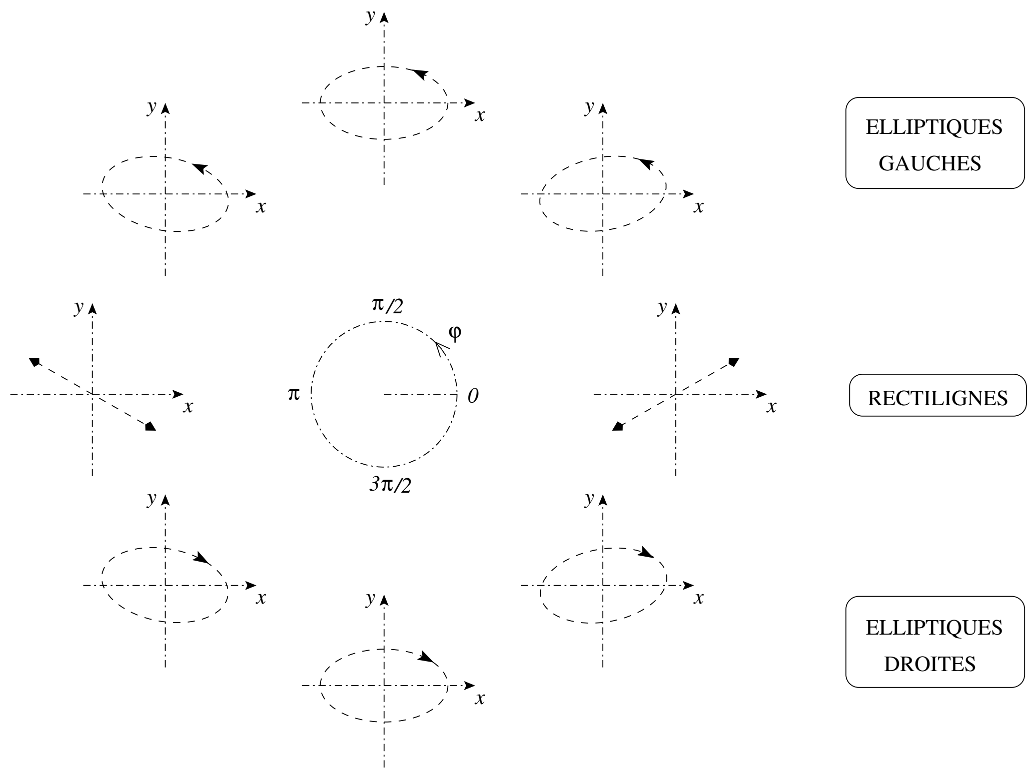
Polarisation elliptique :

$$\overrightarrow{\mathrm{E}} = \begin{pmatrix} \mathrm{E}_{0x}\cos\xi_t \\ \mathrm{E}_{0y}\cos(\xi_t - \varphi) \end{pmatrix}$$

avec $\mathrm{E}_{0x}, \mathrm{E}_{0y} > 0$.

• Les cas $\varphi = 0\,[\pi]$ sont des états de polarisation rectiligne.

• Les cas $\mathrm{E}_{0x} = \mathrm{E}_{0y}$ et $\varphi = \pi/2\,[\pi]$ sont des états de polarisation circulaire.



Il est important de se souvenir que deux états de polarisations rectilignes orthogonales quelconques forment une base des états de polarisation. Une autre base possible est celle constituée par deux états de polarisations circulaires opposées mais son utilisation est moins fréquente.

III – Le cas particulier de la lumière naturelle

Les sources lumineuses classiques (lampes, soleil...) émettent la lumière par trains d'ondes. Chaque train d'ondes est émis par la désexcitation d'un atome de la source et est polarisé, de façon générale, elliptiquement (amplitudes E_{0x}, E_{0y} et déphasage φ). Cependant, les émissions des divers atomes ne sont pas corrélées et les trains d'ondes successifs sont incohérents entre eux : les fonctions $E_{0x}(t)$, $E_{0y}(t)$ et $\varphi(t)$ sont *aléatoires*. *On dit que la lumière naturelle n'est pas polarisée* en raison du mouvement complètement erratique de son vecteur champ électrique. En lumière monochromatique, on peut poser dans ce cas :

$$\overrightarrow{E} = \begin{pmatrix} E_{0x}(t)\cos\xi_t \\ E_{0y}(t)\cos[\xi_t - \varphi(t)] \end{pmatrix}$$

Il est important de noter que les directions $\overrightarrow{e_x}$ et $\overrightarrow{e_y}$ sont *équivalentes*, d'où le calcul de l'intensité lumineuse :

$$I = \langle E^2 \rangle = \langle {E_x}^2 \rangle + \langle {E_y}^2 \rangle = 2\,\langle {E_x}^2 \rangle = 2\,\langle {E_y}^2 \rangle$$

L'état résultant de la superposition d'une lumière naturelle et d'une lumière polarisée est appelé *état de polarisation partielle*.