

On4. Réflexion et transmission à une interface

1. Onde acoustique à une interface

- a) Interface entre deux fluides
- b) Coefficients de réflexion et de transmission en amplitude
- c) Coefficients de réflexion et de transmission en puissance

2. Onde électromagnétique à une interface

- a) Interface entre deux milieux
- b) Coefficients de réflexion et de transmission en champ électrique
- c) Coefficients de réflexion et de transmission en puissance
- d) Différents cas

Parties traitées en classe

3. Action sur une lumière polarisée

a) Polarisation et analyse de la lumière

- Lumière polarisée ou non polarisée

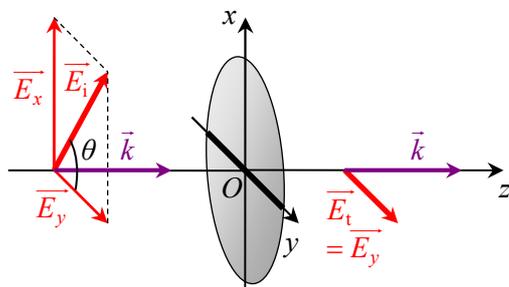
Nous avons vu qu'une OPPH lumineuse peut avoir une polarisation elliptique, rectiligne ou circulaire. Cependant la lumière naturelle (d'une étoile, d'une lampe ordinaire...) est une lumière *non polarisée* : d'un train d'ondes au suivant, la polarisation varie aléatoirement.

- Action d'un polariseur

Un *polariseur* est une lame mince taillée dans un matériau qui ne laisse passer que les ondes de champ \vec{E} polarisé selon une certaine direction, appelée l'axe du polariseur. On monte cette lame sur un support tournant, avec un index repérant son axe.

Le polariseur transforme une lumière quelconque en lumière de polarisation rectiligne, selon la direction de son axe : l'onde transmise par le polariseur est la *projection* de l'onde incidente sur son axe.

ⓔ Si l'axe du polariseur est (Oy) , et si le champ électrique de l'onde incidente est $\vec{E}_i(M, t) = E_{m,x} \vec{e}_x \cos(\omega t - kz) + E_{m,y} \vec{e}_y \cos(\omega t - kz - \varphi)$, le champ électrique de l'onde transmise est $\vec{E}_t(M, t) = E_{m,y} \vec{e}_y \cos(\omega t - kz)$, la composante sur \vec{e}_x étant absorbée.



– Si la lumière incidente, d'intensité $I_i = \langle K \|\vec{E}_i\|^2 \rangle$, est de polarisation rectiligne dans une certaine direction de l'espace, faisant un angle θ avec l'axe du polariseur, l'onde transmise a une norme $\|\vec{E}_t\| = \|\vec{E}_i\| \cos \theta$ (obtenue par projection sur l'axe), son intensité est donc :

$$I_t = \langle K \|\vec{E}_t\|^2 \rangle = \langle K \|\vec{E}_i\|^2 \cos^2 \theta \rangle \text{ soit } \boxed{I_t = I_i \cos^2 \theta} \text{ (loi de Malus).}$$

Quand on tourne l'axe du polariseur, l'éclairement transmis passe donc par des maxima ($I_t = I_i$) et des minima ($I_t = 0$).

– En revanche, si la lumière incidente est de polarisation circulaire, ou si elle est non polarisée, on ne voit aucune variation d'éclairement lorsqu'on tourne l'axe du polariseur.

– Enfin, si la lumière incidente est de polarisation elliptique, l'éclairement transmis passe par des maxima et des minima, mais ceux-ci sont non nuls.

- Utilisation d'un polariseur

Le polariseur peut être utilisé pour *créer* une lumière de polarisation rectiligne, à partir d'une lumière quelconque.

Il peut être aussi utilisé pour *déterminer* si une lumière est polarisée, et si elle est rectiligne, dans quelle direction ; dans ce rôle, il est appelé *analyseur*.

- Action d'un milieu optiquement actif

Certaines substances, notamment organiques, possèdent une *activité optique* : lorsqu'elles sont traversées par une lumière de polarisation rectiligne, la direction de celle-ci tourne progressivement autour de la direction de propagation. La lumière émergente est donc encore de polarisation rectiligne, mais sa direction a tourné d'un angle α caractéristique.

Pour une espèce en solution : $\alpha = [\alpha]_{\lambda, T} \times l \times c$ où $[\alpha]_{\lambda, T}$ est le pouvoir rotatoire spécifique de l'espèce optiquement active, c sa concentration massique, et l la longueur de solution traversée par la lumière.

Si la rotation s'effectue « vers la droite », c'est-à-dire dans le sens horaire (quand on fait face à la lumière), la substance est dite *dextrogyre*, et l'angle α est compté positivement (convention inverse de celle habituelle en mathématiques) ; si c'est « vers la gauche » (sens trigonométrique), la substance est dite *lévogyre*.

Cette propriété peut permettre de déterminer une concentration, ou bien d'identifier une espèce chimique.

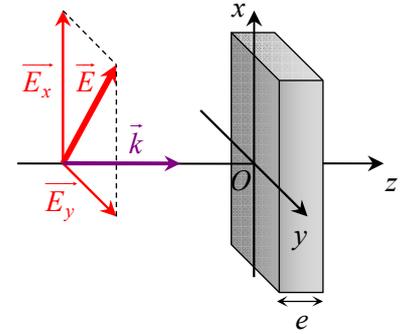


b) Action d'une lame biréfringente

• **Lame biréfringente**

Certains matériaux anisotropes, comme le quartz ou la calcite, ont deux valeurs de l'indice de réfraction, selon la direction de polarisation de l'onde : ils sont dits *biréfringents*.

Considérons une lame mince à faces parallèles, d'épaisseur e , taillée dans un de ces matériaux. On choisit sa face d'entrée comme plan (Oxy) . Une OPPH incidente, de direction \vec{e}_z , a en général deux composantes de champ électrique, E_x et E_y . Pour la composante E_x l'indice est n_x , pour la composante E_y il vaut n_y . Si $n_x > n_y$, l'axe (Ox) est appelé *axe lent*, (Oy) est l'*axe rapide* ; ces deux axes sont les *axes neutres*, ou *lignes neutres*, de la lame biréfringente.



On note $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0} = \frac{\omega}{c}$ la pulsation spatiale dans le vide (ou l'air), où l'indice est $n=1$. Dans la lame, $k_x = n_x \frac{\omega}{c} = n_x k_0$

pour la composante E_x et $k_y = n_y k_0$ pour la composante E_y .

• **Composantes du champ électrique**

Le champ électrique de l'onde incidente s'écrit : $\vec{E}(z,t) = E_x(z,t)\vec{e}_x + E_y(z,t)\vec{e}_y$

avec $\begin{cases} E_x(z,t) = E_{0x} \cos(\omega t - k_0 z) \\ E_y(z,t) = E_{0y} \cos(\omega t - k_0 z + \varphi) \end{cases}$ dans le vide (ou l'air), puis $\begin{cases} E_x(z,t) = E_{0x} \cos(\omega t - n_x k_0 z) \\ E_y(z,t) = E_{0y} \cos(\omega t - n_y k_0 z + \varphi) \end{cases}$ dans la lame.

À l'entrée ($z=0$) : $E_x(0,t) = E_{0x} \cos(\omega t)$ et $E_y(0,t) = E_{0y} \cos(\omega t + \varphi)$.

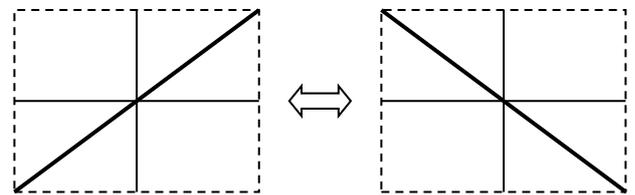
À la sortie ($z=e$) : $E_x(0,t) = E_{0x} \cos(\omega t - n_x k_0 e)$ et $E_y(0,t) = E_{0y} \cos(\omega t - n_y k_0 e + \varphi)$.

La lame introduit donc entre E_x et E_y un déphasage supplémentaire $\Delta\varphi = k_0(n_x - n_y)e$, soit une différence de marche $\delta = (n_x - n_y)e$. Comme le type de polarisation dépend du déphasage entre les deux composantes, la traversée de la lame peut modifier cette polarisation.

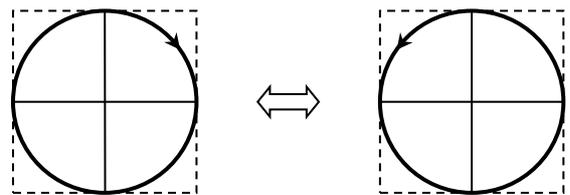
• **Action d'une lame demi-onde**

C'est une lame telle que $\Delta\varphi = \pi [+2m\pi]$, soit $\delta = \frac{\lambda_0}{2} [+m\lambda_0]$ pour une certaine longueur d'onde.

– Si la lumière incidente est de polarisation rectiligne ($\varphi=0$ ou $\varphi=\pi$), la lumière transmise a un déphasage $\varphi' = \varphi + \Delta\varphi$ soit $\varphi' = \pi$ ou $\varphi' = 2\pi$: c'est toujours une lumière de polarisation rectiligne, mais symétrique de la précédente par rapport aux axes. Si l'onde incidente est polarisée selon l'un des deux axes neutres, elle ressort inchangée (d'où le qualificatif de *neutre*).



– Si la lumière incidente est de polarisation circulaire droite ($\varphi = \pi/2$ et $E_x = E_y$), la lumière transmise a un déphasage $\varphi' = 3\pi/2$ donc elle est de polarisation circulaire gauche ; et inversement.

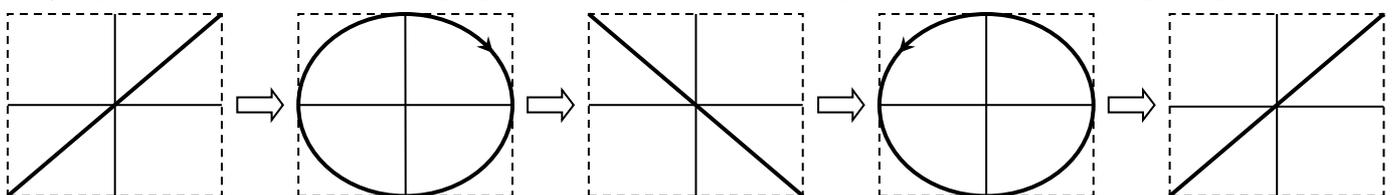


• **Action d'une lame quart d'onde**

C'est une lame telle que $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2} [+2m\pi]$, soit $\delta = \frac{\lambda_0}{4} [+m\lambda_0]$ pour une certaine longueur d'onde.

Les différents cas particuliers sont alors les suivants :

- $\varphi = 0$ (polarisation rectiligne de pente positive) donne $\varphi' = \pi/2$ (polarisation circulaire ou elliptique droite) ;
- $\varphi = \pi/2$ (polarisation circulaire ou elliptique droite) donne $\varphi' = \pi$ (polarisation rectiligne de pente négative) ;
- $\varphi = \pi$ (polarisation rectiligne de pente négative) donne $\varphi' = 3\pi/2$ (polarisation circulaire ou elliptique gauche) ;
- $\varphi = 3\pi/2$ (polarisation circulaire ou elliptique gauche) donne $\varphi' = 2\pi$ (polarisation rectiligne de pente positive).



• **Utilisation pratique**

Toutes ces propriétés permettent d'analyser une lumière inconnue, ou de produire une lumière ayant n'importe quelle polarisation souhaitée.