

MP14 : Polarisation des ondes électromagnétiques

Gauthier Rousseau, Diane Micard

18 avril 2014

Bibliographie :

- Houard Optique
- Duffait d'optique
- Sextant Optique

Table des matières

INTRODUCTION

Nous avons vu en cours que les ondes électromagnétiques sont de nature transversale, c'est à dire que les champs E et B sont orthogonaux à la direction de propagation, ils appartiennent au **plan d'onde**. C'est le champs E qui définit alors la polarisation de la lumière. Le champs E peut posséder une direction fixe alors l'onde est dite polarisé rectilignement.

Dans ce montage nous allons nous intéresser à la polarisation des OEM (attention pas seulement la lumière visible). Nous étudierons en particulier 4 processus permettant d'étudier ou de générer une polarisation : Le dichroïsme, la réflexion vitreuse, la diffusion et la biréfringence. Nous allons d'abord voir comment analyser la polarisation de différentes sources par le dichroïsme et ensuite créer une polarisation particulière par les autres processus.

I Dichroïsme et sources

I.1 Illustration sur les ondes centimétriques

Les ondes électromagnétiques sont générées par le mouvement de charge dans un milieu ,que ce soit à l'échelle d'une antenne (onde centimétrique) ou d'une molécule (visible). Nous avons vu que ce rayonnement produit une onde polarisée dans le sens de l'oscillation du dipôle.

Ondes centimétriques Manip : on utilise un émetteur et un récepteur d'ondes centimétriques entre lesquels on interpose une grille. On relève l'amplitude de l'onde en fonction de la position de la grille. Cette expérience illustre le fait que si la polarisation de l'onde est colinéaire à la grille, les électrons de la grille sont mis en mouvement (car le champ E devient moteur du mouvement des charges libres dans le métal conducteur). L'énergie de cette onde est absorbée par effet joule et l'amplitude de l'onde après la grille est très faible. Dans le cas où la polarisation de l'onde est orthogonale à la grille, les électrons ne peuvent pas se déplacer : l'onde ne voit pas la grille !

Cette propriété s'appelle le **dichroïsme ou absorption différentielle** .

Maintenant nous allons utiliser une lumière blanche. En effet, de la même façon qu'une antenne rayonne par mouvement de charge à l'échelle centimétrique, une lumière blanche émise par un corps noir rayonne par accélération des électrons à l'échelle atomique (1000-100nm). PS : ici on se place dans l'image classique.

Cependant, contrairement à l'antenne, la lumière n'est pas polarisée car il y a de nombreux dipôles oscillants dans toutes les directions. Nous allons voir comment le constater et comment polariser la lumière.

I.2 Loi de Malus dans le visible

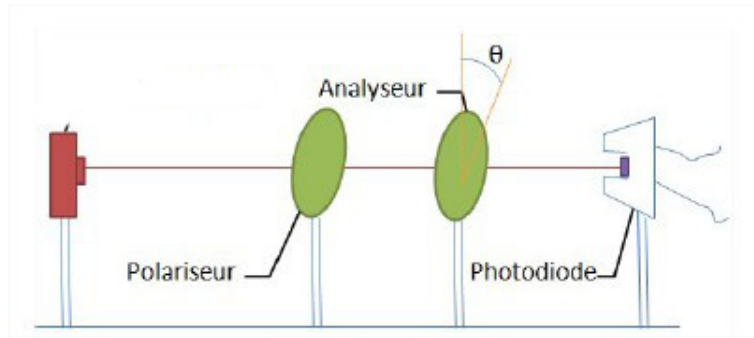
Pour les ondes nanométriques (lumière), de la même façon que l'on a utilisé des grilles on peut utiliser un réseau de polymères sur lequel les électrons peuvent se délocaliser et donc absorber la composante de E selon l'axe des polymères (c'est donc aussi du dichroïsme).

Cela permet de sélectionner uniquement les ondes lumineuses qui présentent une polarisation dans un sens. C'est un polariseur.

On peut ensuite placer un deuxième réseaux de polymère. C'est l'analyseur qui va permettre d'analyser la polarisation de l'onde.

Vérifions maintenant la loi de Malus qui prévoit théoriquement la relation suivante :

$$I_A(\alpha) = I_0 \cos^2(\alpha)$$



où α est l'angle entre la polariseur et l'analyseur ; I_0 est l'intensité maximale et I_A l'intensité après l'analyseur.

On polarise en inverse la photo diode et on se place dans des conditions linéaires. $E = -2.5V$ et $R = 5k\Omega$ par exemple).

Astuce 1 : Une méthode pour éviter les erreurs systématique consiste à faire la moyenne des valeurs opposé par rapport au zéro.

Astuce 2 : pour éviter d'avoir des points trop éloigné de la droite devant le Jury à cause de conditions d'éclairement différentes on peut faire un ratio $\frac{I_p(\alpha)}{I_0}$ On pose ensuite $x = \cos^2(\alpha)$

Lorsqu'on trace $I_p(\alpha) = a * x + b$ On observe une belle droite qui correspond a ce qui est attendu. La b correspond au bruit de lumière ambiant.

II Processus naturels de polarisation rectiligne

II.1 Polarisation par réflexion vitreuse - angle de Brewster

Lorsque Malus a réalisé sont expérience vérifiée plus haut il n'avait pas de polariseur aussi sophistiqué qu'ici. Il utilisait la polarisation par réflexion vitreuse.

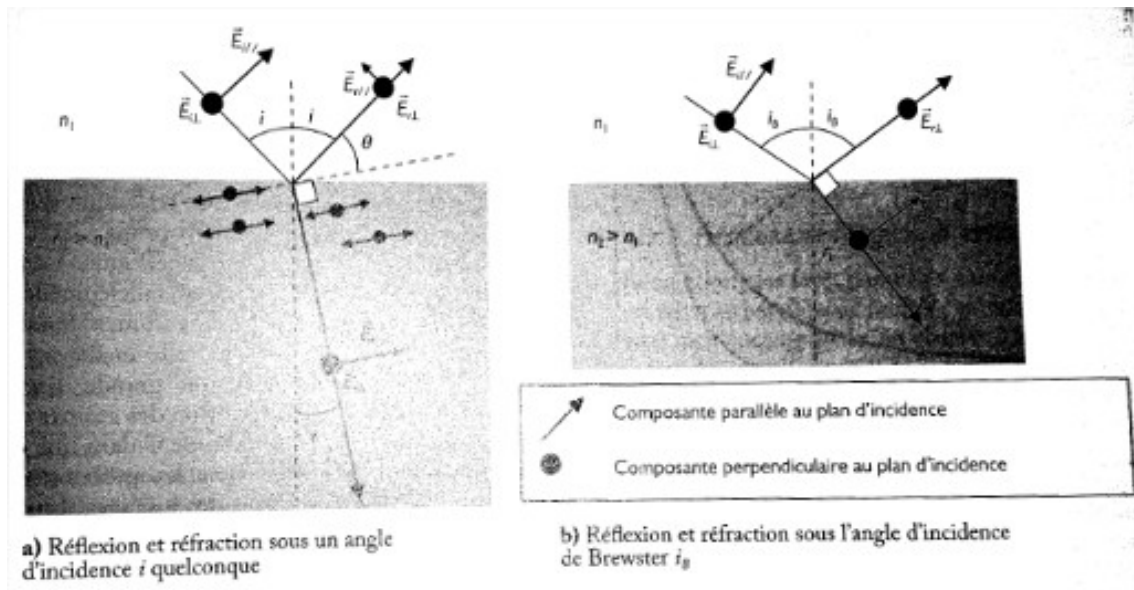


FIGURE 1 – Réflexion vitreuse et angle de Brewster, copié du Houard

Manip : On envoie une lumière blanche parallèle sur une lame de verre posée sur un support sur lequel on peut mesurer l'angle d'incidence.

On effectue différentes mesures de l'intensité réfléchi derrière un analyseur orienté parallèlement au plan d'incidence, en fonction de l'angle d'incidence. La difficulté est d'avoir une mesure cohérente dans la mesure où on change de place le capteur de lumière.

On vérifie donc la variation d'intensité au sein d'une tache pour estimer l'erreur relative de la mesure d'intensité.

On se place toujours à la même distance de la lame de verre.

A la fin on compare ce résultat au résultat théorique.

$$R_{\parallel} = \left(\frac{\langle P_r \rangle}{\langle P_i \rangle} \right) = \left(\frac{\tan(i - r)}{\tan(i + r)} \right)$$

Pour du verre on a bien théoriquement annulation pour $i_B + r_B = \pi/2$ c'est à dire pour

$$\tan i_B = \frac{n_2}{n_1}$$

On a tous déjà remarqué ce phénomène si on utilise des lunettes de soleil polarisées. En effet, la lumière réfléchie sur la neige par exemple se polarise de la même façon.

II.2 Polarisation par transmission

Avec une seule lame on peut observer que la lumière est en partie polarisé en sortie. (faire le test en faisant tourner un analyseur en posant la diode derrière).

Par contre on observe jamais d'annulation.

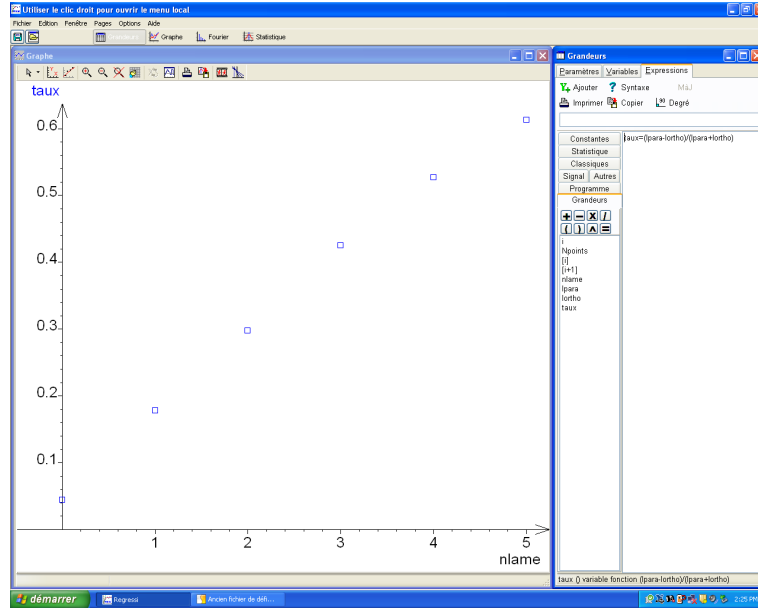


FIGURE 2 – Taux de polarisation de l'onde par transmission en fonction du nombre de lames de verre

A l'angle de Brewster, la composante parallèle est entièrement transmise, par contre, une partie (15%) de la composante orthogonale est réfléchie : après une lame la lumière est enrichie en lumière polarisée parallèlement.

Ainsi une autre manière de polariser la lumière et donc de mettre de nombreuses lames successives. Le calcul théorique donne pour le taux de polarisation η en fonction du nombre n de lames :

$$\eta_n = \frac{1 - (1 - R_T)^{2N}}{1 + (1 - R_T)^{2N}} \quad (1)$$

Ce qui peut se réécrire :

$$\eta_n = \frac{I_{para} - I_{ortho}}{I_{para} + I_{ortho}} \quad (2)$$

II.3 Polarisation par diffusion Rayleigh

En cours nous avons vu que la lumière peut exciter des molécules qui à leur tour peuvent émettre une onde électromagnétique par rayonnement dipolaire.

Ici on se place dans des conditions où la diffusion est de Rayleigh. C'est à dire que la fréquence d'excitation est faible devant la fréquence propre des dipôles excités.

Faisons l'expérience avec un aquarium et du lait (attention : une toute petite quantité de lait suffit).

Sur le côté de l'aquarium, on observe que la lumière est polarisée dans le sens vertical. Logique car la lumière est par nature transversale et il ne peut y avoir un champ E horizontal dans le sens de propagation pour exciter les dipôles des molécules. Ainsi le rayonnement de ces dipôles induit une polarisation dans le plan perpendiculaire à la direction de propagation.

Ce processus naturel est à la base de la polarisation du ciel. En photographie on peut utiliser des polaroïd pour jouer sur les contrastes entre le ciel polarisé et les objets faiblement polarisés.

Les abeilles utilisent aussi la polarisation pour indiquer leur zones de butinage. En plus, elles dansent pour montrer à la colonie où sont les belles fleurs de printemps. Sacrées abeilles ! (je vous conseil de lire le Houard pour ça, passionnant).

III Biréfringence et polarisation

III.1 Polarisation circulaire par une lame $\lambda/4$

Une lame retard est un milieu biréfringent dans lequel une composante suit l'indice ordinaire et l'autre l'indice extraordinaire. On peut alors créer des ondes polarisées elliptiquement. Un cas particulier est la lame $\lambda/4$.

Une lame $\lambda/4$ est une lame retard telle que si on place une onde polarisée rectilignement à 45° des axes il ressort une onde polarisée circulairement.

On fait l'essai on ne voit pas de variation d'intensité. Puis on peut changer l'angle. On observe alors avec l'analyseur une variation d'intensité.

III.2 Analyse

Il existe une méthodologie complète pour bien caractériser une onde. En effet une onde inconnue peut être une onde rectiligne, circulaire, elliptique ou une somme d'ondes de ce type. Il convient donc d'effectuer un protocole pour bien caractériser notre onde (voir le Duffaut d'optique pour le détail).

Testons le sur une onde quelconque sortant de notre lame $\lambda/4$.

Conclusion et Cinéma 3D

La polarisation est un phénomène très utilisé à l'heure actuelle pour visionner le cinéma en relief. Le principe est le suivant : deux images doivent parvenir sur chaque œil pour reformer la 3D. Il existe différentes techniques mais la plus courante actuellement sont les lunettes passives. On reçoit de l'écran (en métal) 2 images polarisées circulairement droite et gauche. Chaque verre de la lunette est constitué d'une lame $\lambda/4$ suivie d'un polariseur par dichroïsme qui permet de sélectionner l'une ou l'autre. Pourquoi une polarisation circulaire ? Quelque soit la manière de regarder le film on est pas gêné. Essayons de l'illustrer avec les $\lambda/4$ en générant une onde circulaire.

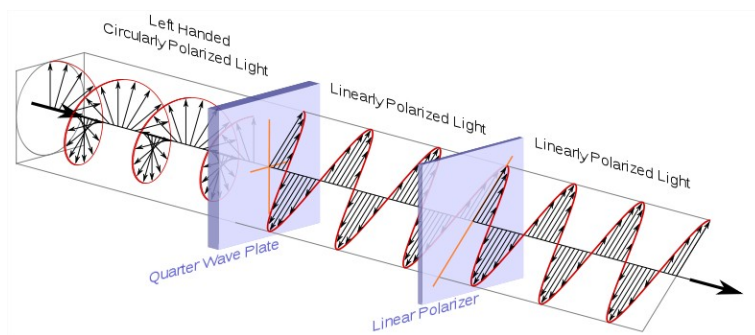


FIGURE 3 – Principe des lunettes 3D par polarisation circulaire