LP02 – Polarisation des ondes électromagnétiques

12 mai 2022

Nom prénom &

L3

Commentaires du jury

Bibliographie

- ✍ *Quantum Optics*, **M. Fox**
- ✍ *Cours de J. Dalibard*, **Dalibard**
- ✍ *Thermodynamique statistique*,**Diu**
- ✍ *TD de thermo de Montrouge*,
- ✍ *Sujet agreg A 2006*,

⟶ Pour l'effet Doppler
⟶ Atomes froids.
⟶ Pour la thermo
⟶ Pour l'évaporation
⟶ Pour la liquéfaction et la désaimantation adiabatique

Prérequis

Expériences

➢

Table des matières

1 Sources de lumière polarisée rectilignement **2**
1.1 Ondes centimétriques produits pas le banc hyperfréquence. 2
1.2 Production de lumière polarisée avec une lame de verre. 2

2 Milieux biréfrigents **4**
2.1 Interférences par biréfringence à l'aide d'une lame à face parallèle 4
2.2 Biréfringence provoquée : effet Faraday 4

3 Manip surprise passage Nathan le 26/04 **6**

Introduction

La polarisation du champ électromagnétique c'est une propriété vectorielle des ondes électromagnétiques. Toutes les sources ne sont pas polarisées, certaines ne le sont que partiellement. Il existe principalement deux manières pratiques de décomposer la polarisation : en somme de deux polarisations rectilignes ou deux circulaires. Ici on va d'abord parler sur la polarisation rectiligne et étudier deux sources permettant de produire un rayonnement polarisé rectilignement. Ensuite on va parler du rôle que joue la polarisation dans l'interaction entre le rayonnement et certains milieux, en étudiant des phénomènes de biréfringence, d'abord avec la biréfringence linéaire avec une lame à face parallèles et ensuite la biréfringence circulaire provoquée avec l'effet Faraday.

1 Sources de lumière polarisée rectilignement

1.1 Ondes centimétriques produits pas le banc hyperfréquence.

Idée : on étudie le mode TE_{10} qui se propage dans le banc hyperfréquence, et on vérifie sa polarisation verticale avec la loi de Malus.

Polarisation de l'onde issue du banc hyperfréquence

✍ notice du banc (j'ai pas d'autre source que celle du poly de TP)

On travail à une fréquence où un seul mode peut se propager dans le banc. C'est le mode Te_{10} qui est polarisé rectilignement. Pour vérifier cela, on place en face un récepteur dont on fait tourner l'axe en vérifiant la loi de Malus. Attention,Le récepteur est non linéaire. Donc on mesure plutôt des rapport d'intensité à partir d'un tension de référence. Pour cela :

- On se place presque au maximum d'intensité, donc à environ 0°. On note le facteur d'atténuation a_0 et la tension U_0 en sortie du capteur.
- On augmente petit à petit l'angle. Pour chaque angle, on tourne l'atténuateur pour retrouver U_0. On note le rapport d'atténuation $a(\theta)$.
- Attention, il y a une hystérésis sur la vis de l'atténuateur : il faut faire les mesures dans un seul sens, de sorte à toujours visser la vis dans le même sens pendant toute la manip.
- Enfin, on déduit la valeur du rapport des tensions.

La formule est :

$$E^2(\theta) \sim U(\theta) = U_0 10^{(a(\theta)-a_0)} \tag{1}$$

Pour mesurer l'angle, on utilise un rapporteur et un fil à plomb. Attention à bien gérer leur alignement et la lecture de l'angle (lire la graduation parallèle au fil et pas celle au niveau du fil par exemple).

Ensuite, on trace [a] :

$$\frac{S(\theta) - S(0)}{S(90) - S(0)} = f(\cos^2(\theta)) \tag{2}$$

avec $S(\theta) = \frac{E^2(\theta)+E^2(-\theta)}{2}$

a. Ici j'ai pris le champ nul en $\theta = 0$

1.2 Production de lumière polarisée avec une lame de verre.

Etude de l'angle de Brewster

✍ Sextant p268

Cette manip repose sur les coefficients de Fresnel : ce sont les coefficients de réflexion et de transmission obtenus en étudiant la réflexion d'une onde entre deux milieux d'indices différents.

Si l'onde incidente est polarisée dans le plan d'incidence, le coefficient de réflexion s'écrit [a] :

$$r = \frac{n_1 \sin(\theta_2) - n_2 \sin(\theta_1)}{n_1 \sin(\theta_2) + n_2 \sin(\theta_1)} \tag{3}$$

Ce coefficient peut s'annuler si $n_2 \geq n_1$. Il s'annule alors à l'angle d'incidence de Brewster qui vérifie :

$$\tan(i_b) = n \tag{4}$$

On utilise :

- un laser.
- un polariseur.
- un goniomètre.
- Une lame de verre hémicylindrique (indice ~ 1.5).
- Un plateau tournant métallique avec l'angle bien indiqué.
- Deux écrans pour intercepter le faisceau transmis et le réfléchi : on veut pas qu'un faisceau laser se propage partout.

Au début, un met une feuille blanche sur le plateau métallique, et on scotche la lame sur le plateau pour que l'interface soit au entre et que l'angle noté 0 corresponde à une incidence normale.

On place le polariseur réglé horizontalement devant la source et on se débrouille pour aligner le faisceau avec l'angle 0 en incidence normale.

On fait tourner le dioptre jusqu'à repérer le minimum d'intensité en réflexion. Pour cela, on regarde sur un écran en suivant le faisceau en sortie. Une fois le minimum repéré, on joue sur le polariseur en entrée pour minimiser l'intensité. On procède itérativement pour repérer l'angle de Brewster. On peut le lire au degré près.

On en déduit l'indice avec le relation :

$$\tan(i_b) = n \tag{5}$$

Si on trouve un indice trop différent de celui qu'on attend, on peut avoir une question sur comment est sensé évoluer l'indice du verre avec le temps. Mon correcteur a trouvé après une rapide recherche que l'indice du verre avait plutôt tendance à diminuer avec le temps à cause de son hydratation.

a. avec θ_1 l'angle d'incidence et θ_2 l'angle réfracté.

Bonus : Etude plus quantitative

✍ Sextant p270 🕘

L'idée de cette manip est de mesurer l'intensité transmise en fonction de l'angle d'incidence.

Personnellement je l'ai pas présenté pour mon passage mais ça peut servir. Le problème avec cette manip, c'est que les lasers qu'on utilise ont une polarisation aléatoire. Donc si je place un polariseur devant, l'intensité en sortie va beaucoup fluctuer, ce qui empêche d'avoir de bonnes mesures.

On garde le même setup, mais cette fois on remplace l'écran par un montage photodiode + résistance. On mesure la tension au borne de la résistance en fonction de l'angle d'incidence. On peut tracer une courbe d'intensité qui est minimum à l'angle de Brewster.

Attention la photodiode a une réponse proportionnelle au nombre de photons absorbés. A intensité équivalente, elle répondra beaucoup plus pour un laser rouge que pour un laser vert. Donc utiliser un laser rouge !

Maintenant qu'on a étudié deux manière de créer des sources polarisées rectilignement, on peut étudier le rôle que joue la polarisation de la lumière dans la propagation dans un milieu. Plus précisément, on va étudier deux types de biréfringeance : une linéaire (liée à la polarisation rectiligne), et une circulaire (liée à la polarisation circulaire donc). De plus, on les distingue puisque la première étudiée est "toujours présente" là om l'autre est provoquée par l'apparition d'un champ magnétique.

2 Milieux biréfrigents

2.1 Interférences par biréfringence à l'aide d'une lame à face parallèle

Interférence par biréfringence

✍ Sextant ⏲ 5min

Le but ici c'est de faire du qualitatif en utilisant des polariseurs.
Montage classique de biréfringence :

- On éclaire avec QI + diaphragme + lentille pour faire un faisceau parallèle en incidence sur les polariseurs. [a]
- On laisse la place pour un filtre interférentiel pour pouvoir étudier la lame quart d'onde
- On met un couple polariseur/analyseur, entre les deux on intégrera la lame.
- On laisse la place pour un prisme à vision directe.

Idée : on fait d'abord des interférences par biréfringence avec une joli lame fine. J'ai utilisé la lame de Mica, qui permet d'avoir une couleur bleue ou orange. On remarque que le spectre est coloré et on intercale un prisme à vision directe pour voir le spectre. Si les polariseurs sont en croisé, on voit que les longueurs d'ondes dans le jaune sont éteintes. Si on tourne le polariseur de sortie de 45°, on rajoute π au déphasage et le jaune devient visible, cette fois on "tue" le bleu et c'est moins simple à repérer pour l'oeil.
Ensuite, on peut expliquer le rôle d'une lame demi-onde. Pour cela, on doit utiliser une lame demi-onde de la collection pour 633 nm et le laser rouge à 628.3 nm. En effet, pour que la manip marche bien, il faut que la lame et la source soit très compatible : une lame demi-onde dans le jaune et un filtre interférentiel devant la QI ne suffiront pas à bien montrer le rôle d'une lame demi-onde parce que le filtre n'est pas assez fin spectralement [b].
Pour rappeler rapidement le principe d'une lame demi-onde : si on envoie la source polarisée rectilignement avec un angle α par rapport à l'axe de la lame, elle ressort polarisée rectilignement avec un angle -α. Ici, on va prendre $\alpha = 90°$: on va faire passer une polarisation de verticale à horizontale par exemple.
Pour montrer le rôle de la lame demi-onde, il faut faire un protocole proche de celui d'avant :

- On règle les polariseurs en croisés. Ainsi, après le premier polariseur, on a une source polarisée rectilignement verticale par exemple.
- On place la lame demi-onde entre les deux. On repère l'axe neutre, puis on tourne précisément (avec la graduation) la lame de 45°.
- Avec le deuxième polariseur en sortie, on repère un maximum d'intensité alors qu'il est à 90° par rapport à l'ancien. On peut le tourner et remarquer que le minimum d'intensité (théoriquement 0) est atteint quand il est aligné avec le polariseur d'entrée : on a bien fait tourner la polarisation de l'onde.

a. Soit un faisceau parrallèle soit l'image du diaphragme sur un écran assez loin. On veut une onde assez plane parce que les polariseurs sont fait pour fonctionner en incidence plane.
b. En tout cas j'ai essayé avec la QI + filtre jaune + lame de mica, et ça n'a pas marché, alors qu'avec le PVD on voit bien que le jaune disparait du spectre, donc on s'attend à un rôle demi-onde pour le jaune.

2.2 Biréfringence provoquée : effet Faraday

Effet Faraday

✍ Sextant p 320 ⏲ 7min

Ici, on considère de la biréfringeance provoquée par la présence d'un champ magnétique dans un diélectrique. Quand il y a un champ, en écrivant les équations de propagation, on constate que si on décompose l'onde en circulaire droit et gauche, les deux composantes se propagent à des vitesses différentes. On confère donc un pouvoir rotatoire

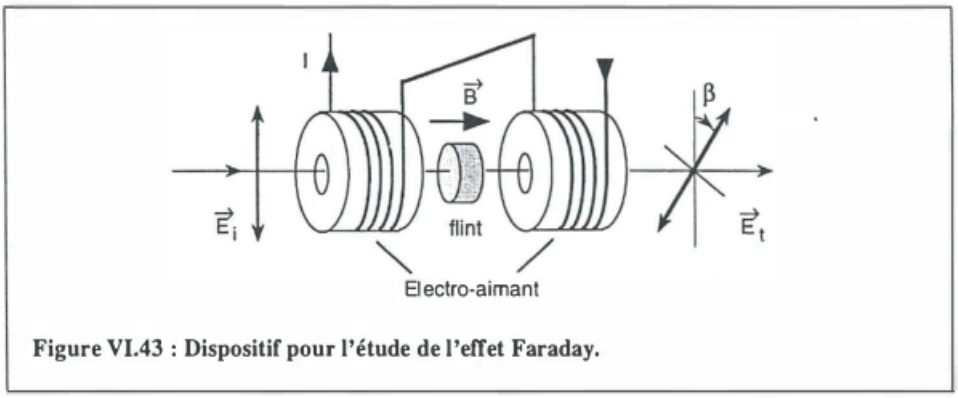

Figure VI.43 : Dispositif pour l'étude de l'effet Faraday.

FIGURE 1 – Principe du montage

au matériaux !

Ce sont des effets plus faible que la biréfringence cristalline : il faut des champ forts.

Le but c'est de placer un diélectrique dans l'entrefert de l'électroaimant et de vérifier la loi sur le pouvoir rotatoire, donnant l'angle de rotation β :

$$\beta = BVl \tag{6}$$

l : largeur traversée

B : norme du champ.

V : constante de Verdet.

On trace cette loi et on calcul la constante de verdet d'un barreau en verre.

Cette manip peut servir de tampon à la fin. On utilise un électroaimant, et il y a forcément pas mal de choses à dire (ou pas si on a pas le temps) dessus :

- Comment on trace la courbe B(I) avec une sonde à effet hall.
- D'habitude on retourne la sonde pour éviter les effets de soudure, mais comme ici on utilise des entrefers percés, le champ est très inhomogène : c'est pas rentable de bouger la sonde, il vaut mieux "tolérer" le problème de soudure et laisser la sonde à la même place.
- L'électroaimant utilise un ferro-magnétique, donc il y a des problèmes d'hystérésis. Comme on a pas de moyen facile de savoir si on est à saturation, le mieux pour parcourir toujours la même courbe est de travailler avec l courbe de première aimantation. On fait donc toutes les mesures en bougeant I dans le même sens, et entre deux mesure on fait quelques "boucles" avec I positif puis négatif, afin de le désaimanter à la main [a].

a. cf Jolidon vert pour l'explication sur la désaimantation

Tableau VI.III : Constante de Verdet pour quelques substances usuelles. Les valeurs sont données pour λ = 589 nm.

Substance	V (deg. cm^{-1}.T^{-1})
Flint léger [89]	+ 5
Quartz	+ 2,77
Chlorure de sodium	+ 5,98
Eau	+ 2,18

FIGURE 2 – Principe du montage

Photos du tableau

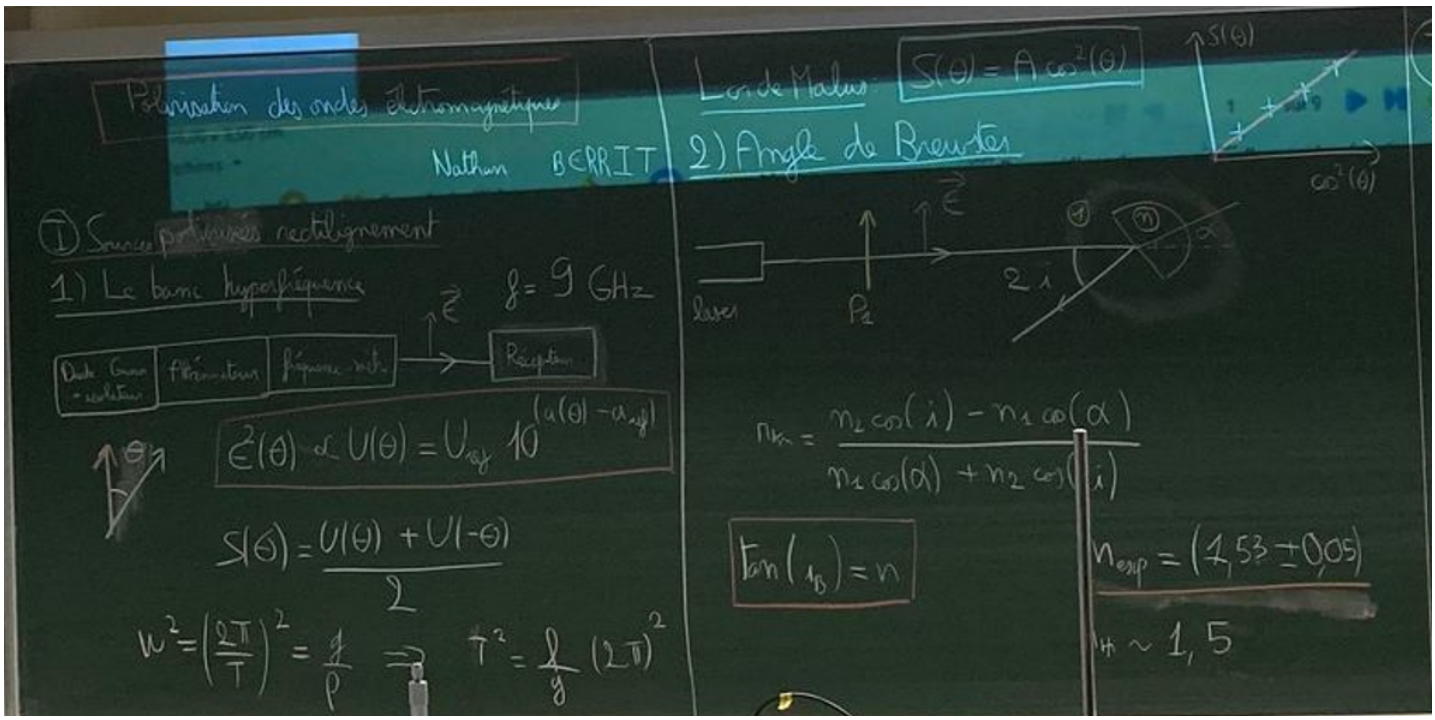

Figure 3

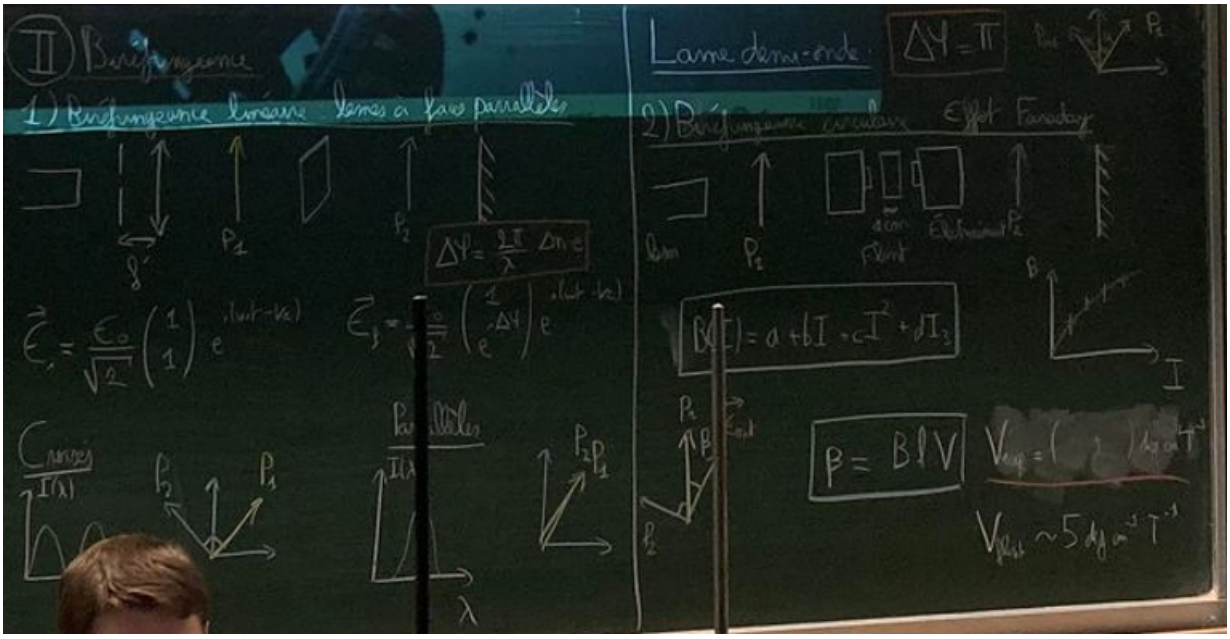

Figure 4

3 Manip surprise passage Nathan le 26/04

Faire un protocole pour mesurer g. Avec des masses, un fil à plomb, une balance, un pendule. On a $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$. Donc on fait varier l et on mesure la pulsation blabla. Attention il faut prendre des grands l sinon incertitudes énormes+ la valeur est degueu. Comme c'est dur de mesurer l directement, on fait une régression linéaire avec une loi où on peut tolérer un offset sur l :

$$T^2 = f(l) \tag{7}$$

Questions

- **Dans l'intro t'as dit que t'allais t'intéresser à la nature vectorielle de l'onde. Est-ce que toutes les ondes sont vectorielles ?** L'idée c'était de montrer que le modèle scalaire n'explique pas tout.
- **Du coup en prépa tu ferais le lien avec le modèle scalaire de la lumière ?** Oui ça fait la transition entre EM et optique
- **Est-ce que au lycée ils ont déjà vu ce que ça pouvait être une onde scalaire, vectorielle ?** Il y a un chapitre sur les champs vectoriels et scalaires en terminale.
- **Tu repère la polar à partir de la direction du champ E. Tu peux expliquer pour circulaire ?** On utilise les vecteurs de Jones. Pour la polar circulaire, déphasage de pi/2. Je regarde quand l'onde va vers moi je regarde si en haut elle tourne vers la gauche ou vers la droite.
- **Tu as dit que tu pouvais décomposer ta polarisation selon deux polarisations, pourquoi deux ?** Le champ est transverse, donc il suffit d'une base de deux vecteurs pour le décrire. Du pdv quantique, un photon a un spin 1 ,donc on attend 3 états de polarisation, mais il n'en a que deux parce que sa masse est nulle.
- **Tu as parlé de guide d'onde. C'est quoi le principe ?** Contraindre la propag spatialement, contraint la direction de propag et cette CL (confinement) donne plusieurs modes possibles or des fois selon la fréquence ça donne lieu à des ondes évanescentes.
- **Si on assimile l'air à du vide, est-ce que je peux dire que la vitesse des ondes dans le guide d'onde est celle de la lumière dans le vide ?** Non car dispersion inter et intra-modale.
- **Exemple de guide d'onde ?** Câble coaxial, on trouve 2×10^8m/s.
- **T'as dit que l'onde qui se propageait c'était la TE_{10}. Qu'est-ce que ça veut dire ?** C'est du aux conditions aux limites c'est le mode transverse électrique 1 0.
- **Est-ce qu'on peut avoir des TEM ?** Pas dans un guide de section rectangulaire.
- **Tu peux réexpliquer comment à partir de l'atténatuateur tu mesures l'amplitude ?**
- **Incertitude sur l'angle pour Malus ? Incertitude systématique ?** Pas vraiment systématique.
- **T'as dit que le problème avec Malus c'était pour repérer le 0. Pourquoi ? Comment tu l'as fait ?** On repère mal le zéro parce que on est sur le ventre du cosinus donc pas facile. Explication du DL (c'était pas ça la question ?)
- **T'as dit qu'une petite incertitude sur a avait des grandes importances puisque c'est du puissance 10. Comment tu pourrais quantifier ça ?** DL, ou alors prendre un δa et on regarde la variation.
- **C'est quoi un polariseur dichroïque ? Y'a d'autres types de polariseur ?** Chaine de polymères alignés. Autres types de polariseurs : polariseurs par absorption ou par séparation de faisceau.
- **T'as dit que c'était important de bien centrer le bout de verre ? Comment t'as fait ?** Scotch+trait sur plateau.
- **Quelles incertitudes si c'est pas bien centré ?** Pour la réflexion ça change pas grand chose
- **Autre type de lames ?** Lame quart d'onde, cette fois déphasage pi/2 du coup polar circulaire.
- **Tu connais d'autres matériaux biréfringents ?** Là c'est une biréfringence permanente, sinon provoquées par ex faraday où avec une contrainte mécanique. Il y a aussi une biréfringence circulaire naturelle en chimie, avec le pouvoir rotatoire de certaines molécules chirales, ou encore la biréfringeance du scotch.
- **Qu'est-ce qu'un polarimètre de Laurent permet de mesurer ?** Excès énantiomérique.
- **Principe du polarimètre de Laurent ?** équipénombre.
- **Comment fonctionne un épurateur de faisceau ?** C'est un simple filtrage de Fourier qui enlève les défauts du faisceau.
- **Pourquoi on est plus sensibles au jaune ?** On n'est pas sensibles au bleu évolutivement on vient de la mer. On répond au maximum dans le jaune parce que c'est la longueur d'onde max du spectre solaire.

Remarques

- **Pas faire tous les points en direct pour Malus parce que ça fait n'importe quoi.**