

MP 14 - POLARISATION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES.

24 février 2017

Karen Monneret & Paul Haddad

*"Merci au sanglier fauché par le train, qui m'a
rallongé mon voyage et permis de rédiger le poly en
une soirée !"*

LA SNCF VOUS SOUHAITE BON VOYAGE,

Commentaires du jury

2014, 2015, 2016 : Ce montage permet d'explorer les ondes électromagnétiques au-delà de la gamme spectrale de l'optique. Le jury constate que la loi de Malus est souvent mal réalisée et mal exploitée ; les candidats gagneraient à réfléchir au choix de la source : spectrale, blanche avec filtre, laser polarisé ou non polarisé. Enfin, il faut connaître le principe des polariseurs utilisés, que ce soit des polariseurs dichroïques ou de simples grilles dans le cas des ondes centimétriques.

Jusqu'en 2013, le titre était : Production et analyse d'une lumière polarisée.

Bibliographie

- *Notice du banc hyperfréquence*, → loi de Malus des ondes centimétriques
- *Ondes*, **HPrépa**, → théorie pour la propagation guidée des ondes
- *Optique expérimentale*, **Sextant** → polaroid et brewster
- *Optique*, **Houard** → chapitre 9 complet sur la polarisation de la lumière

Table des matières

1	Polarisation des ondes centimétriques.	2
2	Polarisation par dichroïsme.	3
3	Polarisation par réflexion.	4
3.1	Étude de la lumière réfléchie.	5
3.2	Étude de la lumière transmise.	5
4	Matériels :	6
4.1	Manip 1 :	6
4.2	Manip 2 :	6
4.3	Manip 3 :	6

Introduction

Polarisation : définie par la direction et l'amplitude du champ $\vec{E}$. Cette fois-ci on se concentre sur le caractère vectoriel de l'onde.

Ondes EM : propagation d'un champ $\vec{E}$ et $\vec{B}$.

Divers types de polarisation :

- non polarisée, $\vec{E}$ a une direction aléatoire ; par exemple la lumière du soleil, la QI
- linéaire : $\vec{E}$ ne change pas de direction et l'amplitude est constante.
- circulaire : $\vec{E}$ contient deux composantes, le champ tourne autour de la direction de propagation et l'amplitude est constante.
- elliptique : $\vec{E}$ tourne et change d'amplitude.

Dans ce montage je me suis focalisée sur la polarisation des ondes centimétriques et optiques et sur deux moyens de polariser les ondes : le dichroïsme et la réflexion ;

1 Polarisation des ondes centimétriques.

cf. la notice du banc

Pour l'étude des ondes centimétriques, on utilise le dispositif en figure 1. Tout ce dispositif est décrit dans la notice. Par l'étude des fréquences de coupure d'un guide d'onde rectangulaire de côté $a = 2.3cm$ et $b = 1cm$, on voit que seul le mode TE_{10} est excité ; on se fixe à une fréquence de 9GHz. Ce mode montre une polarisation rectiligne de l'onde. On peut alors faire la vérification de la loi de Malus à l'aide de cones permettant de faire une adaptation d'impédance. Le second cone est relié à un voltmètre ; Selon la notice, le receptr n'est pas linéaire en puissance (à vérifier), il faut alors passer par l'atténuateur pour vérifier cette loi.

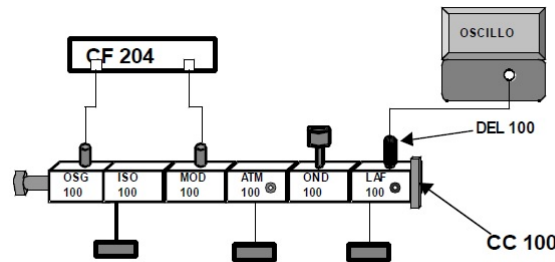


FIGURE 1 – Loi de Malus pour les ondes centimétriques.

Loi de Malus :

- Fixer le deuxième cône sur une potence avec une pince à bouts plastifiés (pour bien serrer sans rayer) ; au bout de la pince, fixer un rapporteur plastifié et un curseur pour lire l'angle ;
- Fixer une tension de référence quand $\alpha = 0$;
- Tourner le récepteur, et avec l'atténuateur, retrouver la tension de référence ;
- Faites plusieurs mesures pour différents angles, en prenant le soin de faire $\pm$ l'angle afin de corriger une éventuelle erreur d'offset ;

Ci-joint la courbe faite en préparation (cf. Figure 2), pour une tension de référence $U_{ref} = 0.050V$ et une atténuation de référence $A_{ref} = 7.8dB$;

La notice donne la formule suivante : $U = U_0 10^{A/10}$.

La régression linéaire U en fonction de $\cos^2(\alpha)$, donne un coefficient de $U_{ref} = 0,04214 \pm 0,0078$.

On retrouve la tension de référence choisie !

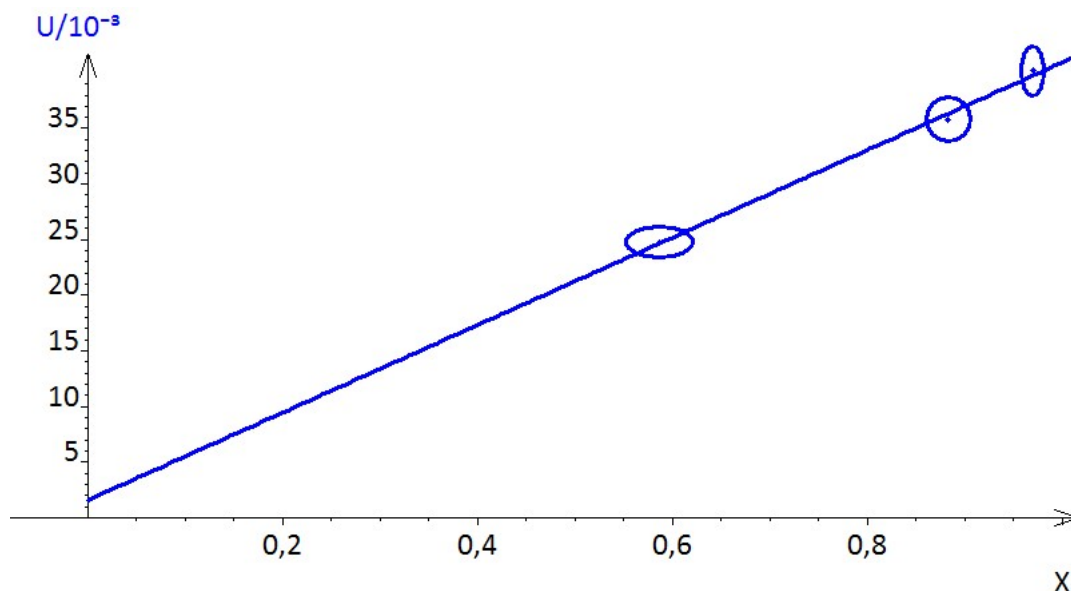


FIGURE 2 – Loi de Malus pour les ondes centimétriques.

Une dernière étude possible est l'utilisation de polariseur à grille de pas de 1 cm (petit devant la longueur d'onde de l'onde de 3 cm). Si les barreaux sont parallèles à la direction du champ E , on a réflexion ("effet miroir") de l'onde et elle n'est pas transmise (tension nulle dans le second cône). Si on met les barreaux perpendiculaires au champ E , l'onde est transmise sans modification. On peut maintenant voir le polariseur utilisé pour les ondes optiques polarisées rectilignement : le polaroïd.

2 Polarisation par dichroïsme.

cf. Sextant.

Dichroïsme : propriété qu'ont certains matériaux anisotropes d'absorber différemment une composante vectorielle du champ électrique ;

Le polaroïd est composé de longues chaînes de polymères étirés dans une direction. Si le champ E est polarisé selon cette direction, on va avoir des courants induits dans les polymères et dissipation par effet Joule ;

L'onde ne sera alors pas transmise. Perpendiculairement aux chaines, l'onde sera transmise intégralement : on privilégie donc une direction. On polarise alors rectilignement le faisceau.

Ces polariseurs sont caractérisés par des facteurs de transmission H_0 (quand deux polariseurs sont en configuration "parallèle") et H_{90} (quand les deux polariseurs sont en configuration "croisés").

On peut caractériser un couple de polariseurs (ou un polariseur ?) à l'aide des rapports d'intensité des spectres. Il nous faut alors :

- une QI jamais sans son AC!
- un couple de polariseurs, loin de la QI pour avoir des rayons peu inclinés par rapports aux polariseurs.
- spectroscopie (grosse boîte blanche) avec spid HR; sensibilité à 10ms, décocher le "gérer automatiquement" pour garder la même baseline pour les trois spectres; moyenne - une dizaine de spectres;
- faire 1 spectre de référence pour le signal de la QI I_{ref} , un pour les polariseurs config. parallèles I_{para} , et un pour la config. croisée I_{croise} . Exporter ses spectres un par un en fichier texte pour les lire sur Latis pro. En figure 3, les rapports obtenus lors de la préparation.

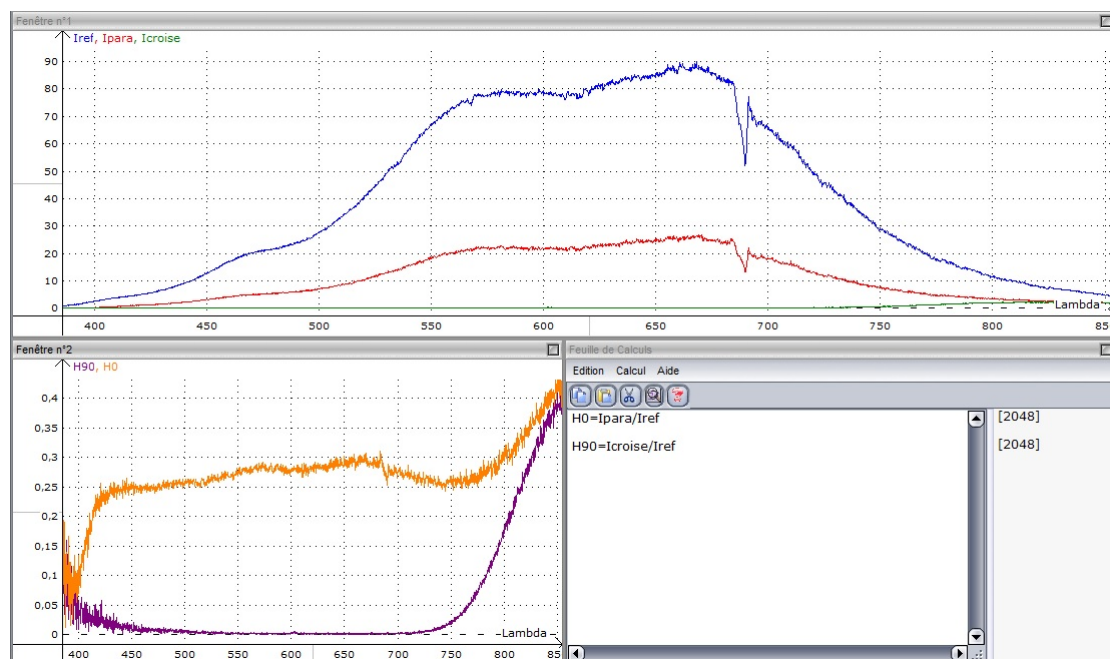


FIGURE 3 – Coefficient de transmission d'un couple de polaroïd.

On observe un coefficient $H_0 \approx 0.30$ et un coefficient $H_{90} \approx 10^{-4}$ comme donné dans la référence. Ces coefficients sont valables dans la gamme du visible mais plus en IR; En effet les polariseurs n'ont pas une bonne réponse en IR, les molécules ne répondant plus à des excitations à ces longueurs d'onde.

3 Polarisation par réflexion.

cf. Houard et Sextant.

3.1 Étude de la lumière réfléchie.

Etude de la réflexion et réfraction à l'interface de deux diélectriques, l'air et le verre. Lors de l'envoi d'une onde non polarisée sur une interface, les ondes réfléchie et transmise ont des composantes du champ E différentes ; on voit à l'aide d'un polariseur que les deux ondes sont partiellement polarisées.

Détermination de l'angle de Brewster :

On envoie un laser vert non polarisé sur une lame de verre ; en réflexion, on voit que l'onde est partiellement polarisée (variation d'intensité quand on tourne le polariseur) ;

On découvre qu'à un certain angle, angle de Brewster, on obtient une extinction totale de la lumière réfléchie ; le polariseur est donc orienté parallèlement au plan d'incidence.

En effet, si je met le même polariseur en sortie du laser (sans le tourner), je ne vois pas d'onde réfléchie : l'onde est donc bien polarisée parallèlement au plan d'incidence et est donc non transmise.

Ainsi à l'angle de Brewster, une onde au départ non polarisée, devient par réflexion polarisée rectilignement perpendiculairement au plan d'incidence.

On obtient $i = 57 \pm 1$ degré soit un indice optique pour le verre de $n = 1.6 \pm 0.05$.

Application : les verres solaires polarisants pour ne pas avoir de réflexion lors de la conduite !

3.2 Étude de la lumière transmise.

Au fur et à mesure que l'on rajoute des interfaces air/verre, on sépare progressivement les polarisations ; la lumière réfléchie est toujours polarisée perpendiculaire dans le plan d'incidence ; mais c'est la lumière transmise qui elle, devient de plus en plus polarisée parallèlement au plan d'incidence. Elle passe de partiellement polarisée à une polarisation rectiligne ;

On peut alors définir le coefficient de réflexion du verre : $R_{\text{perp}} = \left(\frac{n^2-1}{n^2+1}\right)^2$ égale à 0.15 pour un indice de 1.5.

Mesure du coefficient de réflexion du verre :

- être à l'angle de Brewster et polariser la lumière incidente avec P1 (laser vert non polarisé - avec le rouge ça fluctuait trop-) à 45 degré du plan d'incidence pour avoir un peu des deux polarisations ;
- placer un second polariseur (P2) en transmission dont on connaît son axe de polarisation.
- placer enfin une photodiode polarisée en inverse ($E=-3V$ et $R=1 \text{ k}\Omega$) et mesurer la tension aux bornes de la résistance ;
- pour chaque ajout de lame, mesurer la tension lorsque l'axe de polarisation de P2 est parallèle et perpendiculaire au plan d'incidence.
- on obtient alors un taux de polarisation : $\eta_N = \frac{I_{\text{para}} - I_{\text{perp}}}{I_{\text{para}} + I_{\text{perp}}}$; Une régression linéaire est alors possible afin de retrouver R_{perp} : $\ln\left(\frac{1-\eta_N}{1+\eta_N}\right) = \ln(1 - R_{\text{perp}}) * 2N$ (cf. Figure 4).

On obtient avec la régression linéaire un coefficient de réflexion de $R_{\text{perp}} = 0.1537 \pm 0.0003$.

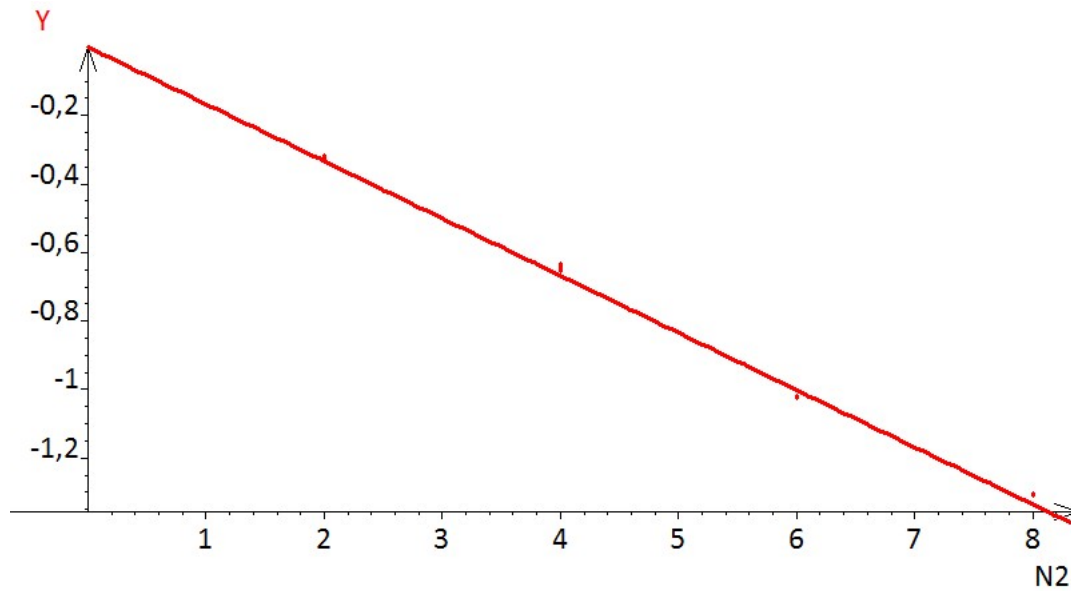


FIGURE 4 – Coefficient de réflexion d'une lame de verre.

4 Matériels :

4.1 Manip 1 :

- banc hyperfréquence et sa valise
- 1 multimètre
- 1 potence/noix/grosse pince
- 1 rapporteur du tonnerre et un curseur

4.2 Manip 2 :

- QI et son AC
- deux polariseurs P119.2/1 + 3
- Spectro et logiciel spid HR

4.3 Manip 3 :

- laser vert non polarisé
- deux polariseurs
- plateau tournant
- support boy
- photodiode + tension continue + résistance boites à décades
- lame de verre et son support P12.43

Conclusion

Parler d'applications ; On peut étudier d'autres types de polarisations : circulaire et elliptique ;