

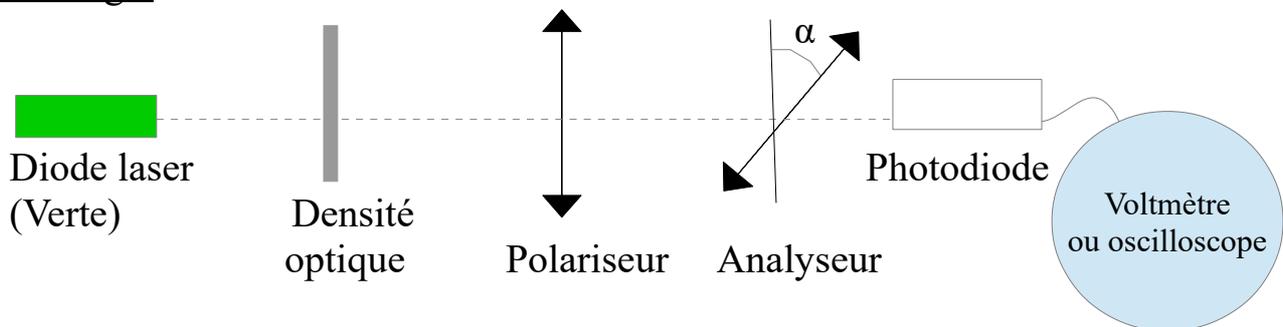
MP N°27 : Polarisation des ondes électromagnétiques.

Expérience 1 : Vérification de la loi de Malus.

Matériel:

- Un polariseur et un analyseur gradués
- Un banc optique court avec 5 pieds optiques
- Une diode laser
- Une densité optique avec monture
- Une photodiode de mesure
- Un oscilloscope
- Un voltmètre

Montage:



Préparatifs:

- Réaliser le montage ci-dessus en reliant la photodiode à un oscilloscope en mode défilement.
- Placer l'analyseur à la graduation 0.
- Tourner le polariseur et observer à l'oscilloscope si la photodiode répond correctement aux variations d'intensité lumineuse en particulier qu'elle ne sature pas. Si c'est le cas, prendre une densité optique plus importante.
- Brancher la photodiode au voltmètre.
- Aligner le polariseur et l'analyseur.

Mesures :

→ Pour α allant de 0° à 90° :

→ Incliner l'analyseur d'un angle $+\alpha$ et noter la valeur de la tension mesurée au voltmètre.

→ Incliner l'analyseur d'un angle $-\alpha$ et noter encore la valeur affichée au voltmètre.

→ Faites la moyenne des deux mesures notée $U(|\alpha|)$.

→ On obtient des couples $(|\alpha|, U(|\alpha|))$.

→ Calculer alors des «intensités lumineuses normalisées» $Imoy(|\alpha|)$ afin de s'affranchir du bruit lumineux ambiant et rendre les mesures reproductibles:

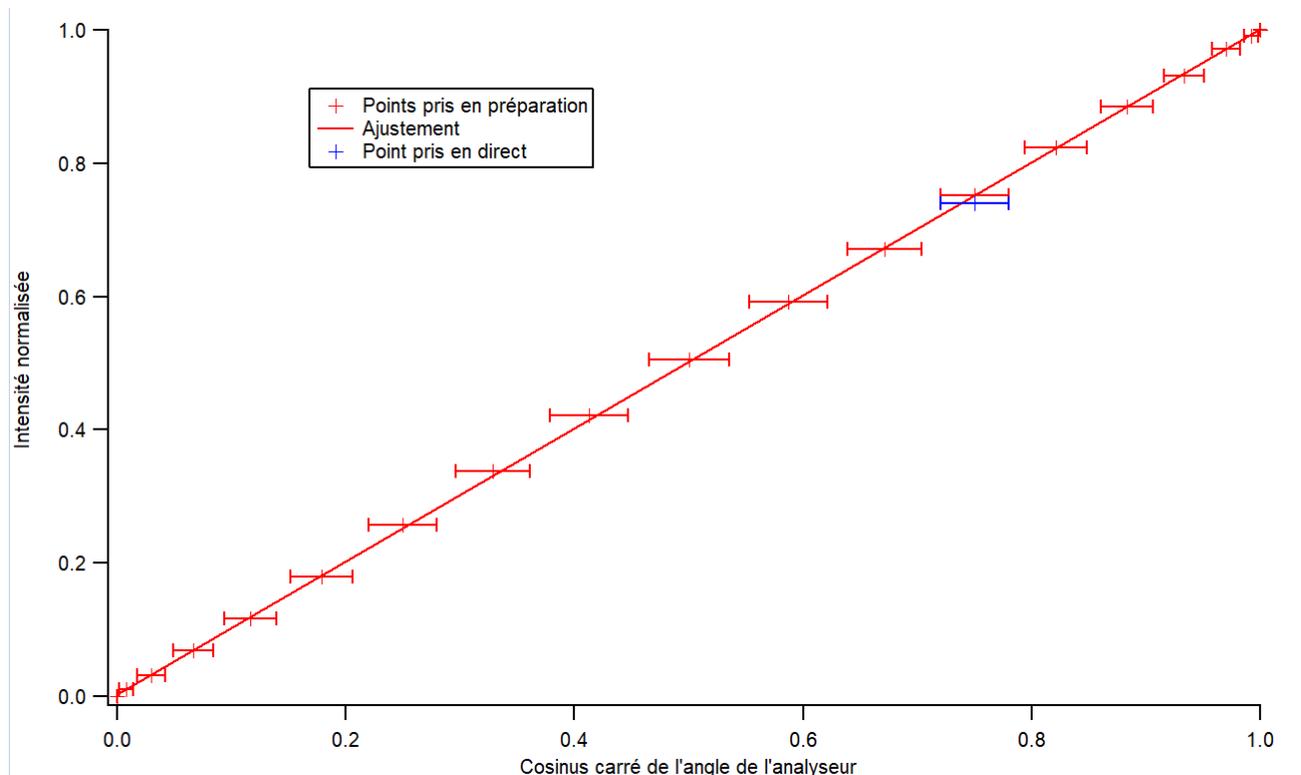
$$Imoy(|\alpha|) = |U(|\alpha|) - U(90^\circ)| / |U(0^\circ) - U(90^\circ)|.$$

Note : Pour une photodiode avec montage transimpédance adapté, U est proportionnel à l'intensité lumineuse incidente sur la photodiode directement donc comme, en plus, on normalise, parler de tension ou d'intensité lumineuse normalisée n'a bien aucune importance.

→ Rentrer les couples $(|\alpha|, Imoy(|\alpha|))$ sur Igor ou Python.

Résultats:

On trace cette «intensité normalisée» en fonction de $\cos^2(\alpha)$ sur Igor ou Python
/!\ ATTENTION A BIEN EXPRIMER α EN RADIANS /!\



La loi de Malus qui stipule que $I(\alpha) = I_0 \cos^2(\alpha)$ est bien vérifiée.

Bibliographie :

→ Le livre de Physique Expérimentale d'Arnaud explique toute la procédure en détails.

Commentaires du correcteur :

→ Pour changer un peu, on peut réaliser cette expérience avec des ondes centimétriques à l'aide d'un cornet émetteur et un récepteur et en plaçant deux grilles métalliques adaptées jouant le rôle de polariseur et d'analyseur pour les ondes centimétriques.

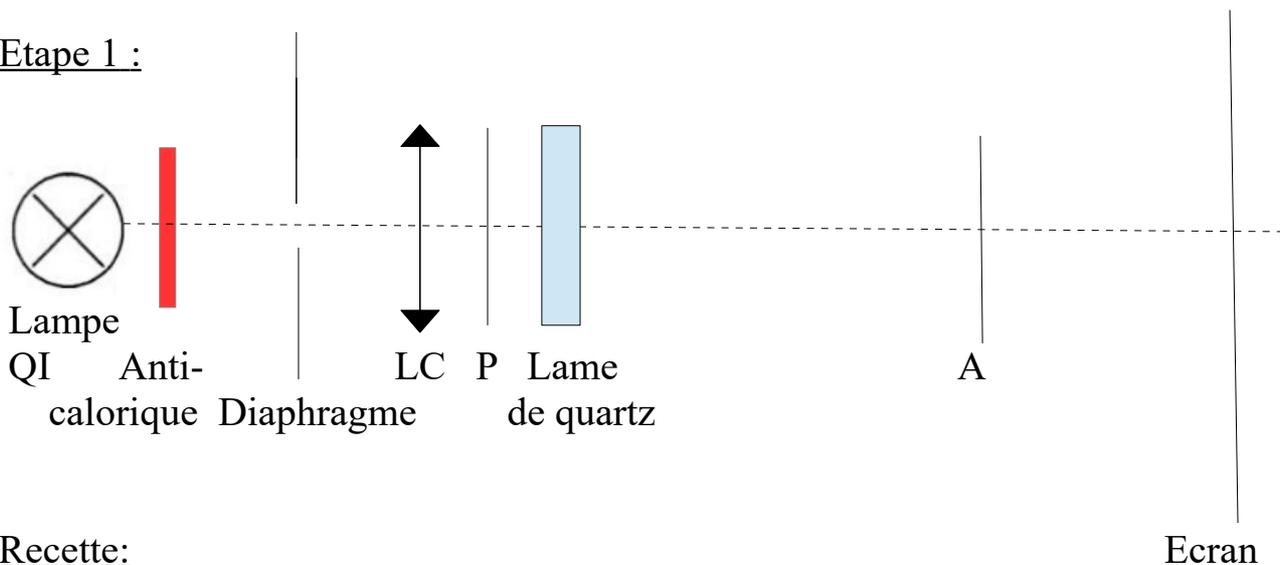
Expérience 2 : Analyse d'une lumière polarisée elliptiquement par la méthode $\lambda/4$

Matériel :

- Un banc optique avec 10 pieds optiques
- Une lampe QI
- Un filtre anticalorique
- Une diaphragme
- Une lentille convergente 200 mm
- Deux polariseurs et un analyseur
- Une lame de quartz mince (200 micromètres) dont les axes neutres sont connus.
- Une lame quart d'onde mince dont les axes neutres sont connus.
- Un écran

Montage :

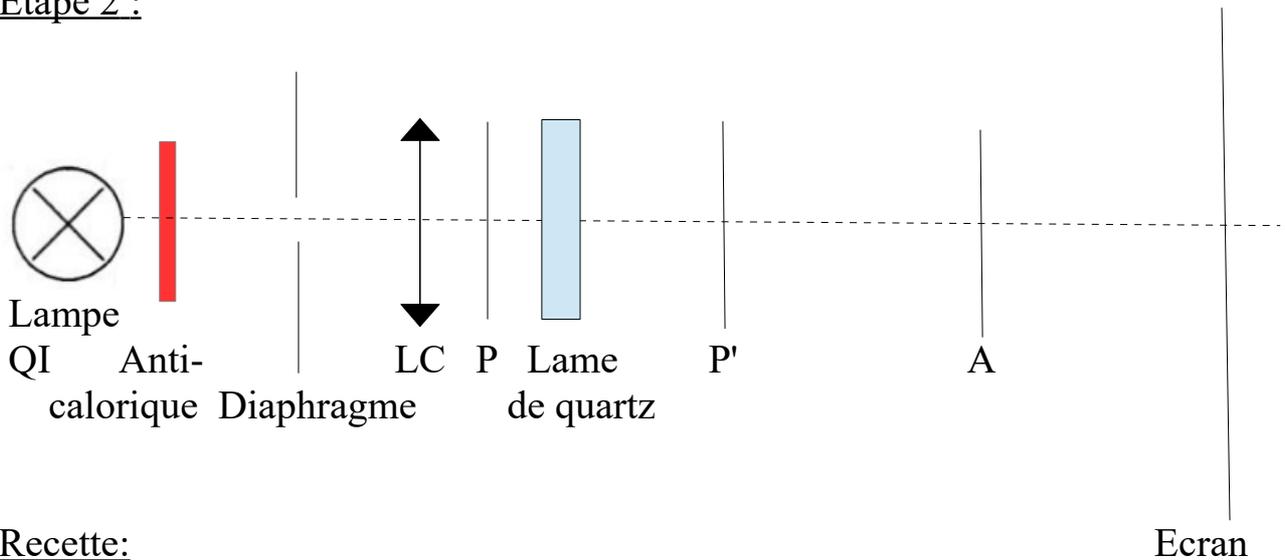
Etape 1 :



Recette:

- Réaliser le montage ci-dessus en plaçant le diaphragme au foyer objet de la lentille convergente 200 mm LC et Polariseur P et Analyseur A parallèles.
- Incliner la lame de quartz d'un angle quelconque. Il faut simplement que ses axes neutres ne soient pas alignés avec le polariseur P. La polarisation en sortie de la lame de quartz est alors elliptique mais ses propriétés sont inconnues (ellipticité ε et caractère gauche ou droit).
- Tourner l'analyseur et observer deux minima et deux extrema d'intensité correspondant au petit axe et au grand axe de l'ellipse.
- Placer l'analyseur parallèlement au petit axe donc en repérant un minima.

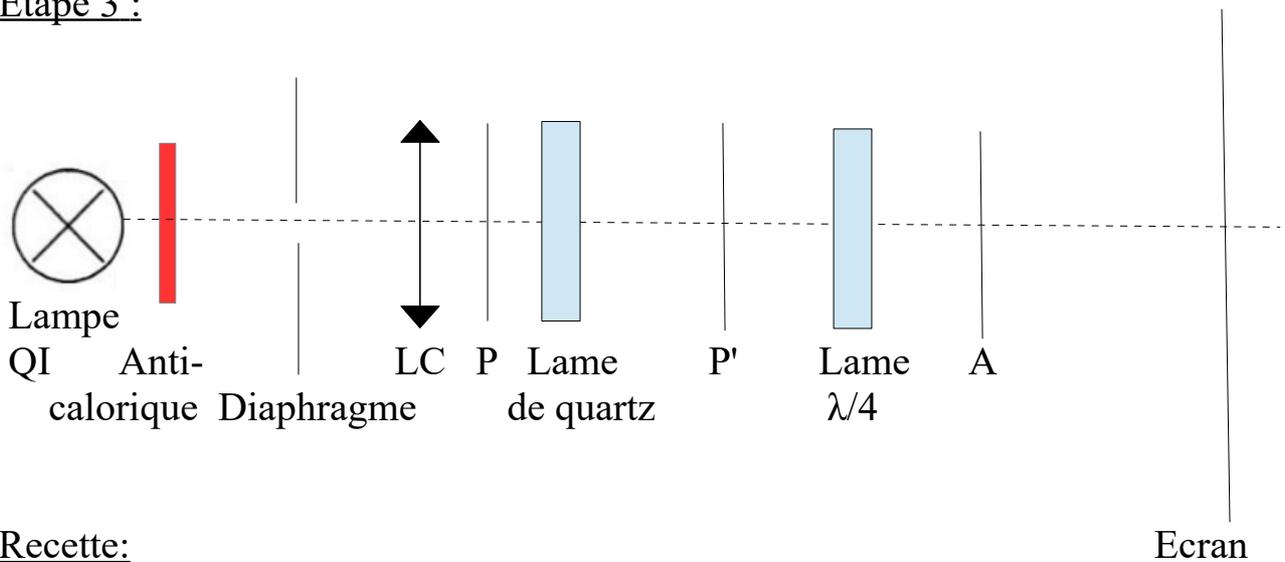
Etape 2 :



Recette:

- Rajouter un polariseur P' entre la lame de quartz et A.
- Croiser P' et A en tournant P' de telle sorte à observer une extinction sur l'écran. P' est alors parallèle au grand axe de l'ellipse.

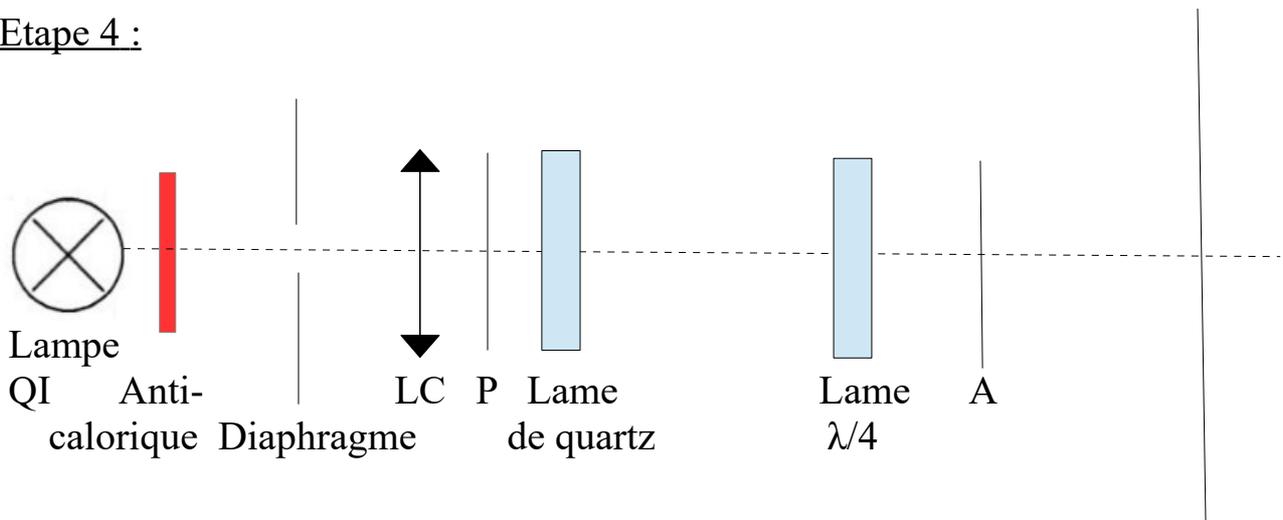
Etape 3 :



Recette:

- Rajouter une lame quart d'onde entre P' et A. L'extinction disparaît. On suppose ses axes lent et rapide connus (donc notés sur la lame).
- Placer l'axe lent de la lame quart d'onde selon l'axe du polariseur P'. Pour ce faire, placer grossièrement l'axe lent selon l'axe de P' puis observer l'écran : lorsque l'axe lent et l'axe de P' sont parfaitement alignés, l'extinction est rétablie.

Etape 4 :



Recette :

Ecran

→ Retirer le polariseur P'. L'extinction disparaît de nouveau. L'axe lent de la lame quart d'onde est aligné avec le grand axe de l'ellipse et son axe rapide avec son petit axe.

→ Tourner l'analyseur A du plus petit angle possible pour rétablir l'extinction. Cet angle correspond à l'ellipticité ε de l'ellipse inconnue et le sens dans lequel on a tourné l'analyseur A donne le caractère gauche ou droit de la polarisation.

Bref, c'est gagné !

Explications :

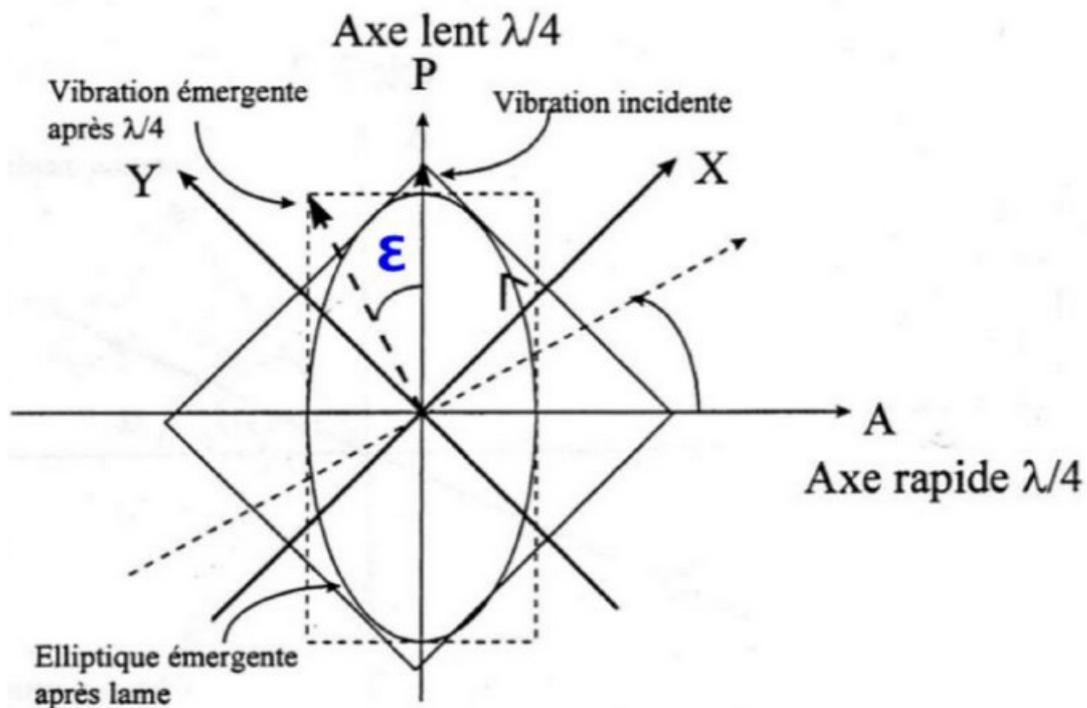
On sait tous que lorsqu'on envoie une polarisation rectiligne quelconque sur une lame quart d'onde, elle ressort elliptique dans le cas général (exceptions : rectiligne si la polarisation incidente est selon un des axes neutres (lent ou rapide) et circulaire si elle est exactement à 45° de ces derniers mais ce n'est pas important pour la suite). Cette polarisation elliptique n'est pas quelconque ! Son grand axe et son petit axe sont parallèles aux axes neutres de la lame quart d'onde.

Ainsi, en raisonnant dans l'autre sens, si on envoie une polarisation elliptique dont le grand axe et le petit axe sont parallèles aux axes neutres de la lame quart d'onde, elle ressort rectiligne ! Cette polarisation rectiligne a alors la propriété d'être inclinée par rapport aux axes neutres de la quart d'onde d'un angle égal à l'ellipticité de l'ellipse ! C'est ce qu'on mesure avec notre analyseur A!

De manière moins triviale, on peut montrer que si on aligne l'axe lent de la quart d'onde avec le grand axe de l'ellipse (comme on l'a fait dans notre expérience), le sens de rotation de l'analyseur A donne le caractère gauche ou

droit de la polarisation.

Le schéma ci-dessous résume l'expérience:



X, Y: axes neutres de la lame de quartz

Bibliographie :

→ Le poly de TP d'agrég sur l'optique anisotrope résume la méthode mais on n'y a pas accès le jour J.

→ On peut trouver quelques infos sur la méthode dans le Sextant.

Expérience 3 : Effet Faraday et mesure de la constante de Verdet d'un barreau de verre Flint

Matériel :

→ L'électroaimant « creux » pour l'Effet Faraday

→ L'alimentation adaptée à l'électroaimant (ensemble alimentation + autotransformateur)

→ Un ampèremètre

→ Un teslamètre à Effet Hall

→ Un barreau de verre Flint (à demander directement à Pierre si vous voulez

faire la manip car il n'est pas accessible directement).

- Une potence, une noix et une pince 3 doigts (pour maintenir le teslamètre).
- Un polariseur et un analyseur.
- Une diode laser
- Un écran (ou une photodiode si on souhaite être très précis).

Note : on peut aussi prendre un miroir et une lame semi-réfléchissante pour réaliser un montage où le laser passe 2 fois à travers l'électroaimant. Cela permet de multiplier par deux l'angle de Faraday et de faciliter les mesures à l'analyseur (mais ce n'est pas obligatoire, ça marche bien sans cela en vrai).

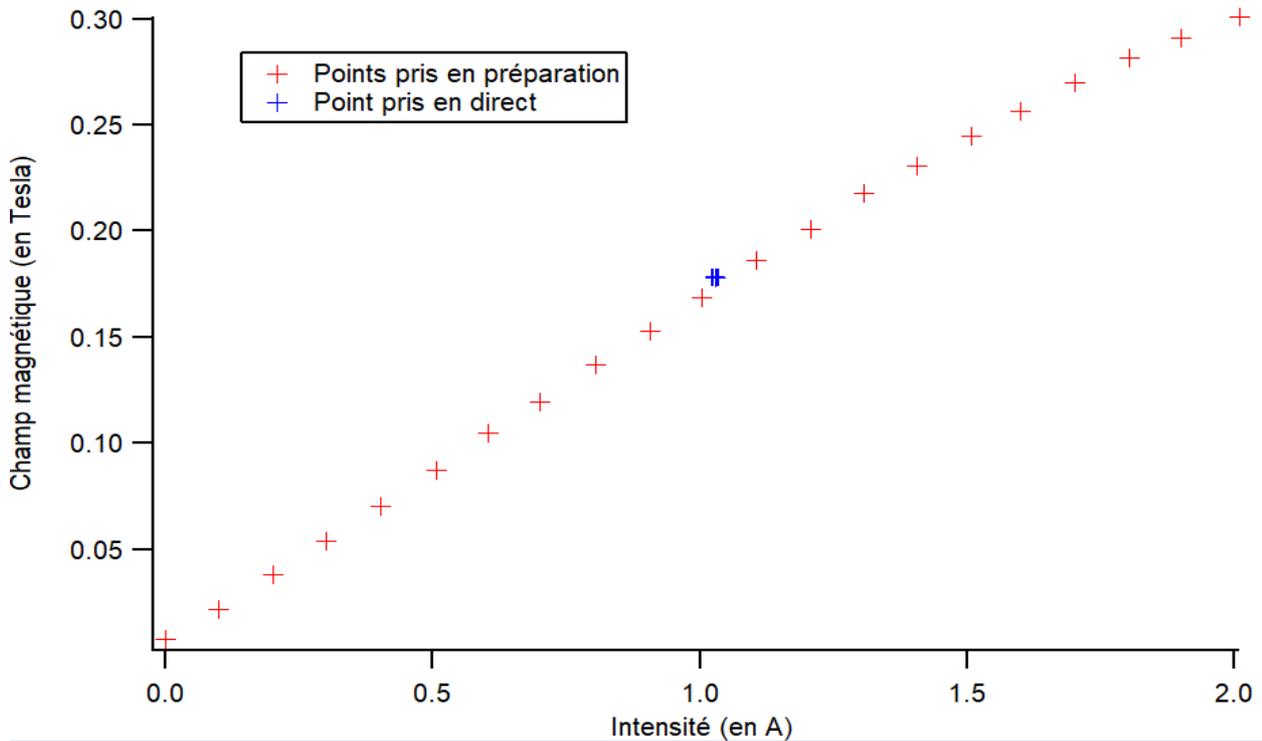
Montage :

Etape 1 : « Etalonnage » de l'électroaimant.

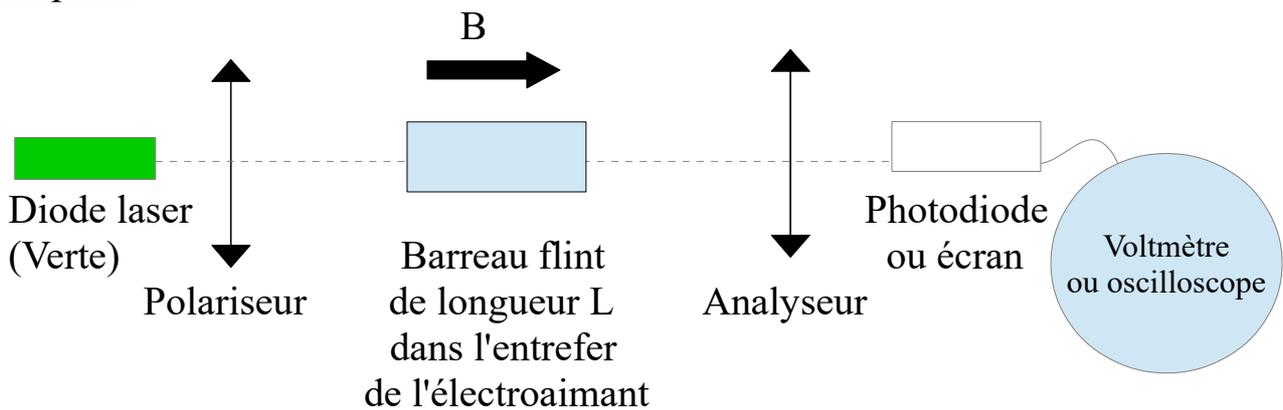
Recette :

- Insérer le barreau Flint dans l'entrefer de l'électroaimant et serrer légèrement.
- Retirer le barreau Flint en desserrant très légèrement l'entrefer. Ceci permet de fixer la taille de l'entrefer égale à celle du barreau Flint avant de commencer à étalonner l'électroaimant.
- Brancher l'électroaimant en insérant un ampèremètre dans le circuit.
- A l'aide d'un système de potence + noix + pince trois doigts, placer une sonde à Effet Hall dans l'entrefer de l'électroaimant.
- L'autotransformateur permet de faire varier l'intensité du circuit de 0 à 2A max (ne pas dépasser 2A !/).
- Pour chaque valeur de B mesurée au teslamètre, mesurer I.

Cette étape paraît inutile et hors-sujet mais il n'en est rien. En effet, lorsque le barreau flint est situé dans l'entrefer, il est impossible de mesurer B directement. De plus, la relation entre I et B n'est pas totalement linéaire sur toute la plage [0,2A] (saturation de l'électroaimant) donc impossible d'utiliser simplement que $B = \mu_0 \mu_r N I / e$ (avec N le nombre de spires des bobines de l'électroaimant et e la taille de l'entrefer). Mais ce n'est pas grave : grâce à cet étalonnage, on sait donc que pour chaque I mesuré, on dispose d'un B mesuré donné dans l'entrefer. En se replaçant à chacun de ces I, on sait qu'on aura donc à chaque fois ces B mesurés au préalable (même si on perd du coup légèrement en précision sur nos mesures).



Etape 2 :



Préparatifs :

→ Réaliser le montage ci-dessus. Le polariseur et l'analyseur sont croisés. Le barreau Flint est inséré dans l'entrefer de l'électroaimant.

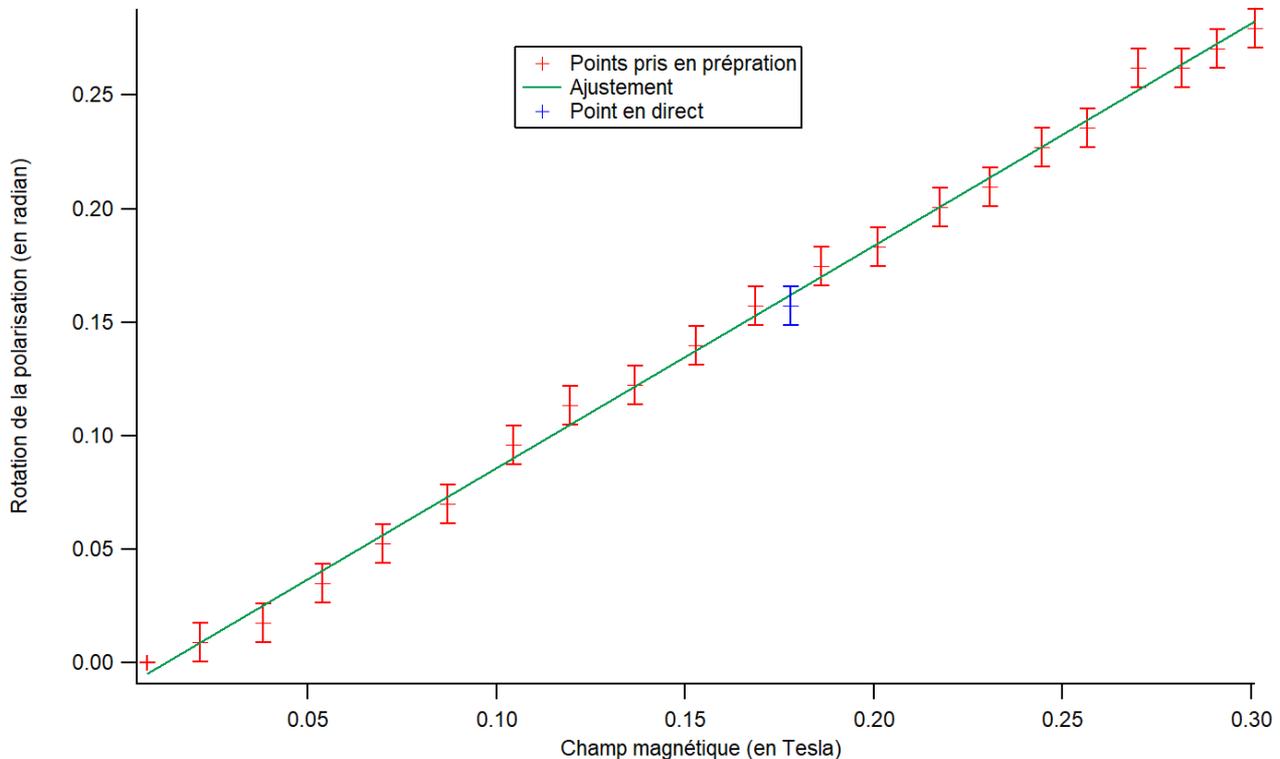
Mesures :

→ Pour chaque valeur de l'intensité I de l'étalonnage parcourant l'électroaimant (et donc pour chaque valeur de B de l'étalonnage) :

- Observer la disparition de l'extinction sur l'écran (ou à la photodiode).
- Tourner l'analyseur d'un angle α pour rétablir l'extinction

Résultats :

On trace α en fonction de B . On obtient une droite de pente égale à $V \cdot L$ où L est la longueur du barreau et V la constante de Verdet du barreau de Flint que l'on peut mesurer et comparer à la notice.



A noter que cette manip est très reproductible et fonctionne bien.

Bibliographie :

→ Notice en ligne et disponible le jour J de la manip Effet Faraday et barreau de verre flint.

→ On trouvera également dans le Handbook quelques valeurs de constantes de Verdet.

Commentaires du correcteur :

→ Cette expérience est peut-être un peu hors-sujet et rentrerait plus dans le montage « biréfringence et pouvoir rotatoire ».

→ On peut la remplacer par la manip de la mesure de l'angle de Brewster (cf CR correspondant).

Manipulation surprise : Mesure de la fréquence de résonance d'un diapason désaccordé

On enregistre le signal du diapason avec un micro relié à un oscilloscope. On mesure la fréquence à l'oscilloscope directement ou en effectuant une FFT et c'est gagné.