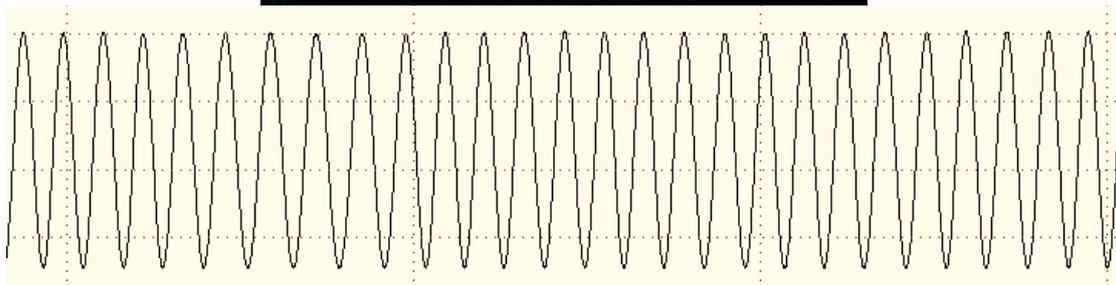
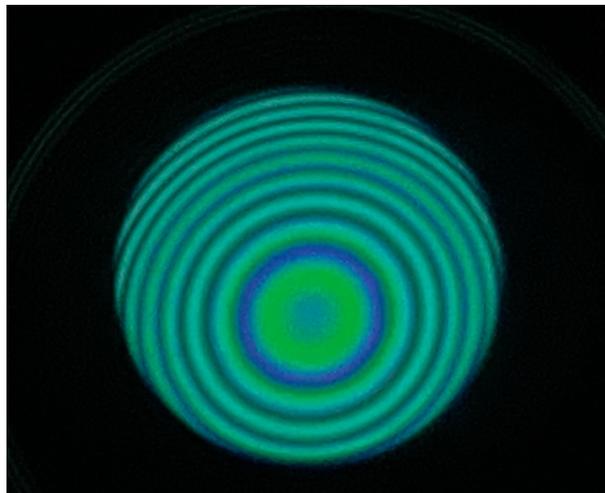


Interféromètre de Fabry-Pérot et spectrométrie par interférométrie



Étudiants :

Zehua Ai

Lisa Clément

Dursun Cakir

Théo Saint-Lys

Léopold Roux

Enseignant-responsable du projet :

Maxime Joret – David Honoré

Date de remise du rapport : **11/06/2022**

Référence du projet : **STPI/P6/2022 – 32**

Intitulé du projet : ***Interféromètre de Fabry-Pérot et spectrométrie par interférométrie***

Type de projet : ***expérimental et bibliographique***

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

L'objectif premier est d'approfondir nos connaissances en optique et plus précisément sur les sujets traitant les interférences.

Le deuxième objectif est d'acquérir une autonomie dans l'élaboration de protocoles mais également de savoir les mettre en œuvre afin d'effectuer des calculs puis de procéder à du traitement de données.

Le dernier objectif consiste à toujours plus nous habituer à travailler en groupe avec pour finalité la rédaction d'un rapport résumant un semestre de travail autant théorique que pratique.

Mots-clefs du projet (4 maxi) : ***Fabry-Pérot , Michelson , optique , interférences***

Si existant, n° cahier de laboratoire associé : ***N.A.***

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction.....	5
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	6
3. Travail réalisé et résultats.....	8
3.1. Interféromètre de Fabry-Pérot.....	8
3.1.1. Historique.....	8
3.1.2. Expérience n°1 : Identification des coefficients de transmission et de réflexion.....	9
3.2. Interféromètre de Michelson.....	11
3.2.1. Historique.....	11
3.2.2. Expérience n°1 : Identification des longueurs d'ondes composant un signal détecté.....	12
4. Conclusions et perspectives.....	15
5. Bibliographie.....	17
6. Annexe Expérience Fabry-Pérot.....	18
6.1. Calculs relatifs à l'identification du coefficient R.....	18
7. Annexes Expérience de Michelson.....	20
7.1. Extrait du TP de Michelson : réglage de l'interféromètre.....	20
7.2. Protocole expérimental Expérience n° 1 (Michelson).....	22
7.3. Résultats de l'expérience.....	25
7.4. Résultats théoriques pour trouver l'intensité lumineuse en sortie de Michelson.....	26

1. INTRODUCTION

Dans le cadre du projet de physique P6 intervenant en seconde année du cycle préparatoire à la formation d'ingénieur, nous avons été amenés à étudier les interféromètres à division d'amplitudes.

L'objectif de ce projet est de travailler de manière plus approfondie sur un thème prédéfini – en l'occurrence les interférences – et de le traiter au travers d'expériences concrètes et imaginées par nous même. De plus, un travail sur les recherches documentaires est primordial pour pouvoir apprivoiser, comprendre et réfléchir de façon efficace sur le sujet en question. Enfin, ce projet nous permet également d'enrichir notre culture scientifique et de nous ouvrir à des sujets scientifiques n'ayant pas forcément un lien direct avec la poursuite de nos études.

Au sein de notre groupe, le domaine de l'optique s'est avéré évident dans le choix des projets du fait de ses applications nombreuses dans le monde scientifique.

Le second objectif de ce projet est de nous apprendre à travailler en groupe et de s'organiser en autonomie afin de rendre un rapport dans un temps imparti. De ce fait, le projet nous pousse à mettre en place des réunions, des plannings mais également nous apprendre à communiquer efficacement avec l'ensemble du groupe pour avancer vers les objectifs que nous nous donnons. Ainsi, ce projet doit nous être utile dans nos futurs méthodes de travail en entreprise car nous serons menés à travailler dans des configurations similaires.

Dans un premier temps, nous exposerons l'organisation de travail que nous avons choisie et qui a dû s'adapter aux circonstances particulières auxquelles nous avons fait face.

Dans un second temps, nous nous intéresserons aux interféromètres de Fabry-Pérot et de Michelson. Pour chacun des interféromètres, il s'agira de commencer par une approche historique, puis une approche théorique avant de présenter les expériences réalisées ainsi que nos résultats expérimentaux et nos interprétations.

2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Notre organisation de travail s'est répartie en 4 différentes phases lors de ce projet de P6, la première phase fut une phase de découverte du projet et du Fabry-pérot avec le professeur, qui a durée deux séances et où nous avons commencée la bibliographie.

La seconde phase fut un travail réalisé en total autonomie sur le Fabry-Pérot, lors de cette phase-ci nous nous sommes réunis en présentiel lors des séances mais également en distanciel lors des vacances. Ces réunions en distanciel se sont faites par le biais de Discord où Léopold à créé un serveur afin de pouvoir communiquer nos documents et se réunir . Nous avons donc avancé la bibliographie, essayé de créer une expérience entièrement par nous même ; l'expérience 1, et nous avons également réaliser des recherches historique.

La troisième phase débuta avec l'intervention de Mr Yon qui nous donna des pistes et nous proposa de réaliser les expériences avec Mr Honoré. Par la suite nous avons donc commencé à travailler sur le Michelson et pour préparer les expériences nous nous sommes séparer les tâches comme suit :

Bibliographie Michelson	Recherche historique Michelson	Expérience Principal	Expérience plus approfondie
Léopold Roux	Dursun Cakir	Théo Saint-Lys Zehua Ai	Lisa Clément

L'expérience principale est celle qui sera réalisée au final sous la tutelle de Mr Honoré et l'expérience approfondie était l'expérience « Mesure de la température d'une flamme avec l'interféromètre de Michelson », seulement elle a été jugé trop complexe par Mr Honoré et irréalisable avec nos capacité et notre équipement.

La quatrième phase fut l'expérience en elle même réalisé avec l'aide de Mr Honoré et lors de ces séances réalisées les mardis sur un autre créneau que le créneau habituel, nous nous sommes séparé en deux équipes :

Partie Théorique	Parti Expérimentale
Théo Saint-Lys Zehua Ai Dursun Cakir	Léopold Roux Lisa Clément

Monsieur honoré est celui qui nous a orienté vers cette séparation en deux équipes afin d'être plus efficace et ayant peu de cours restant il était important de réussir à créer un protocole d'expérience complet.

L'équipe théorique s'est occupé de rédiger tous les calculs théoriques de l'expérience et de les mettre au propre à l'ordinateur, tandis que l'équipe expérimentale a réalisé l'expérience et était celle responsable de rédiger les consignes du protocole de l'expérience.

Nous avons également continuer de nous réunir le Vendredi sur le créneau de P6 normal pour continuer à avancer le rapport, le poster et la soutenance et mettre en commun nos avancés personnelles.

Pour conclure, nous avons pris le temps de toujours nous retrouver pour avancer quelque choses même si parfois l'Enseignant-responsable n'était pas là, ce qui nous a permis de ne pas prendre trop de retard. De plus notre communication en particulier grâce à Discord à été un point déterminant qui nous à permis de savoir ce que tous était en train de réaliser et aussi de pouvoir planifier des réunions pour nous répartir les tâches.

3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

3.1. Interféromètre de Fabry-Pérot

3.1.1. *Historique*

L'interféromètre de Fabry-Pérot est un appareil optique composé de deux lames semi-réfléchissantes parallèles l'une à l'autre avec un fort coefficient de réflexion. Ce qui permet à la lumière entrante d'effectuer une multitude d'allers-retours à l'intérieur de la cavité optique (dispositif dans lequel des rayons lumineux restent bloqués grâce à des miroirs qui réfléchissent les rayons). Les rayons lumineux ressortent donc partiellement après chaque réflexion, ce qui fait que les rayons sortants interfèrent entre eux et créent des anneaux d'interférence.

Cet interféromètre doit son appellation aux physiciens Charles Fabry (1863-1945) et Alfred Pérot (1852-1925). L'interféromètre de Fabry-Pérot trouve ses origines dans une expérience d'Albert A. Michelson (1852-1931). En effet en 1881, il créa une expérience dans laquelle un rayon lumineux fut divisé en deux. Les deux rayons ainsi créés furent réfléchis par des miroirs avant d'être de nouveau superposés. Cela entraîna donc une interférence entre les deux faisceaux. C'est donc en 1899 que Fabry et Pérot fabriquèrent un interféromètre en se basant sur l'expérience de Michelson, donc en utilisant le même principe. Mais ils modifièrent certaines choses, en effet ils ont placé 2 miroirs semi-réfléchissants face à face donc parallèles l'un à l'autre. Ainsi le faisceau réfléchi entre les miroirs se retrouve déphasé par rapport à la lumière qui traverse un des miroirs sans réflexion. Ce qui provoque des interférences constructives ou destructives. Donc certaines longueurs d'onde peuvent traverser l'appareil alors que d'autres sont détruites. C'est ainsi la naissance de l'interféromètre de Fabry-Pérot.

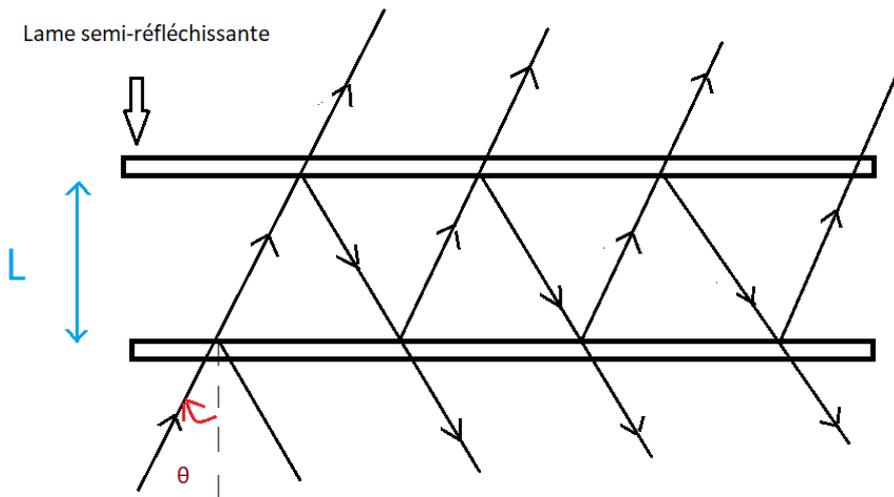


Figure 1: Schéma fonctionnel de l'interféromètre de Fabry-Pérot

3.1.2. **Expérience n°1 : Identification des coefficients de transmission et de réflexion**

Dans un premier temps, l'objectif a été de trouver les coefficients de transmission et de réflexion des miroirs utilisés dans le montage de l'interféromètre de Fabry-Pérot.

Pour cela, il a été décidé de faire une mesure expérimentale de l'amplitude du signal reçue sur un détecteur.

Puis à l'aide des formules ci-dessous, nous étions censé arriver à isoler T. Pour se faire, nous avons considéré l'amplitude détectée comme la somme de toutes les amplitudes des signaux provenant des sources S_n (voir les calculs en annexe 6).

$$A_N = a_0 T R^{(N-1)} e^{-j(N-1)\Phi} \quad ; \quad \Phi = \frac{4\pi \cos \alpha}{\lambda_0} \quad ; \quad R+T=1 \quad ; \quad R = \frac{I_r}{I_0}$$

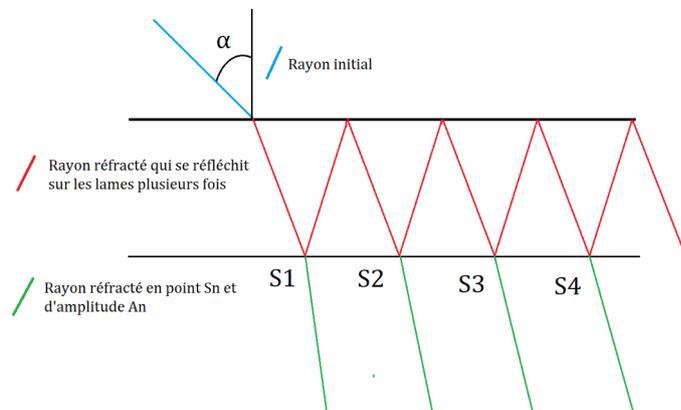


Figure 2: schéma du parcours de l'onde

Enfin, après factorisation, nous avons identifié une équation du 3^e degré.

Nous ne sommes pas allé jusqu'à résoudre cette équation car nous avons bifurqué vers des travaux sur l'interféromètre de Michelson après une discussion avec M. Yon.

3.2. Interféromètre de Michelson

3.2.1. *Historique*

L'interféromètre de Michelson est un dispositif optique inventé en 1887 par Albert Abraham Michelson et Edward Morley (1838-1923) à la suite d'une expérience visant à mesurer le déplacement de la terre dans un fluide hypothétique appelé éther, en effet à cette époque la communauté scientifique pensait la terre se déplaçait dans une sorte de fluide qui composait alors l'espace. Sachant que la lumière qui se propage parallèlement au mouvement de la terre parcourt une même distance avec un temps différent que la lumière suivant une direction perpendiculaire au mouvement de la Terre. L'interféromètre fut alors conçu pour qu'un rayon lumineux soit divisé en deux rayons perpendiculaires l'un à l'autre, les deux rayons lumineux une fois réfléchis et recombinaison produit ainsi des franges d'interférence à l'endroit de leur croisement. L'expérience montra que l'hypothèse du fluide hypothétique ne fonctionne pas. C'est donc comme cela que l'interféromètre de Michelson fut créé.

L'interféromètre de Michelson est constitué de deux miroirs M1 et M2 et d'une lame semi-réfléchissante nommée séparatrice. Ces trois éléments sont orientables dans toutes les directions et M2 peut être déplacé par translation. Il existe plusieurs types de configurations avec le Michelson :

- Si la lame séparatrice est positionnée sur la bissectrice des deux droites qui portent M1 et M2, c'est alors la configuration dite « en lame d'air », puisque M1' (l'image de M1 par la séparatrice) et M2 sont alors portés par des plans parallèles.

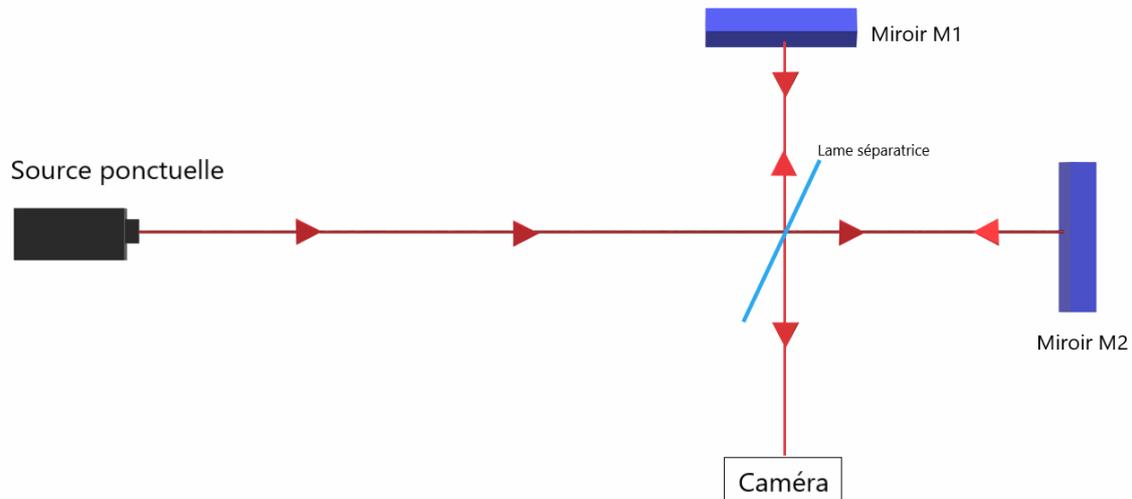


Figure 3: Schéma fonctionnel de l'interféromètre de Michelson

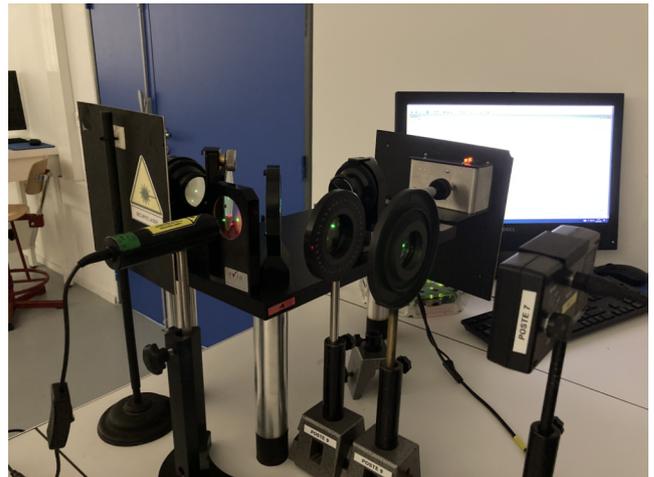
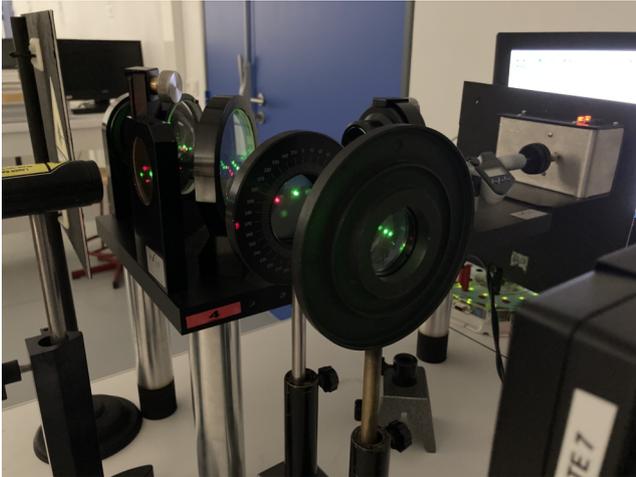
- Si M1' et M2 forment un angle α non nul, c'est alors la configuration dite en « coin d'air »

3.2.2. Expérience n°1 : Identification des longueurs d'ondes composant un signal détecté

Le but de cette expérience est de déterminer les différentes longueurs d'ondes contenues dans un faisceau lumineux détecté en sortie de l'interféromètre de Michelson.

Nous avons utilisé deux lasers (rouge et vert) comme étant deux sources ponctuelles traversant l'interféromètre de Michelson. En sortie de Michelson, les deux faisceaux sont captés par un détecteur afin d'en récupérer leur intensité lumineuse.

Pour se faire, nous avons dû être attentif à plusieurs points pour que l'expérience soit concluante. En effet, après avoir réglé l'interféromètre de Michelson (voir annexe 7.1), la principale difficulté a été de savoir comment nous allions pouvoir faire converger les deux faisceaux lumineux en un point afin de mesurer l'intensité lumineuse totale. La solution a été de mettre en place une lentille convergente en sortie de l'interféromètre et de positionner le détecteur à la distance focale image de la lentille. Enfin, nous nous sommes rendu compte que des saturations du signal pouvaient apparaître lors des mesures expérimentales. De ce fait, nous avons mis en place un polariseur avant la lentille pour mieux maîtriser l'intensité lumineuse des faisceaux lasers.



Après avoir effectué tous les réglages nécessaires, nous avons pu lancer trois acquisitions différentes : une pour chaque laser et une lorsque les deux lasers étaient allumés. Le logiciel prend en entrée l'intensité lumineuse de l'onde en sortie du Michelson et nous donne un signal périodique représentant la modulation de l'amplitude du signal lié au déplacement du miroir et l'alternance entre interférences destructives et constructives et aussi l'addition des deux intensités lorsque les deux lasers sont allumés.

Nous avons réalisé des calculs théoriques pour montrer que I_{tot} en sorti du Michelson est égale à $I_v + I_r$ pour l'onde bichromatique. Le détail du calcul est en annexe 7.4.

RÉSULTATS

Le but de notre expérience est de retrouver nos longueurs d'ondes des lasers. Nous nous sommes basés sur la formule $\lambda = \tau * 2v$ avec λ la longueur d'onde, τ la période et v la vitesse du moteur. Or ayant un graphe modélisant les deux lasers ils nous a été impossible de calculer une période correcte correspondant à un laser. Nous sommes donc

parti sur la définition de la période $\tau = \frac{1}{f}$.

Nous avons commencé par déterminer la vitesse du moteur. Pour ce faire nous avons lancé le moteur et nous savions que lorsque la molette aurait fait un tour complet nous avions un déplacement total de 0,5 mm pour un temps mesuré de 892 secondes.

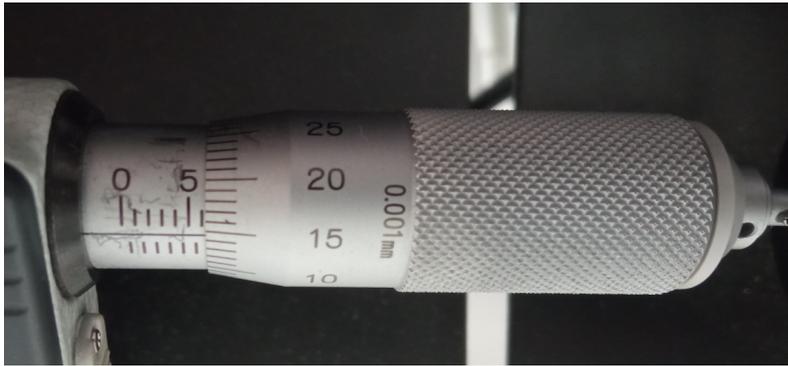


Figure 4: molette du moteur

Nous avons donc une vitesse $v = 560,5 \text{ nm/s}$.

Par la suite , nous nous sommes penché sur notre analyse de Fourier afin d'en sortir les fréquences des plus hauts pics dans les deux zones distinctes et par le calcul nous avons retrouvé nos longueurs d'ondes théoriques des lasers rouge et vert.

Nous pouvons remarqué dans cette manipulation que le montage est très sensible aux perturbations externes. Par exemple, les vibrations de la table peuvent faire bouger le détecteur et donc perturber l'acquisition. De plus, pour ce qui est de la saturation du signal, elle se traduisait par un plateau sur les graphiques relatifs à la prise de mesures expérimentales.

Notre protocole complet et des résultats plus exhaustifs sont disponibles au annexes 7.2 et 7.3.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

En conclusion, grâce à ce projet nous avons pu approfondir nos connaissances en optiques ondulatoire et mettre en œuvre nos connaissances afin de mener une expérience.

Grace aux recherches bibliographiques nous en avons appris plus sur l'histoire et le fonctionnement des interféromètres de Fabry-Pérot et de Michelson. Ce qui nous a permis de comprendre leur importance dans le domaine de l'optique, en particulier dans le domaine de l'interférométrie où ils sont des références.

La partie expérimental fut un challenge car pour tout d'abord imaginer une expérience sans l'aide du professeur-référent, qui avait des problèmes de santé, fut très compliqué et nous avons eu du mal à partir sur une bonne idée. Nous avons tout de même essayé grâce à nos recherche de trouver une expérience réalisable à l'INSA, même si cela s'est soldé par un échec, ce travail en total autonomie a été une bonne expérience pour nous apprendre à travailler sans cadre de supervision.

Heureusement par la suite, grâce à l'aide de Mr Honoré et de Mr Yon nous avons pu trouver une idée d'expérience et avons pu créer le protocole pour la réaliser.

Ainsi nous avons pu mettre en pratique nos connaissances et recherches théoriques afin de construire le protocole de l'expérience et aussi surmonté les différentes difficultés. Enfin, cela n'aurait pas été possible sans l'aide de Mr honoré qui nous a beaucoup aidé à réaliser cette expérience, tant bien sur le plan théorique, qu'expérimental.

De plus, nous avons beaucoup manqué de temps et de ce fait n'avons pu faire qu'une expérience où il a fallu retrouver expérimentalement les longueurs d'ondes d'une onde bichromatique. Nous avons eu quelques difficultés au départ à exploité nos résultats qui nous donnaient beaucoup de pics de fréquence lors de l'analyse de Fourier, alors que nous en voulions que deux les pics en trop était du au bruit des observations.

Ayant donc manqué de temps nous n'avons donc pas pu faire de recherche en plus afin de pouvoir trouver la provenance de ce bruit, une possibilité afin de pouvoir l'éliminer serait d'utiliser une sinusoïde pur et de comparer afin d'identifier le bruit et l'éliminer.

Pour finir, nous tenons à remercier Maxime Joret notre professeur-encadrant initial, même si nous n'avons pas pu le voir très longtemps, nous le remercions pour sa bienveillance et ses explications. Ensuite nous aimerions particulièrement remercier David Honoré qui nous à

permis de réaliser notre expérience, nous a accompagné pour les derniers mois de projet et à répondu à toutes nos questions avec beaucoup de bienveillance.

5. BIBLIOGRAPHIE

1. « Britannica » <https://www.britannica.com/technology/Michelson-interferometer>
2. « Wikipédia » https://fr.wikipedia.org/wiki/Interféromètre_de_Michelson
3. <http://v.durieux1.free.fr/cours/logiciels%20p%E9da/SYNCHRONIE/AideSynchronie2000/Traitements/AnalyseSimple.htm>
4. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Interférence>
5. https://fr.wikipedia.org/wiki/Albert_A._Michelson
6. <https://www.youtube.com/watch?v=GSbfHiDSPyU>
7. « Principe de la spectroscopie Interférentielle par Transformée de Fourier »
https://enspsp.gitlab.io/pensps-static/formations/premiereannee/doctelechargeables/06Michelson_Spectro_TF_XM.pdf
8. « L'équation du troisième degré »
https://www.lyceedadultes.fr/sitepedagogique/documents/math/mathTermS/09_nombres_complexes/09_equation_troisieme_degre.pdf
9. « De la bougie à l'optique – Matériel et Méthodes » Charles-Alexis de Mayenne, Cyril Bonhomme, Cillian Jezequel
https://pse.espci.fr/sites/pse.espci.fr/IMG/pdf/materiels_et_methodes_pse_temperature_d_e_flamme.pdf
10. « Interférence lumineuse avec l'interféromètre de Michelson »

6. ANNEXE EXPÉRIENCE FABRY-PÉROT

6.1. Calculs relatifs à l'identification du coefficient R

On s'intéresse aux amplitudes. Ici, on veut chercher R.

Pour cela on a : $\sum_{i=1}^3 A_i$ puis on isole I_r . On connaît λ_0 (donné par le constructeur) et I_0 (donné par le constructeur)

On émet les hypothèses suivantes :

- a_0 est mesurée expérimentalement
- l'amplitude détectée comme la somme de toutes les amplitudes des signaux provenant des sources S_n

→ Calcul :

$$A_1 = a_0 \left(1 - \frac{I_r}{I_0}\right)$$

$$A_2 = a_0 \left(1 - \frac{I_r}{I_0}\right) e^{-j\left(\frac{4\pi e \cos \alpha}{\lambda_0}\right)z}$$

$$A_3 = a_0 \left(1 - \frac{I_r}{I_0}\right) \left(\frac{I_r}{I_0}\right)^2 e^{-2j\left(\frac{4\pi e \cos \alpha}{\lambda_0}\right)z}$$

alors :

$$\sum_{i=1}^3 A_i = a_0 \left(1 - \frac{I_r}{I_0}\right) \underbrace{\left[1 + e^{-j\left(\frac{4\pi e \cos \alpha}{\lambda_0}\right)z} + \left(\frac{I_r}{I_0}\right)^2 e^{-2j\left(\frac{4\pi e \cos \alpha}{\lambda_0}\right)z}\right]}_{\beta}$$

$$\Leftrightarrow \frac{\sum_{i=1}^3 A_i}{a_0} = [\beta] - \left[\frac{I_r}{I_0} + \frac{I_r}{I_0} e^{-2j\left(\frac{4\pi e \cos \alpha}{\lambda_0}\right)z} + \left(\frac{I_r}{I_0}\right)^3 e^{-j\left(\frac{4\pi e \cos \alpha}{\lambda_0}\right)z} \right]$$

$$\frac{\sum_{i=1}^3 A_i}{a_0} = 1 + e^{-j\left(\frac{4\text{ecos}\alpha}{\lambda_0}\right)} + \left(\frac{I_r}{I_0}\right)^2 e^{-2j\left(\frac{4\text{ecos}\alpha}{\lambda_0}\right)} - \frac{I_r}{I_0} - \frac{I_r}{I_0} e^{-j\left(\frac{4\text{ecos}\alpha}{\lambda_0}\right)} - \left(\frac{I_r}{I_0}\right)^3 e^{-2j\left(\frac{4\text{ecos}\alpha}{\lambda_0}\right)}$$

$$\Leftrightarrow -\underbrace{\left(\frac{I_r}{I_0}\right)^3 e^{-2j\left(\frac{4\text{ecos}\alpha}{\lambda_0}\right)}}_A + \underbrace{\left(\frac{I_r}{I_0}\right)^2 e^{-2j\left(\frac{4\text{ecos}\alpha}{\lambda_0}\right)}}_B - \underbrace{\left(\frac{I_r}{I_0}\right)\left(1 + e^{-j\left(\frac{4\text{ecos}\alpha}{\lambda_0}\right)}\right)}_C + \underbrace{1 + e^{-j\left(\frac{4\text{ecos}\alpha}{\lambda_0}\right)} - \sum_{i=1}^3 \frac{A_i}{a_0}}_D = 0$$

On prend $X = \frac{I_r}{I_0}$, d'où : $-AX^3 + BX^2 - CX + D = 0$

7. ANNEXES EXPÉRIENCE DE MICHELSON

7.1. Extrait du TP de Michelson : réglage de l'interféromètre

INSA Rouen Normandie

III. Réglage de l'interféromètre.

Dans un premier temps, l'interféromètre est éclairé en lumière monochromatique et parallèle avec une différence de marche voisine de zéro. Une lampe à vapeur de mercure basse pression - avec éventuellement un filtre vert ($\lambda = 546 \text{ nm}$) - éclaire un collimateur, constitué d'un diaphragme (utilisé comme source ponctuelle) et d'une lentille convergente de focale $f = 200 \text{ mm}$.

Cet ensemble constituant la source lumineuse collimatée est préréglé sur son rail et ne doit pas être dérégulé.

Tout au long de la manipulation, les observations des différents réglages sont réalisées à l'œil à la sortie de l'interféromètre.

III.1. Eclairage de l'interféromètre par le collimateur.

Mettre délicatement un papier calque devant le miroir M_2 pour ne conserver que les images dues au miroir M_1 , la séparatrice S_p et la compensatrice S_c .

Lorsque la lame séparatrice et la lame compensatrice ne sont pas parallèles, le champ à la sortie du Michelson présente une série d'images du collimateur - un trou dans le cas de la figure - alignées sur une droite inclinée par rapport à l'horizontale. La tache centrale est la plus lumineuse et servira de tache de référence pour continuer le réglage.



Si nécessaire, déplacer le banc d'éclairage en translation et rotation horizontale pour éclairer le champ de l'interféromètre de façon symétrique et visualiser la tache de référence au centre du champ.

III.2. Réglage du parallélisme de la compensatrice et de la séparatrice à l'aide de l'optique géométrique.

Lorsque la séparatrice et la compensatrice sont parallèles, la série d'images est confondue avec une seule image provenant du miroir M_1 uniquement, M_2 étant toujours masqué par un papier calque. Jouer sur les deux vis de réglage grossier de la lame compensatrice VS_{ch} et VS_{ev} pour confondre la série d'images.

III.3. Réglage grossier du miroir mobile.

Retirer délicatement le papier calque et observer le champ du Michelson à la sortie de l'interféromètre. Deux taches apparaissent dans le champ provenant des deux trajets 1 et 2.

En agissant sur les vis de réglage grossier VM_{21} et VM_{22} du miroir M_2 ces deux taches se confondent et les miroirs M_1 et M_2 sont réglés au niveau de l'optique géométrique et presque réglés au niveau de l'optique ondulatoire.

III.4. Réglage de l'interféromètre en anneaux.

Remplacer le diaphragme par un écran dépoli. En général, un phénomène d'interférence est visible. Si ce n'est pas le cas, refaire le réglage précédent avec plus de finesse. Le dépoli est utilisé pour augmenter l'étendue de la source et observer ainsi la localisation des anneaux à l'infini.

Amener le centre des anneaux dans la région d'observation avec les vis **VM₂₁** et **VM₂₂**.

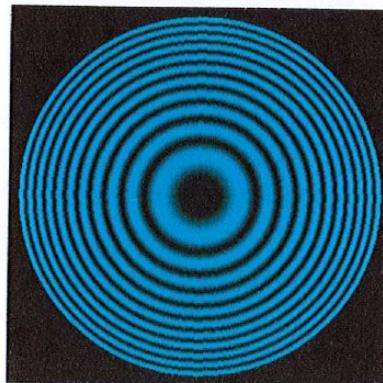
Pour faciliter cette étape du réglage, on peut si nécessaire augmenter le contraste des phénomènes d'interférence en déplaçant très légèrement le banc de la source lumineuse.

III.5. Stabilisation des anneaux.

Placer l'œil à la sortie de l'interféromètre et le déplacer de bas en haut puis de gauche à droite en restant dans le champ de l'appareil c'est à dire dans la zone de lumière. Observer le centre des anneaux et estimer le nombre d'anneaux rentrant ou sortant du centre.

Si ce nombre d'anneaux est plus élevé en déplacement vertical, régler d'abord cette direction en jouant sur la vis de réglage fin **VM_{1v}** pour stabiliser ce défilement des anneaux. Le sens de la vis est déterminé en observant le point haut du champ –par exemple- et en compensant le défaut de défilement des anneaux en tournant la vis **VM_{1v}** dans un sens arbitraire. Changer de sens si la stabilisation n'est pas atteinte.

Agir dans l'autre direction avec l'autre vis de réglage fin puis reprendre le réglage précédent car ces vis agissent par l'intermédiaire de lames de ressort et ne sont donc pas complètement indépendantes. Les anneaux doivent être stabilisés parfaitement après ce réglage, sauf peut-être sur les bords du champ. On obtient alors une figure d'interférences de ce type :



III.6. Visualisation de l'évolution temporelle des anneaux.

Mettre le moteur du déplacement du miroir **M₂** en marche. Visualiser l'évolution des anneaux. Décrire et expliquer cette observation dans le compte-rendu.

Bravo, vos réglages sont terminés !

7.2. Protocole expérimental Expérience n° 1 (Michelson)

Objectif : Déterminer les différentes longueurs d'ondes d'une même source.

Hypothèses : Température ambiante, à pression atmosphérique

Matériel:

- deux lasers
- interféromètre de Michelson
- un polariseur
- une lentille convergente
- un détecteur

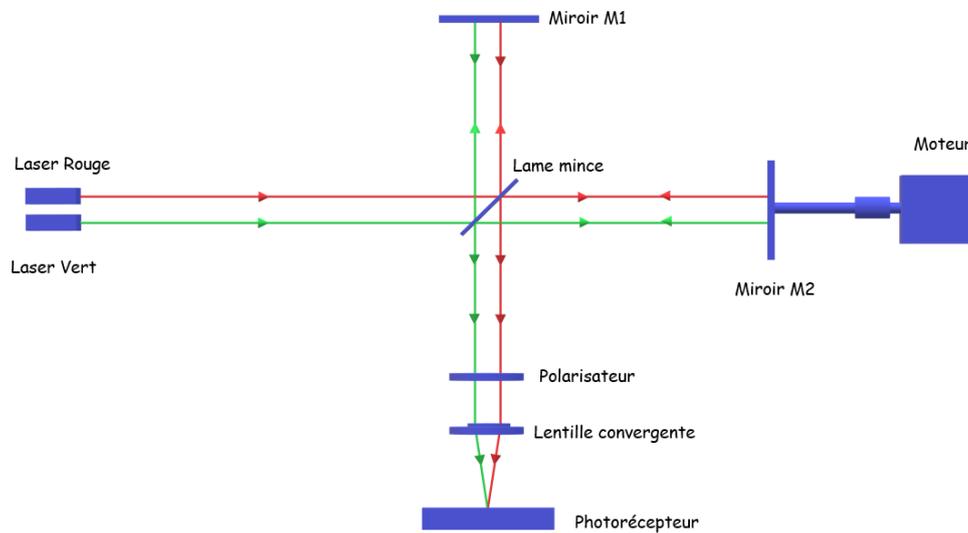
On se propose ici de faire un montage afin de composer une source ponctuelle à plusieurs longueurs d'onde puis d'utiliser l'interféromètre de Michelson.

Le but étant de retrouver les longueurs d'ondes initiales de notre source ponctuelle, on se propose de mesurer la fréquence des interférences reçues au niveau du détecteur. Une fois le signal obtenu, nous pourrons utiliser une analyse de Fourier à l'aide du logiciel Synchronie afin de retrouver les harmoniques qui nous permettront par la suite de trouver les longueurs d'ondes initiales.

Description du dispositif pour construire une source ponctuelle polychromatique :

A l'aide de deux lasers on obtient deux faisceaux ayant des longueurs d'ondes distinctes.

De plus, on décide d'utiliser une lentille convergente en sortie de l'interféromètre de Michelson pour avoir une seule source ponctuelle. On ajoute également un polariseur afin d'anticiper les possibles saturations du signal sur le détecteur.



Montage du dispositif

Protocole :

- Effectuer le réglage de l'interféromètre de Michelson

- Exécuter l'opération suivante pour chaque laser ainsi que les deux en même temps :

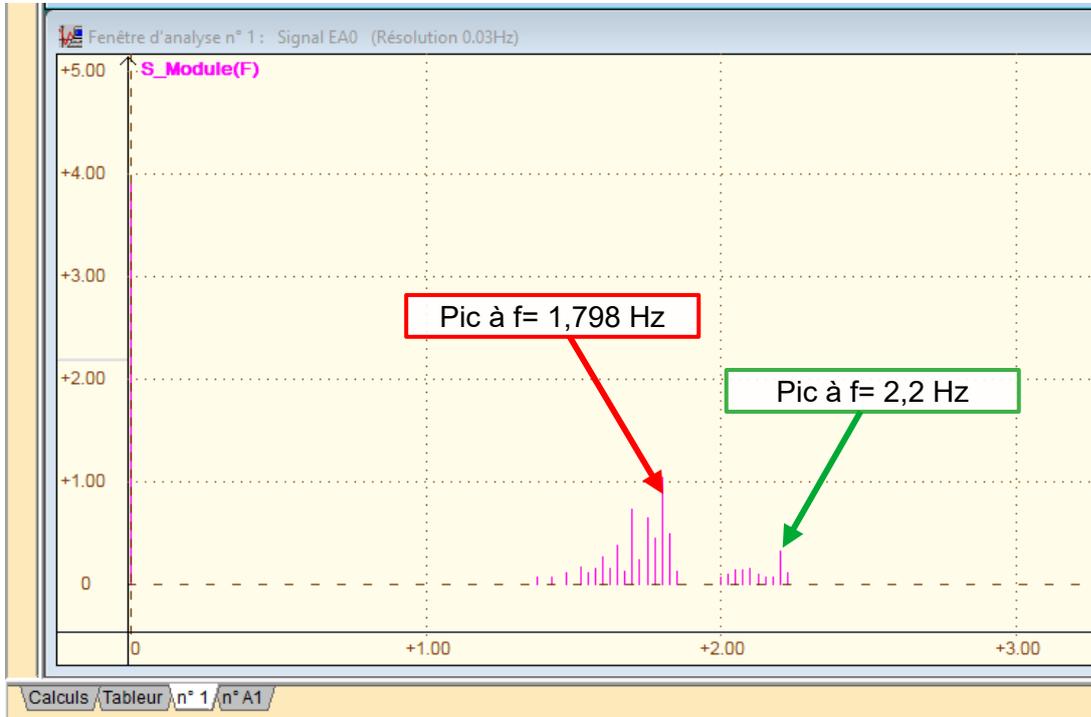
- - Lancer une acquisition sur le logiciel LatisPro (si le signal sature, modifier l'angle du polariseur jusqu'à obtenir un signal correct)
- - Effectuer une analyse de Fourier avec l'acquisition obtenue

-Pour les manipulations comportant un seul laser : à l'aide de la formule reliant la période à la longueur d'onde, vérifier que l'on retrouve bien la bonne mesure en nm

- Pour la manipulation comportant les deux lasers, trouver les deux fréquences les plus hautes dans chaque « domaine » de définition et vérifier que ces fréquences correspondent à celles des lasers étudiés

7.3. Résultats de l'expérience

Nous avons : $\lambda = \tau * 2v$ avec $\tau = \frac{1}{f}$ et $v = 650,5 \text{ nm/s}$.



$$\lambda = \frac{2v}{f} \text{ qui donne :}$$

- pour $f = 1,798 \text{ Hz}$ $\lambda = \frac{2 * 650,5}{1,798} = 723 \text{ nm}$ qui correspond à notre laser rouge .

- pour $f = 2,2 \text{ Hz}$ $\lambda = \frac{2 * 650,5}{2,2} = 591 \text{ nm}$ qui correspond à notre laser vert.

7.4. Résultats théoriques pour trouver l'intensité lumineuse en sortie de Michelson

On a \vec{E}_{1R} et \vec{E}_{2R} qui sont les champs électrique du rayon rouge s'étant divisé après le passage à travers la lame mince.

$$\vec{E}_{1R} = E_{1R} \times e^{j(\omega_R t - \vec{k}_R \cdot \vec{r})} \cdot \vec{U}_R$$

$$\vec{E}_{2R} = E_{2R} \times e^{j(\omega_R t - \vec{k}_R \cdot \vec{r})} \cdot \vec{U}_R$$

Et

$$\varphi_R = \frac{2\pi}{\lambda_R} (l_2 - l_1) + \pi \text{ et } \varphi_V = \frac{2\pi}{V} (l_2 - l_1) + \pi$$

Nous faisons les Hypothèses suivantes :

- \vec{E}_{tot} , \vec{E}_R et \vec{E}_V polarisés suivant \vec{U}_{car} $\vec{U}_R = \vec{U}_V$
- $\varphi_{RV} = 0$ afin de simplifier le calculs
- $E_{1V} = E_{2V}$ et $E_{1R} = E_{2R}$ car c'est une lame 50/50

Donc $\vec{E}_R = \vec{E}_{1R} + \vec{E}_{2R} = E_R e^{j(\omega_R t - \vec{k}_R \cdot \vec{r})} (1 + e^{j\varphi_R}) \cdot \vec{U}$

On sait que $I_R = \frac{a_E}{2} \times \vec{E}_R \cdot \vec{E}_R^*$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{a_E}{2} E_R^2 e^{j(\omega_R t - \vec{k}_R \cdot \vec{r})} (1 + e^{j\varphi_R}) e^{-j(\omega_R t - \vec{k}_R \cdot \vec{r})} (1 + e^{-j\varphi_R}) \\
 &= \frac{a_E}{2} E_R^2 (1 + e^{j\varphi_R})(1 + e^{-j\varphi_R}) \\
 &= \frac{a_E}{2} E_R^2 (2 + e^{-j\varphi_R} + e^{j\varphi_R}) \\
 &= \frac{a_E}{2} E_R^2 (2 + 2 \cos(\varphi_R)) \\
 &= \frac{a_E}{2} E_R^2 2(1 + \cos(\varphi_R))
 \end{aligned}$$

D'où

$$= a_E E_R^2 (1 + \cos(\varphi_R))$$

De la même manière, comme $\varphi_{RV} = 0$ on trouve :

$$\vec{E}_V = \vec{E}_{1V} + \vec{E}_{2V} = E_V e^{j(\omega_V t - \vec{k}_V \cdot \vec{r})} (1 + e^{j\varphi_V}) \vec{U}$$

Et donc

$$I_V = a_E E_V^2 (1 + 1 \cos(\varphi_V))$$

Donc finalement on a :

$$I_V = a_E E_V^2 (1 + 1 \cos(\varphi_V))$$

$$I_R = a_E E_R^2 (1 + 1 \cos(\varphi_R))$$

On cherche ensuite \vec{E}_{tot} le champs électrique en sortie du Michelson et I_{tot} l'intensité lumineuse mesurable en sortie du Michelson.

$$\vec{E}_{tot} = \vec{E}_{1R} + \vec{E}_{2R} + \vec{E}_{1V} + \vec{E}_{2V}$$

$$\vec{E}_{tot} = E_R e^{j(\omega_R t - k_R x + \varphi_R)} \vec{u} + E_R e^{j(\omega_R t - k_R x)} \vec{u} + E_V e^{j(\omega_V t - k_V x + \varphi_V)} \vec{u} + E_V e^{j(\omega_V t - k_V x)} \vec{u}$$

$$\vec{E}_{tot} = E_R e^{j(\omega_R t - k_R x)} (e^{j\varphi_R} + e^0) \vec{u} + E_V e^{j(\omega_V t - k_V x)} (e^{j\varphi_V} + e^0) \vec{u}$$

$$I_{tot} = \frac{a_e}{2} \times \vec{E}_{tot} \times \vec{E}_{tot}^*$$

$$\begin{aligned} I_{tot} = \frac{a_e}{2} \times & (E_R E_V e^{j(\omega_R t - k_R x)} (e^{j\varphi_R} + e^0) e^{-j(\omega_V t - k_V x)} (e^{-j\varphi_V} + e^0) \vec{u} \\ & + E_R E_V e^{-j(\omega_R t - k_R x)} (e^{-j\varphi_R} + e^0) e^{j(\omega_V t - k_V x)} (e^{j\varphi_V} + e^0) \vec{u} \\ & + E_R^2 e^{j(\omega_R t - k_R x)} (e^{j\varphi_R} + e^0) \vec{u} \times e^{-j(\omega_R t - k_R x)} (e^{-j\varphi_R} + e^0) \vec{u} \\ & + E_V^2 e^{j(\omega_V t - k_V x)} (e^{j\varphi_V} + e^0) \vec{u} \times e^{-j(\omega_V t - k_V x)} (e^{-j\varphi_V} + e^0) \vec{u}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{tot} = \frac{a_e}{2} \times & (E_R E_V e^{j(\omega_R t - \omega_V t - k_R x + k_V x)} (e^{j(\varphi_R - \varphi_V)} + e^{j\varphi_R} + e^{-j\varphi_V} + 1) \vec{u} \\ & + E_R E_V e^{-j(\omega_R t - \omega_V t - k_R x + k_V x)} (e^{-j(\varphi_R - \varphi_V)} + e^{-j\varphi_R} + e^{j\varphi_V} + 1) \vec{u}) + \underbrace{I_R + I_V}_{\alpha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{tot} = \frac{a_e}{2} \times & (E_R E_V (e^{j(\omega_R t - \omega_V t - k_R x + k_V x + (\varphi_R - \varphi_V))} + e^{j(\omega_R t - \omega_V t - k_R x + k_V x + \varphi_R)} \\ & + e^{j(\omega_R t - \omega_V t - k_R x + k_V x - \varphi_V)} + e^{j(\omega_R t - \omega_V t - k_R x + k_V x)}) \vec{u} \\ & + E_R E_V (e^{-j(\omega_R t - \omega_V t - k_R x + k_V x + (\varphi_R - \varphi_V))} + e^{-j(\omega_R t - \omega_V t - k_R x + k_V x + \varphi_R)} \\ & + e^{-j(\omega_R t - \omega_V t - k_R x + k_V x - \varphi_V)} + e^{-j(\omega_R t - \omega_V t - k_R x + k_V x)}) \vec{u}) + \alpha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{tot} = \frac{a_e}{2} \times & (2E_R E_V (\cos(\omega_R t - \omega_V t - k_R x + k_V x + (\varphi_R - \varphi_V))) \\ & + \cos(\omega_R t - \omega_V t - k_R x + k_V x + \varphi_R) \\ & + \cos(\omega_R t - \omega_V t - k_R x + k_V x - \varphi_V) \\ & + \cos(\omega_R t - \omega_V t - k_R x + k_V x))) \vec{u} + \alpha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{tot} = a_e E_R E_V & \left(\cos \left(\omega_R t - \omega_V t + \frac{2\pi}{\lambda_R} (l_2 - l_1 - x) + \frac{2\pi}{\lambda_V} (l_2 - l_1 + x) \right) \right. \\
 & + \cos \left(\omega_R t - \omega_V t + 2\pi \left(\frac{x}{\lambda_V} - \frac{x - (l_2 - l_1)}{\lambda_R} \right) \right) \\
 & + \cos \left(\omega_R t - \omega_V t + 2\pi \left(-\frac{x}{\lambda_R} + \frac{x - (l_2 - l_1)}{\lambda_V} \right) \right) \\
 & + \cos \left(\omega_R t - \omega_V t + 2\pi \left(\frac{1}{\lambda_V} - \frac{1}{\lambda_R} \right) \right) \vec{u} + a_e (E_R^2 (1 + \cos(\varphi_R)) \\
 & \left. + E_V^2 (1 + \cos(\varphi_V))) \vec{u} \right)
 \end{aligned}$$

$$I_{tot_moy} = a_e \left(E_R^2 (1 + \cos(\varphi_R)) + E_V^2 (1 + \cos(\varphi_V)) \right) \vec{u} = I_R + I_V$$