

RAPPORT DE STAGE

OCTOBRE 2019 - FEVRIER 2020

Mise en place d'un potentiel optique pour un fluide de lumière

Réalisé par

Bojana PESHOVA

Clara PERSONAT

Encadré par

Quentin GLORIEUX



Sommaire

1	Remarque préliminaire	3
2	Introduction	4
2.1	Présentation du laboratoire Kastler Brossel	4
2.2	Sujet du stage et références bibliographiques	4
2.3	Matériel optique utilisé	5
3	Développement et réalisation de l'expérience	6
3.1	Préparation et disposition de la cellule	6
3.2	Chemin optique de la pompe	7
3.3	Chemin optique de la sonde	8
3.4	Température dans la cellule et profil d'absorption du rubidium	8
3.5	Résultats	11
3.6	Ajustement final du montage	11
4	Bilan personnel	12
4.1	Clara Personat	12
4.2	Bojana Peshova	12
5	Remerciements	13

1

Remarque préliminaire

En raison de la crise du COVID-19, nous avons été dans l'impossibilité de nous rendre au laboratoire pour recueillir certaines informations. De plus, nos contacts avec notre encadrant et les personnes du laboratoire ayant été fortement perturbés par cette situation, ils ne nous ont pas permis d'obtenir toutes les données que nous aurions souhaité vous présenter. Nous avons alors fait le choix de vous en informer explicitement, afin que vous ne soyez pas troublé au fil de votre lecture.

Il nous manque ces informations :

- Diamètre initial de la sonde.
- SLM : modèle, marque, surface, résolution, puissance requise, type de polarisation requise.
- CCD Camera Simple : modèle, marque.
- Diaphragme, pinhole fluorescent, lentilles, collimateurs : modèle.

Nous devons aussi revenir au laboratoire pour obtenir les photographies précises de nos résultats. Compte tenu des circonstances sanitaires, nous n'avons pas été en mesure de retourner au laboratoire, donc de vous fournir les photographies des résultats expérimentaux de notre :

- Premier montage, montrant uniquement la pompe en sortie de cellule, ne guidant pas correctement la sonde.
- Second montage, montrant la sonde effectivement guidée par la pompe en sortie de cellule, pour deux désaccords différents.

2

Introduction

2.1 Présentation du laboratoire Kastler Brossel

Le laboratoire Kastler Brossel est un des acteurs majeurs dans le domaine de la physique quantique. Ses thématiques abordent de nombreux aspects allant des tests fondamentaux de la théorie quantique jusqu'aux applications, couvrant ainsi une large gamme de sujets tels que les gaz quantiques, l'optique et l'information quantique, les atomes et la lumière dans les milieux denses ou complexes, les tests des interactions fondamentales et la métrologie. Le laboratoire est composé de 56 chercheurs et enseignants-chercheurs, environ 70 doctorants et 30 postdoctorants, répartis en 5 axes [5] :

- les gaz quantiques
- l'optique et l'information quantique
- les atomes et la lumière dans les milieux denses ou complexes
- les tests des interactions fondamentales et la métrologie
- les frontières et applications

Pendant notre stage, nous avons eu l'opportunité de travailler avec l'équipe "Optique Quantique" qui fait partie de l'axe "Optique et Information Quantique". Son domaine de recherche est centré sur les propriétés quantiques de la lumière produites par de nombreux systèmes optiques différents. Cela consiste en des études expérimentales et théoriques concernant les fluctuations quantiques de la lumière, la

génération d'états intriqués, l'interaction entre la lumière et la matière quantique, la nanophotonique et la métrologie quantique [5]. Notre stage s'est axé sur les fluides optiques de lumière, et plus précisément le guidage d'onde dans un milieu non linéaire.

2.2 Sujet du stage et références bibliographiques

L'objet de notre stage fut de reproduire l'expérience de guidage d'onde de l'article *Optically Written Waveguide in an Atomic Vapor* [1]. Les différents articles ([1],[2],[3],[4]) que nous avons étudiés exploitent le fait que la lumière permette de guider une onde dans un milieu non linéaire. Nous avons donc d'abord étudié la notion de non linéarité. Lorsqu'un champ électrique \vec{E} est présent, le milieu exerce une certaine polarisation en réponse à ce champ. Beaucoup de matériaux se comportent comme un milieu linéaire en apportant une réponse proportionnelle au champ \vec{E} . Dans le cas d'un milieu non linéaire, cette réponse n'est pas proportionnelle à \vec{E} . Les principales différences de l'optique non linéaire comparée à l'optique linéaire sont qu'il est possible de modifier la fréquence d'une onde, ou de faire interagir deux ondes entre elles par l'intermédiaire du matériau. Ces propriétés très particulières nécessitent cependant des ondes lumineuses de forte intensité, soit des lasers. C'est pourquoi les expériences d'optique non linéaire n'ont pu être réalisées qu'à partir des années 1960 avec le développement de la technologie des lasers.

Dans le cadre de notre stage, nous avons créé un "système dynamique non linéaire" en exploitant le phénomène d'absorption saturée. Celui-ci entraîne la non linéarité de l'index de réfraction qui entraîne ensuite des effets non linéaires dans les gaz atomiques.

Le faisceau guidant, la pompe, est pris à une longueur d'onde proche du niveau de résonance D2 du Rubidium, soit à 795 nm. Le faisceau guidé est lui choisi à une longueur d'onde proche du niveau de résonance D1, à 780 nm. L'interaction entre les deux faisceaux est possible car les transitions D1 et D2 ont le même état fondamental. Lorsque le faisceau de la pompe est réglé près de la résonance, il crée un indice de réfraction non-linéaire dans le gaz, indice avec lequel interagit la sonde. Si les pics d'intensité font plus de 280 fois l'intensité de saturation du Rb gazeux, on a un indice de réfraction très pointu qui se comporte comme celui d'une fibre optique [1].

Il existe deux types de guide d'onde selon le désaccord (écart à la fréquence de résonance) de la sonde. Dans le premier cas, la sonde est "désaccordée vers le rouge" (fréquence inférieure à la fréquence de résonance) et plus la pompe est intense, plus la densité atomique diminue, ce qui fait localement diminuer l'indice de réfraction. Ainsi, les régions intenses de la pompe produisent un effet de lentille divergente et dans les bonnes conditions, guident la sonde hors de la région intense du faisceau de pompe.

Dans le deuxième cas où la sonde est "désaccordée vers le bleu" (fréquence supérieure à la fréquence de résonance), l'effet contraire se produit dans la région spatiale intense de la pompe, à savoir, l'indice de réfraction atteint sa valeur maximale. La sonde a donc tendance à être réfractée et guidée vers cette région [1].

Finalement, pour vérifier que l'on a bien une onde guidée en sortie et pas juste de la lumière focalisée, on change l'angle d'incidence de la sonde et on observe la sortie de la cellule. Si l'on obtient bien la même image pour différents angles, l'onde est correctement guidée.

2.3 Matériel optique utilisé

- CCD Camera Beam Profiler - Modèle BC106N-VIS(/M) Marque : ThorLabs. Gamme

de longueurs d'onde : 350 - 1100 nm. Puissances traitées : 1 fW - 1 W. Diamètres de faisceaux traités : 30 μm - 6.6 mm.

- Photodiodes - Modèle : DET36A2. Marque : ThorLabs. Gamme de longueurs d'onde : 350 - 1100 nm. Bande passante : 25 MHz. Zone active : 13 mm^2 .

- Lasers :

Sonde - Modèle : Ti-Saphire. Marque : M Squared. Gamme de longueurs d'onde : 670 - 1050 nm. Longueur d'onde : 780 nm. Puissances d'entrée traitées : jusqu'à 5 W.

Pompe - Modèle : DLC TA pro. Marque : Toptica. Gamme de longueurs d'onde : 660 - 1495 nm. Longueur d'onde : 795 nm. Puissances d'entrée traitées : jusqu'à 4 W. Diamètre du faisceau : 50 ± 1 mm. Ce diamètre est élevé mais en réalité, le laser subit un certain nombre de modifications avant d'entrer sur notre table de manipulation. Nous l'utilisons donc avec un diamètre plus petit, de l'ordre de la centaine de nanomètres.

- Cellule - Assemblage de deux cellules : l'une de 85 Rb et l'autre de 87 Rb.

- Le SLM est la pièce phare de notre montage. Il est constitué d'une matrice de nano-cristaux liquides, dont la différence de taille produit un déphasage inégal de la lumière en sortie. La lumière interfère ensuite avec elle-même, ce qui crée un nouveau front d'onde et une nouvelle figure de diffraction. Marque : Hamamatsu.

- CCD Camera Simple.

- Lentilles - Marque : ThorLabs. Focales : 50 mm, 100 mm, 200 mm.

- Diaphragme et pinhole fluorescent - Marque : ThorLabs.

- Collimateurs.

- Cubes séparateurs - PBS - Polarizing Beam Splitter.

3

Développement et réalisation de l'expérience

3.1 Préparation et disposition de la cellule

Nos premiers jours de stage furent consacrés à la familiarisation avec le matériel du laboratoire et à la lecture et la compréhension du phénomène de guidage d'onde à travers l'étude de différents articles scientifiques, ainsi que la discussion avec notre encadrant et les doctorants de l'équipe. Nous en avons conclu qu'un des éléments clé de notre montage est la cellule de rubidium. Nous avons donc premièrement cherché à obtenir une cellule contenant les deux isotopes du rubidium ; 85 Rb et 87 Rb , tout en étant adaptée aux dimension de notre espace de travail. La cellule contenant les deux isotopes étant trop grande, nous avons finalement décidé de mettre bout à bout deux petites cellules, de chaque isotope. Cela fut un pari assez périlleux car l'on s'engagea à observer non pas un mélange de rubidium dans une cellule mais un assemblage de deux cellules distinctes, avec notamment une des fenêtres opaque. Mais, étant donné que cette opacité couvre uniformément toutes les longueurs d'onde, nous étions sûres qu'elle ne perturberait pas la fréquence du Rb.

Nous avons ensuite enroulé des résistances planes autour de la cellule, dont nous avons au préalable enlevé la colle afin d'éviter que celle-ci n'émette des gaz dangereux à respirer au cours du chauffage. Le rubidium solide faussant le guidage de l'onde, le chauffage de la cellule permet

d'obtenir le rubidium gazeux nécessaire à notre expérience. Nous avons ensuite essayé de fixer la cellule mais le chauffage n'étant pas suffisamment uniforme nous avons mis de l'aluminium autour de la cellule pour avoir un gaz condensé. La cellule est composée d'une partie piquée en son milieu, destinée à accueillir la phase condensée du rubidium. Il faut donc que cette partie soit plus froide que les extrémités, afin que les atomes s'y condensent. Nous avons donc couvert le moins possible le milieu afin que la chaleur conduite par l'aluminium n'y parvienne pas. Mais au fil des heures, il y avait toujours de la matière visible (gouttes liquides) sur les fenêtres de la cellule. Nous avons donc passé du temps à chercher la bonne configuration, en mettant un maximum d'aluminium autour des fenêtres pour chauffer le plus possible, et pour que la matière n'y soit qu'à l'état gazeux, comme souhaité. Il fut difficile de gérer cette contrainte, tout en devant aussi trouver un moyen de fixer parfaitement la cellule.

La fixation dans le montage expérimental et le chauffage de la cellule nous a pris plus d'une journée. En effet, il fut délicat de réussir à la fixer parfaitement, de façon à ce qu'elle ne puisse plus du tout bouger.

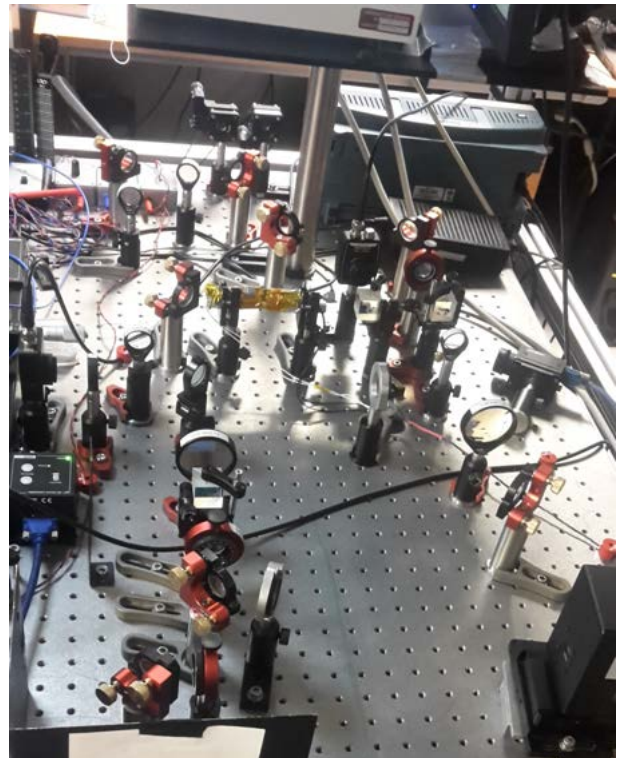


Figure 3.1: Premier montage - la cellule est au centre et le SLM en bas à droite

3.2 Chemin optique de la pompe

À la sortie du laser Laguerre-Gauss (pompe), le faisceau était légèrement divergent. Nous avons donc ajouté un collimateur devant le faisceau, qui a pour fonction de défocaliser la lumière, c'est-à-dire que tous ses rayons sortent parallèles entre eux et ne divergent plus.

Dans l'article [1], les diamètres de la pompe et de la sonde sont respectivement de $100\mu\text{m}$ et $40\mu\text{m}$: « The waist diameters of the doughnut beam and probe beam were 100 and $40\mu\text{m}$ ». Afin de pouvoir obtenir un rapport d'approximativement 3 entre les deux faisceaux, nous avons tout d'abord mesuré la taille de leurs diamètres avec la CDD Camera Beam Profiler. En prenant compte de nos contraintes techniques et de l'espace limité de la paillasse, nous avons choisi la configuration suivante : une pompe de diamètre $900\mu\text{m}$ et une sonde de diamètre $300\mu\text{m}$. D'après nos mesures au CCD Camera Beam Profiler, notre pompe a un diamètre d'environ $2000\mu\text{m}$. Nous avons donc créé un télescope afin de diviser par deux ce diamètre. Pour cela, nous avons placé une lentille de focale 200mm puis une seconde lentille de focale 100mm . Celles-ci sont espacées de $f_1 + f_2 = 300\text{mm}$ et leur grandissement se calcule ainsi : facteur de télescope : $\frac{f_2}{f_1} = 0.5$.

Avant d'entrer dans le SLM, la pompe traverse une première lame demi-onde, permettant de contrôler sa polarisation. Sachant que le SLM ne fonctionne qu'avec un certain type de polarisation, nous avons dû faire un travail expérimental d'ajustement de cette polarisation afin d'avoir l'image la plus nette possible dans le SLM. A l'aide du logiciel "HOLOEYE Spatial Light Modulator Pattern Generator", nous avons ensuite projeté sur le SLM le profil de phase "fork" (figure 3.2) permettant de générer en sortie un faisceau "sculpté" en forme d'anneau.

Ce profil de phase est en fait la Transformée de Fourier de :

$$|A \exp i\phi_{SLM}|^2 \quad (3.1)$$

A : Amplitude de la pompe

ϕ_{SLM} : Phase du SLM

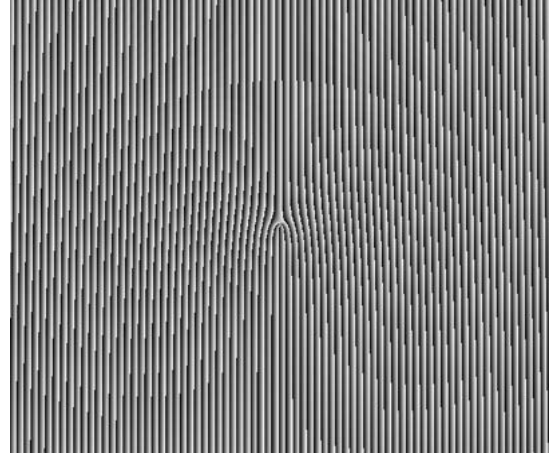


Figure 3.2: Profil de phase "fork" (en fourchette) qui sert à générer un faisceau en forme d'un anneau

Nous avons réussi à avoir en sortie le faisceau « sculpté » en forme d'anneau, comme illustré sur la figure ci-dessous (3.3).



Figure 3.3: La pompe « sculptée » en forme d'anneau

La pompe est donc prête à guider la sonde, et rejoint celle-ci après un dernier passage dans une lame demi-onde et un PBS recombineur de faisceaux. La lame demi-onde servira en fin de stage à maintenir la trajectoire de la pompe tout en changeant l'angle du PBS.

3.3 Chemin optique de la sonde

Expliquons maintenant le chemin suivi par la sonde. Nous avons utilisé un laser de longueur d'onde 780 nm, lui aussi collimaté dès le début pour avoir une maîtrise sur sa taille et sa divergence. Il traverse ensuite une lame demi-onde servant à contrôler sa polarisation au moment du guidage dans la cellule, et notamment à faire varier son intensité pour différencier ce faisceau de la pompe. Mais pour que le guidage soit possible, le diamètre de la pompe doit être 2 à 3 fois celui de la sonde. Il faut donc agir sur le diamètre de la sonde qui, d'après nos calculs précédents, doit être de 300 μm . Les mesures au CDD Camera Beam Profiler ont indiqué un diamètre d'environ 140 μm . Nous avons donc augmenté le diamètre d'un facteur 2. Pour cela, nous avons construit un télescope avec une première lentille de focale 50 mm puis une seconde de focale 100 mm, espacées de 150 mm. A la sortie du télescope, la sonde ajustée au bon diamètre rejoint la pompe dans le PBS. En réalité, nous nous sommes rendu compte quelques jours plus tard que nous avions inversé le faisceau de la pompe et celui de la sonde, mais heureusement, nous avons pu assez rapidement réajuster les télescopes. Notre travail ne fut donc pas perdu.

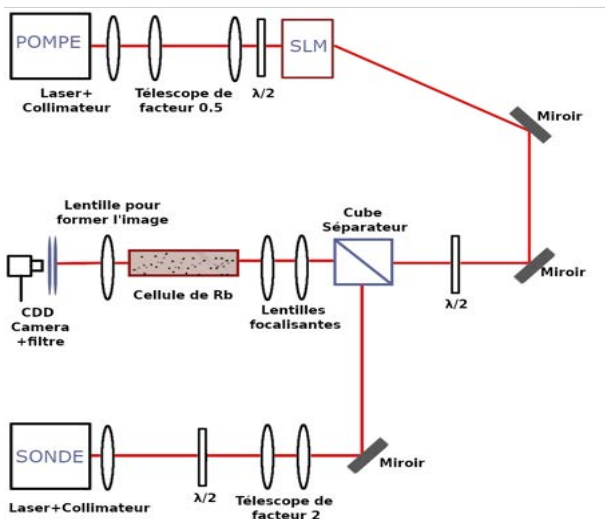


Figure 3.4: Schéma du premier montage

3.4 Température dans la cellule et profil d'absorption du rubidium

D'après l'article [1], l'indice de réfraction est proportionnel à la densité N des atomes de rubidium. Cette densité N augmente en chauffant la cellule. On en conclut que pour maîtriser l'indice de réfraction du milieu qui est un paramètre essentiel du guidage d'onde, nous devons maîtriser la température. La température d'équilibre de la cellule pour l'expérience de l'article [1] est de ± 100 °C. Nous avons donc pris cette température comme référence pour être sûres d'avoir la bonne densité de particules. Pour obtenir la température à l'intérieur de la cellule, nous avons utilisé un algorithme créé par notre encadrant et les doctorants du laboratoire. Cet algorithme, que nous ne développerons pas ici, exploite une loi théorique reliant la température à la densité de particules présente dans la cellule.

Mais pour pouvoir utiliser cet algorithme, nous avons dû réussir à extraire expérimentalement le signal d'entrée de la sonde dans la cellule et le signal de sortie de cellule. Pour se faire, nous avons séparé la sonde en deux signaux à l'aide d'un cube séparateur placé après la lame demi-onde ; la partie du montage initial se dirigeant toujours vers la pompe, et l'autre entrant dans un deuxième cube séparateur. Une partie entre ensuite dans la cellule et l'autre est dirigée dans la photodiode afin de mesurer le signal en entrée. Le signal en sortie est mesuré par une seconde photodiode.

Cette partie du stage fut particulièrement intéressante car elle nous a non seulement permis de retrouver la température mais aussi le spectre d'absorption du rubidium. Avec les informations sur les signaux d'entrée et de sortie, nous avons déduit la transmittance. Celle-ci est définie par le rapport entre la grandeur en sortie et en entrée d'un système ([6]) :

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (3.2)$$

I : Intensité transmise

I_0 : Intensité incidente

On définit conjointement l'absorbance A :

$$A = -\log(T) \quad (3.3)$$

Lorsque le faisceau n'est pas absorbé, $I = I_0$ et $A = 0$. Dans tous les autres cas où $I_0 > I$, l'absorbance est toujours supérieure à 0. Par contre, cette grandeur n'est pas définie pour un milieu qui absorbe la totalité du faisceau.

On peut faire une remarque importante sur l'absorbance en utilisant **la loi de Beer-Lambert**.

$$A = \varepsilon lc \quad (3.4)$$

Le coefficient de proportionnalité A est l'absorbance de l'espèce considérée. Cette loi est une relation empirique qui établit une proportionnalité entre **la concentration** d'une entité chimique présente dans un milieu c (dans notre cas le rubidium), et **la longueur** du trajet parcouru par la lumière dans ce milieu l [8].

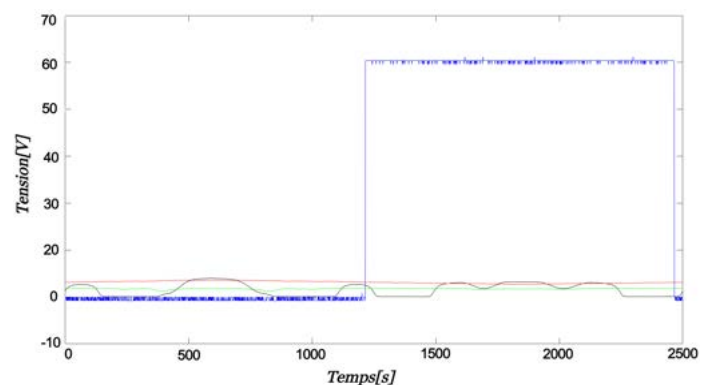
Lorsque nous faisons augmenter la densité des atomes de rubidium par chauffage de la cellule, nous augmentons proportionnellement la concentration. D'après la loi de Beer-Lambert, plus une espèce est concentrée, plus elle absorbe. Nous en concluons que plus on chauffe la cellule, plus les atomes absorbent la lumière.

Pour comprendre d'où vient cette absorption on peut prendre le modèle classique d'un atome, composé d'un noyau et d'électrons en orbite autour du noyau. L'orbite de l'électron dépend de son énergie et d'après la théorie quantique, les électrons ne peuvent prendre que certains niveaux d'énergies discrets. Lorsqu'une onde traverse la cellule de rubidium, les électrons des atomes de rubidium absorbent l'énergie des photons qui est quantifiée. Ceci explique l'allure du signal en sortie de cellule, dont certaines fréquences semblent spécifiquement absorbées.

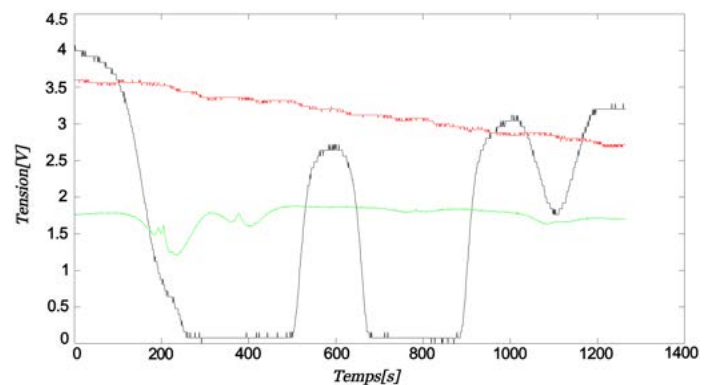
Afin de pouvoir extraire les données sur la température, nous avons dû utiliser un oscilloscope et l'interfacer avec un logiciel de traitement de données. Sur l'oscilloscope nous avons mesuré quatre signaux indispensables pour trouver la température dans la cellule : le signal d'entrée de cellule et le signal de sortie de cellule (tous deux mesurés par les photodiodes), le signal de référence, et le signal trigger permettant de repérer le début et la fin de chaque balayage de fréquence. Nous avons

utilisé Matlab pour effectuer le traitement de données. Ceci a en réalité été très difficile car la plupart des oscilloscopes n'étaient pas compatibles avec le logiciel et nous ne pouvions pas interfacer directement sur Matlab et obtenir les données sur les 4 signaux. Finalement, nous avons exploité un autre logiciel pour recueillir les données, puis Matlab pour obtenir les courbes attendues.

Sélection de la courbe sur un unique balayage de fréquences Après cette étape, nous avons constaté qu'un motif se répétait périodiquement. Sur la figure 3.5a, on observe que les motifs sont parfois symétriques. Cela arrive lorsque l'on balaye une seconde fois les mêmes fréquences. Pour éviter cela et avoir le motif une seule fois nous avons dû placer le signal trigger très précisément afin de "couper" aux axes de symétrie et de bien récupérer un unique balayage de toutes les fréquences comme illustré sur 3.5b



(a) Balayage sélectionné grâce au trigger



(b) Unique balayage

Figure 3.5

3. DÉVELOPPEMENT ET RÉALISATION DE L'EXPÉRIENCE

Lissage de la courbe Cependant, le signal obtenu devait encore subir quelques modifications. En effet, les courbes de Matlab sont obtenues avec un capteur qui échantillonne et quantifie un signal naturellement continu. Ses valeurs sont donc discrètes, ce qui fait perdre de l'information et crée une incertitude. Cependant, l'incertitude des photodiodes utilisées est minime, la courbe reste fiable. Mais elle a l'inconvénient d'avoir des zones de « bruits » ou de « saturation », notamment sur les pics, détenant les informations importantes à interpréter. Nous avons donc lissée la courbe avec la fonction "smooth" de Matlab, de façon à enlever le bruit en gardant la position des pics.

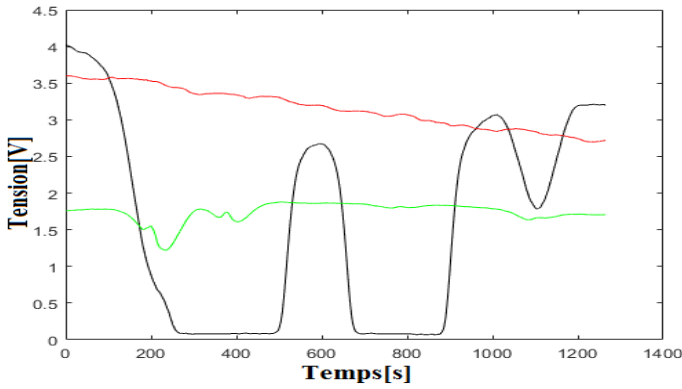


Figure 3.6: Courbe lissée

Mise à zéro Un autre ajustement fut de dire qu'au minimum de la courbe, l'absorption est nulle. Cette approximation est physiquement valable car la valeur est déjà très proche de 0. Elle est probablement non nulle sur le graphe à cause du "bruit" de la mesure. On peut donc aisément faire l'approximation que l'absorbance est en réalité nulle. C'est pourquoi nous avons abaissé le minimum de la courbe à 0.

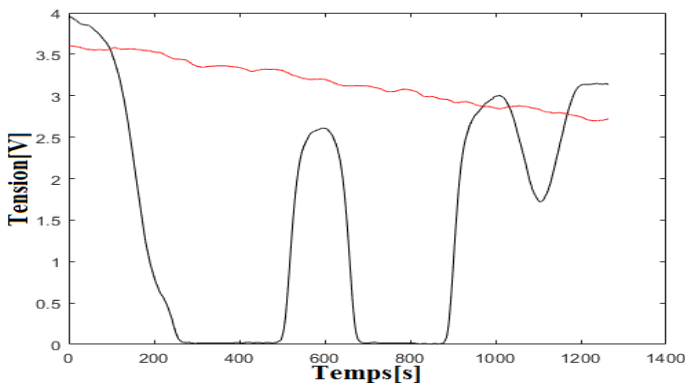


Figure 3.7: Mise à zéro

Normalisation

Enfin, le spectre final étant un spectre d'absorption, il doit avoir des valeurs comprises entre 0 et 1. Mais les valeurs recueillies par les photodiodes sont en volts. C'est pourquoi la valeur maximale théorique est supérieure à 1.

Le facteur de transmission étant proportionnel au rapport des puissances, on a :

$$V_{in} = C_{in}P_{in} \quad (3.5)$$

$$V_{out} = C_{out}P_{out} \quad (3.6)$$

Avec C_{in} et C_{out} deux constantes et P_{in} et P_{out} les puissances associées.

Dans ce cas le facteur de transmission T

$$T = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out} C_{in}}{V_{in} C_{out}} \quad (3.7)$$

Pour pouvoir accéder à T , on a besoin de C_{in}/C_{out} . Or, $T=1$ lorsque $C_{in}/C_{out} = V_{in}/V_{out}$. Ceci nous permet de bien normaliser la courbe et d'obtenir le spectre d'absorption avec des valeurs de 0 à 1.

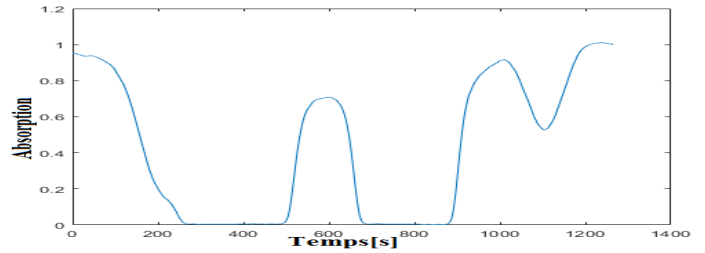


Figure 3.8: Courbe normalisée

Le spectre d'absorption du rubidium est bien en accord avec la théorie. Finalement, on voit sur la figure que la température obtenue avec cet algorithme et nos données numériques est $T=107^{\circ}\text{C}$, ce qui est suffisamment proche de la valeur de référence de $\pm 100^{\circ}\text{C}$ prise de l'article [1]. Nous avons obtenu cette valeur avec le générateur réglé à $V=20\text{ V}$ et $I=600\text{ mA}$.

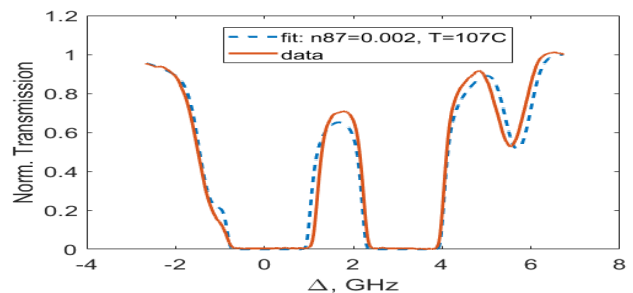


Figure 3.9: Spectre d'absorption du Rubidium

3.5 Résultats

Nous avons donc bien une pompe en forme d'anneau en sortie de SLM, un diamètre de pompe valant deux à trois fois celui de la sonde, ainsi que la température idéale dans la cellule pour avoir des atomes à l'état gazeux. Celle-ci est de 107°C avec le générateur à $V = 20\text{ V}$ et $I = 600\text{ mA}$. Mais lors de l'observation du guidage en sortie de cellule avec la caméra CCD, on ne voit que l'image de la pompe, la sonde semblant être absorbée avant la sortie. Nous n'avons pas obtenu les résultats attendus pour plusieurs raisons :

- Au cause du télescope avant le SLM, la pompe arrive focalisée sur le SLM, elle ne couvre que la moitié de l'écran, ce qui le fait saturer et empêche qu'elle sorte comme attendue avec une bonne résolution.
- La pompe et la sonde n'ont pas été focalisées au bon endroit à l'entrée de la cellule.
- Un mauvais rapport des puissances de la sonde et de la pompe.

3.6 Ajustement final du montage

Nous avons donc modifié le montage. Premièrement, nous avons ajusté l'incidence de la pompe sur le SLM en retirant complètement le télescope avant le SLM. Ainsi, le faisceau est moins focalisé et couvre tout l'écran du SLM.

Deuxièmement, pour que le SLM fonctionne, le faisceau incident doit être polarisé linéairement. Il suffit de disposer une lame demi-onde puis un cube séparateur de faisceaux polarisant (PBS) après le télescope pour diviser la lumière en deux faisceaux d'états de polarisation orthogonaux. On obtient un faisceau polarisé linéairement qui rentre directement dans le SLM et le reste (moins de 1%) sort de l'autre côté où il est bloqué. Troisièmement, nous avons procédé au réglage du SLM. Nous lui avons mis un réseau puis nous avons observé le faisceau à l'aide d'une caméra CCD disposée après une lentille en sortie du SLM. On observe une diffraction dont on peut modifier le pas sur le SLM. Nous avons constaté que sans

le SLM, l'ordre 0 de diffraction était le plus gros, et avec le SLM, ce fut l'ordre 1. En utilisant un diaphragme, nous avons choisi de garder l'ordre 1 afin qu'il ne se superpose pas avec l'ordre 0, pour avoir ainsi le réglage le plus clair possible. Une fois l'ordre 1 isolé, nous avons construit le même télescope que précédemment afin de diviser le diamètre par 2. Le faisceau passe ensuite dans une lame demi-onde avant d'arriver au cube séparateur dans lequel il rejoint la sonde. Pour faire ce montage et s'assurer que le faisceau passe bien au milieu de chaque objet, nous avons utilisé un filtre spatial pinhole fluorescent qui met en évidence l'emplacement du faisceau. Finalement, le chemin de la sonde ne change pas dans cette configuration. On chauffe la cellule pour avoir l'état condensé et exciter la fréquence de résonance. La seule chose qui reste à faire est d'imager la sortie de la cellule pour voir le résultat. Pour cela, nous avons utilisé un cube séparateur pour ne garder que la polarisation linéaire dans la bonne direction. Nous avons ajouté une lentille de focale 100 mm (pour être sûres que la CCD prend toute l'image de la face de sortie de la cellule), un filtre qui ne laisse passer que la longueur d'onde de la sonde (780 nm) et enfin la caméra CCD. Nous avons ainsi réussi à visualiser le guidage d'onde par la pompe, pour deux désaccords différents.

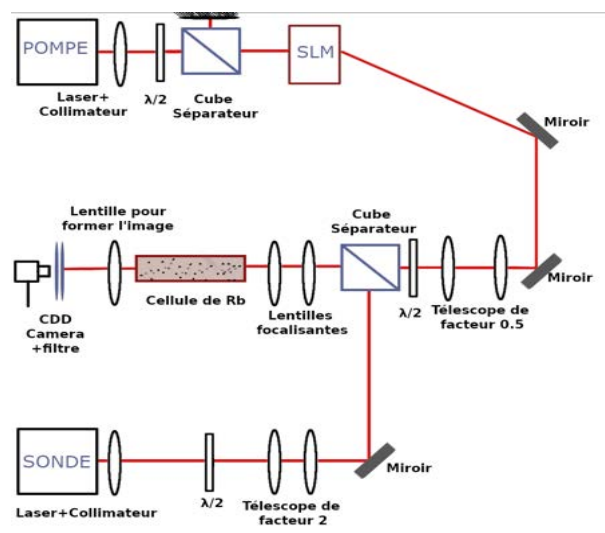


Figure 3.10: Schéma du deuxième montage

4

Bilan personnel

4.1 Clara Personat

Le stage m'a permis de découvrir la réalité du travail en laboratoire. J'avais pour a priori que ce travail n'était presque pas manuel et uniquement théorique, et j'ai constaté au sein du LKB qu'un temps important était consacré chaque jour à chercher des façons pratiques de réaliser les expériences. De plus, j'ai pu découvrir certaines notions de physiques comme les milieux non-linéaires ou les guides d'onde. Les réunions de groupe hebdomadaires ont été très instructives en ce qu'elles m'ont donné l'opportunité d'écouter les projets des doctorants ainsi que les conseils des chercheurs, et le tout en anglais. Ce travail a également été l'occasion de développer et acquérir des compétences connexes qui me seront grandement utiles à l'avenir, comme par exemple des connaissances en informatique, physique numérique, usage de Matlab, bureautique, gestion bibliographique, usage de Latex, pratique de l'anglais, etc... De surcroît, ce mois de stage m'aura permis d'observer, de comprendre et de quelque peu participer à la vie d'un laboratoire de recherche : réunions, présentations et discussions autour des avancées du travail de chacun, soutenances de thèse, arrivées et départs de stagiaires ou de doctorants. Cette expérience aura un impact important sur mon avenir, ne serait-ce qu'en termes d'orientation scientifique, académique et d'apport de connaissances théoriques et de savoir-faire expérimentaux. Le monde de la recherche est vaste, je n'en ai eu qu'un aperçu ; s'il reste encore beaucoup de choses à son sujet qui me sont inconnues, j'ai hâte d'en avoir la connaissance.

4.2 Bojana Peshova

Mon premier stage de physique au LKB fut une expérience importante qui m'a aidé à comprendre l'essence de la recherche. Grâce à cette expérience j'ai pu approfondir un certain nombre des notions en physique parmi lesquels les fluides de lumière, le guidage d'ondes et plusieurs notions de l'optique géométrique. Notre première tâche était la lecture des articles scientifiques, qui m'a appris l'importance de lire de manière critique et de trier les informations les plus importantes. De plus, nous avons eu l'occasion d'assister aux réunions hebdomadaires entre les membres du groupe où chacun a présenté l'avancement de son expérience, y compris nous et notre projet de stage. Le groupe était très varié avec des chercheurs et des doctorants, ce qui a abouti des discussions très riches et motivantes. Dans la partie pratique, j'ai compris l'importance d'un travail expérimental précis. Pour trouver des solutions parfois, je devais sortir des sentiers battus et ne pas avoir peur d'essayer des choses différentes et parfois échouer. Une grande partie du stage fut consacrée à l'obtention et l'utilisation des données pour l'interprétation de l'expérience. Ayant déjà utilisé Matlab, cela m'a permis d'approfondir mes connaissances et de voir comment il est utilisé en laboratoire. Pour la rédaction du rapport du stage on a utilisé Latex, ce qui m'a permis de découvrir ce logiciel beaucoup utilisé pour présenter les articles scientifiques. Finalement, la chose la plus importante que ce stage m'appris est la signification du bon travail d'équipe et comment les connaissances et expériences de chacun sont indispensables pour la réussite collective.

Bibliographie

- [1] A. G. Truscott, M. E. J. Friese, N. R. Heckenberg, and H. Rubinsztein-Dunlop. *Optically Written Waveguide in an Atomic Vapor*. American Physical Society, 82(7), Brisbane, Australia, 1999.
- [2] Bethany Little, David J. Starling, John C. Howell, Raphael Cohen, David Shwa and Nadav Katz. *Rapidly reconfigurable optically induced photonic crystals in hot rubidium vapor*. American Physical Society, 87(4), USA, 2013.
- [3] Praveen K. Vudiyasetu, David J. Starling and John C. Howell. *All Optical Waveguiding in a Coherent Atomic Rubidium Vapor*. American Physical Society, 102(12), New York, USA, 2009.
- [4] Jiteng Sheng, Jing Wang, Mohammad-Ali Miri, Demetrios N. Christodoulides and Min Xiao. *Observation of discrete diffraction patterns in an optically induced lattice*. Optical Society of America, 23(15), Fayetteville, USA, 2015.
- [5] Laboratoire Kastler Brossel. *Présentation du laboratoire*.<<http://www.lkb.upmc.fr/presentation-du-laboratoire/>>
- [6] Contributeurs de Wikipédia. *Transmittance*. Wikipédia, L'encyclopédie libre, 13 décembre. 2019. Web. 13 décembre. 2019.<<https://fr.wikipedia.org/wiki/Transmittance>>
- [7] Contributeurs de Wikipédia. *Absorbance*. Wikipédia, L'encyclopédie libre, 13 janvier. 2020. Web. 13 janvier. 2020.<<https://fr.wikipedia.org/wiki/Absorbance>>
- [8] Contributeurs de Wikipédia. *Loi de Beer et Lambert*. Wikipédia, L'encyclopédie libre, 11 mars. 2020. Web. 11 mars. 2020.<https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Beer-Lambert>

5

Remerciements

A Quentin Glorieux, pour avoir accepté notre demande de stage, nous avoir introduit à l'équipe et nous avoir encadré tout au long de notre projet. Merci aussi à Murad Abuzarli, pour le temps important consacré à nous aider et à nous expliquer certaines notions difficiles. Nous remercions de même Wei Liu avec qui nous avons construit notre montage et Ferdinand Claude, Cheng Ji, et le reste de l'équipe pour leur accueil, leur soutien et leur implication.