

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane Mira

Faculté de la Technologie



Département d'Automatique, Télécommunication et d'Electronique

## Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Electronique.

Spécialité : Instrumentation.

### Thème

*Mesure de déplacement par interférométrie  
laser.*

Préparé par :

*MOUHOUS Nassim*

*OUKAOUR Belaid*

Dirigé par :

*Mr M.SADJI*

Examiné par :

*Mr TAFININE*

*Mme OUALI*

Année universitaire : 2021/2022

# Remerciements

*A la fin de ce modeste travail, on tien à remercier :*

*- Le bon Dieu qui nous a donné la force et la patience durant tout notre parcours afin de mener à bien notre projet.*

*- Tous ceux qui de près ou de loin, ont prêté leur soutien et ont apporté leur contribution personnelle afin que ce travail auquel on a donné forme soit accompli.*

*- Notre promoteur Mr M. Sadjj pour nous avoir orientés, dirigé et surtout pour sa disponibilité exemplaire pendant notre travail.*

*- Nos parents pour nous avoir accompagnés, aidés, soutenus moralement et financièrement.*

*-Les membres de jurys pour leurs évaluations professionnelles et leurs remarques constructives.*

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à :*

- ✓ *Deux personnes qui me sont très chères à savoir mes parents Madani et Nadia, que Dieu leurs donne la santé et une longue vie prospère.*
- ✓ *A mes très chers frères chacun avec son prénom : Yacine, Belaid et sa petite famille.*
- ✓ *A mon oncle Mouloud dit "Hassane" et sa femme Farida qui sont mes deuxièmes parents et leurs fille Fatima que je considère comme ma grande sœur.*
- ✓ *Et à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce mémoire.*

*MOUHOUS Nassim*

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à :*

- ✓ *Deux personnes qui me sont très chères à savoir mes parents Nourdine et fatiha, que Dieu leurs donne la santé et une longue vie prospère.*
- ✓ *A mes très chers frère et sœur chacun avec son prénom : Syphax et Ouardia.*
- ✓ *Et à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce mémoire.*

*OUKAOUR Belaid*

# TABLE DES MATIERES

	<b>Page</b>
<b>Introduction Générale</b>	01
<b>Chapitre 01 : Généralité sur l'interférométrie</b>	
1. Définition de la diode laser à semi-conducteur	03
2. Interférométrie optique	03
3. Mesure de déplacement par interférométrie	03
4. Types d'interféromètres	04
5. Application	08
<b>Chapitre 02 : phénomène du self-mixing</b>	
1. Principe de fonctionnement de la diode laser	11
2. Phénomène du self mixing	13
<b>Chapitre 03 : Méthodes de mesures de déplacements par self-mixing</b>	
1. Méthodes de mesures sans contact	15
2. Application du phénomène du self mixing à la mesure de déplacement	18
<b>Chapitre 04 : Etude et réalisation d'un capteur de déplacement par self-mixing</b>	
1. Etude du capteur de déplacement	23
2. Réalisation du capteur de déplacement	28
<b>Conclusion Générale</b>	34
<b>Annexes</b>	
<b>Bibliographie et Webographie</b>	

# INTRODUCTION GENERALE

## Introduction Générale

La position ou le déplacement d'un objet est généralement une donnée indispensable dans de nombreux domaines industriels :

- Robotique (Automatisation des Systèmes).
- Contrôle des dimensions.
- Mesure d'autres grandeurs physiques, ...

Pour obtenir ces données, il existe énormément de types de capteurs de déplacements permettant des mesures dites non destructives, c'est à dire ne dégradent pas la cible sur laquelle elles sont effectuées tel que le capteur potentiométrique, inductif, capacitif, optique...

Ceux-ci sont devenus d'un intérêt majeur dans la mesure de profil ou le positionnement de grande précision. Des méthodes optiques sont souvent utilisées et la plupart du temps des diodes lasers sont adoptées comme sources optiques pour leur forte intensité lumineuse et leur caractéristique de cohérence.

Il existe plusieurs types de capteurs de déplacement, à cet effet, notre travail portera sur l'étude des capteurs optiques plus précisément interférométriques. Et **la problématique** sera la suivante:

L'interférométrie optique utilise un phénomène considéré comme perturbant, notamment dans le domaine des télécommunications par fibre optique. Il s'agit en fait d'utiliser la rétrodiffusion causée par une cible placée sur le chemin Optique du faisceau laser. Cette rétrodiffusion entre dans la cavité laser et dérange l'émission de la diode laser. Dans la littérature anglo-saxonne, ce phénomène est appelé "Self-mixing", qui peut s'expliquer en français par rétro-injection optique.

Le Docteur Noël Servagent (Thèse INP Toulouse juillet 1997), a décrit ce phénomène dans les diodes lasers et a montré qu'on pouvait l'appliquer à la mesure de distance et de déplacement pour des cibles non coopératives (bois, métal, caoutchouc...).

Donc ce qui est indésirable pour les télécoms est profitable pour nous les instrumentistes dans la mesure où ce phénomène est exploitable dans le but d'extraire des

## Introduction Générale

informations métrologiques. Pour cela la rédaction est scindée en quatre principaux chapitres :

- Le premier chapitre consacré à diverses généralités sur l'interférométrie.
- Le deuxième chapitre porte sur le phénomène du self mixing.
- Le troisième chapitre dédié aux méthodes de mesure de déplacement par self mixing.
- Le dernier chapitre porte sur l'étude et la réalisation d'un capteur de déplacement.



# CHAPITRE 01

## GENERALITE SUR L'INTERFEROMETRIE

## **CHAPITRE 01:Généralité sur l'interférométrie**

### **Introduction :**

L'interférométrie est un procédé de mesure qui utilise le phénomène d'interférence des ondes (généralement les ondes lumineuses, radio ou acoustiques). Les mesures peuvent concerner certaines caractéristiques des ondes elles-mêmes, et des matériaux avec lesquelles elles interagissent. [1]

L'interférométrie s'applique à de nombreux domaines d'applications. Parmi eux, on retrouve l'astronomie, les fibres optiques, la métrologie optique, l'océanographie, la sismologie ou encore la mécanique quantique.

### **1. Définition de la diode laser à semi-conducteur :**

La diode laser à semi-conducteur émet de la lumière monochromatique cohérente (une puissance optique) destinée, entre autres, à transporter un signal contenant des informations sur de longues distances (dans le cas d'un système de télécommunications) ou à apporter de l'énergie lumineuse pour le pompage de certains lasers (lasers à fibre, laser DPSS) et amplificateurs optiques (OFA, Optical Fiber Amplifier). [2]

### **2. Interférométrie optique :**

En utilisant deux faisceaux lumineux (en divisant généralement un faisceau en deux), un diagramme d'interférence peut être formé quand ces deux faisceaux se superposent. Comme la longueur d'onde de la lumière visible est très courte, il est possible de détecter de faibles variations des différences entre les chemins optiques (distance parcourue) des deux faisceaux, puisque ces différences produiront des variations notables dans le diagramme d'interférence. L'interférométrie optique est donc une technique de mesure appréciable utilisée depuis plus de cent ans. Sa précision a ensuite été améliorée grâce à l'invention des lasers.

### **3. Mesure de déplacement par interférométrie :**

L'interférométrie permet de décrire des techniques qui utilisent les ondes lumineuses pour l'étude des variations de déplacement. Cette interférométrie de mesure du déplacement est largement utilisée pour la calibration et l'asservissement mécanique dans l'usinage de précision.

#### 4. Types d'interféromètres :

**a. Interféromètre de Michelson :** L'une des premières utilisations de l'interférométrie a été la célèbre expérience de Michelson-Morley en 1887, le premier américain ayant décroché un prix Nobel de Sciences. Il a démontré l'inexistence de l'éther de lumière, en fournissant les premiers tests expérimentaux. De nos jours, des interféromètres similaires à celui de Michelson sont construits dans de grandes installations et à grande échelle afin de détecter les ondes gravitationnelles, qui sont une conséquence de la théorie de la relativité générale.[3]

Un interféromètre de Michelson comprend un séparateur de faisceau (miroir semi-argenté) et deux miroirs. Quand la lumière traverse le miroir semi-argenté/séparateur de faisceau (partiellement réfléchissant), elle est divisée en deux faisceaux dirigés vers différents chemins optiques (l'un allant vers un miroir et l'autre vers l'autre miroir).

Après avoir été réfléchis par les miroirs, ces faisceaux se recombinaient au niveau d'un séparateur de faisceau avant d'arriver au détecteur (écran). Les différences entre les chemins optiques de ces deux faisceaux provoquent une différence de phase à l'origine de franges d'interférence. Ce diagramme est ensuite analysé par le détecteur afin d'évaluer les caractéristiques des ondes, les propriétés des matériaux ou le déplacement d'un des miroirs (selon la mesure que doit effectuer l'interféromètre). [1]

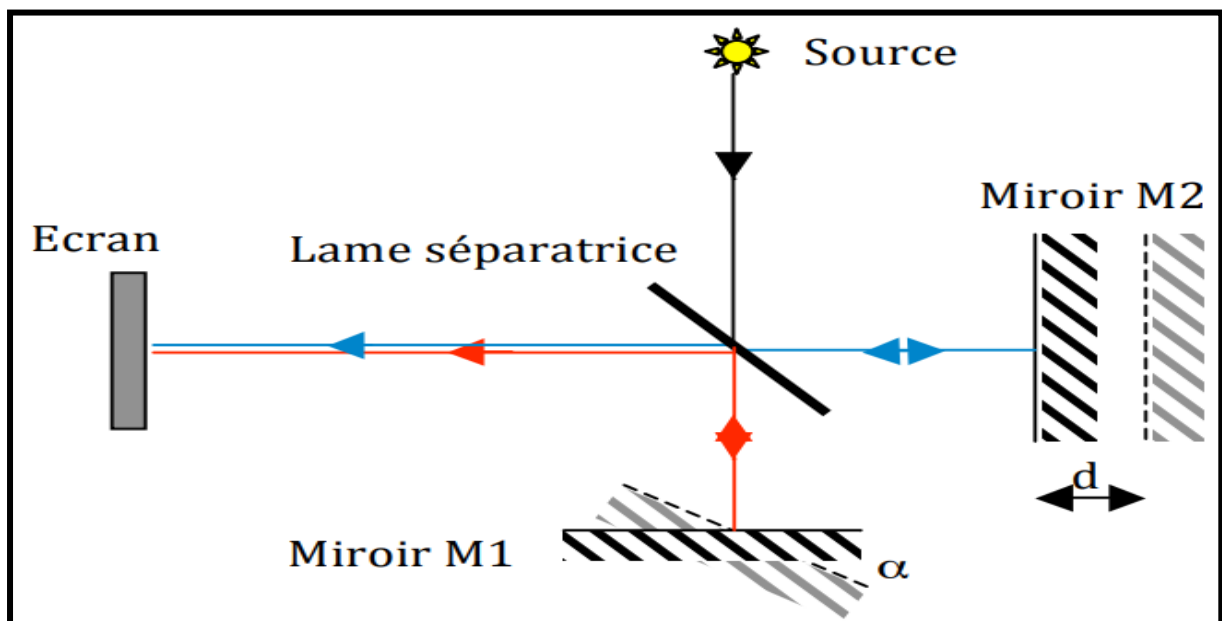


FIGURE1.1:INTERFEROMETRE DE MICHELSON [4]

**b. Interféromètre de Fabry-Perot :**



FIGURE1.2: L'INTERFEROMETRE ORIGINAL DE FABRY-PEROT[4]

Alfred Pérot, né en 1863 à Metz (Fr), était astronome physicien qui consacra une majeure partie de ses travaux à l'optique. Charles Fabry, né à Marseille en 1867, était docteur en sciences et professeur de physique. Il dirigea également un institut d'optique à la Sorbonne. Fabry et Pérot ont proposé lors de la première moitié du XXe siècle une façon de construire un interféromètre. [4]

A l'origine, l'interféromètre de Fabry-Pérot était composé de deux miroirs partiellement réfléchissants se faisant face. L'une des lames peut être réglée en angle de sorte à la rendre parfaitement parallèle à l'autre. Actuellement, les miroirs peuvent être remplacés par deux lames à haut coefficient de réflexion R. [4]

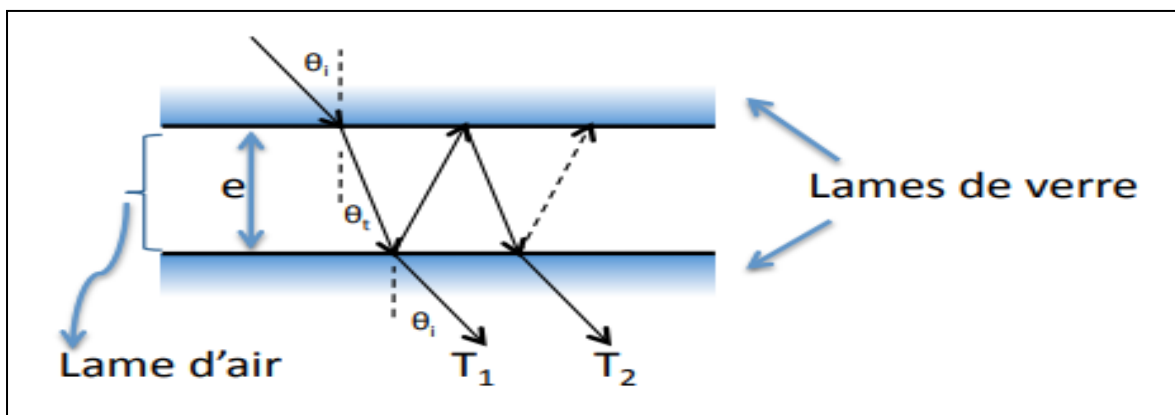


FIGURE1.3 : PRINCIPE DE L'INTERFEROMETRE DE FABRY-PEROT[4]

Un rayon incident arrive sur la première surface et la traverse. Une partie traverse la deuxième lame alors qu'une autre partie est réfléchi. Le rayon réfléchi passe à nouveau partiellement au travers de la lame 2 après réflexion sur la lame 1 et ainsi de suite.

Ainsi, à chaque passage une partie du faisceau s'échappe en créant d'autres faisceaux. Chacun est séparé par un aller-retour entre les lames qui allonge le chemin optique. Pour chaque rayon entrant dans l'interféromètre d'intensité  $I_0$ , les rayons transmis  $T_i$  ont une intensité donnée par : [4]

$$I_i = I_0 * T^2 * R^{(i-1)*2} \quad [\text{eq 1}]$$

Où T et R sont respectivement les coefficients de transmission et de réflexion. On comprend dès lors mieux pourquoi un haut coefficient de réflexion est nécessaire. Pour un verre normal ( $R = 4\%$ ), le rayon transmis  $T_2$  a déjà une intensité environ mille fois plus faible que le rayon initial. Enfin, les rayons transmis interfèrent à l'infini et forment des anneaux. [4]

### c. Interféromètre de Jamin :

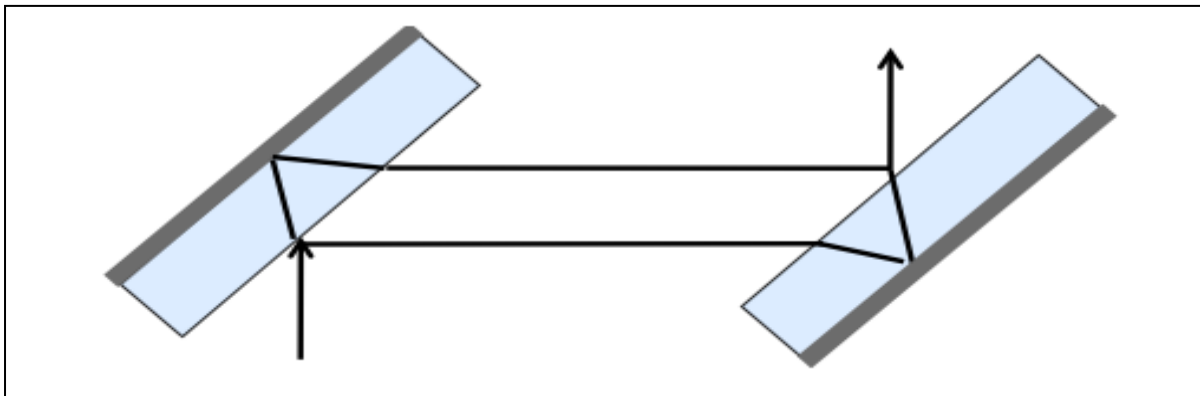


FIGURE1. 4:PRINCIPE DE L'INTERFEROMETRE DE JAMIN[4]

L'interféromètre de Jamin est une forme primitive d'interféromètres du XIXe siècle. Deux lames de verre planes aluminées sur un côté se font face (Figure 1.4). Un faisceau incident sur la première lame se partage en un faisceau réfléchi par la face avant et un faisceau réfléchi par la face arrière. Ces deux faisceaux subissent eux aussi le même partage sur le 2e miroir. Le rayon réfléchi sur la face avant du 1e miroir et par la face métallisée du 2e miroir parcourt le même chemin optique que le rayon réfléchi sur la face arrière du 1e miroir puis par la face avant du 2e miroir. Ces deux rayons ont un déphasage nul si les miroirs sont rigoureusement parallèles. Remarquons que les rayons subissent de nombreuses réflexions et réfractions mais seuls les rayons susmentionnés sont considérés. En effet, les autres faisceaux ont une différence de marche trop grande pour interférer et donnent lieu à un fond uni.

**Chapitre 01 : Généralité sur l'interférométrie.**

En inclinant un des miroirs, les faisceaux divisés parcourent des chemins différents. Ils émergent de l'interféromètre et interfèrent à l'infini. La figure d'interférence est composée de raies verticales équidistantes séparées par une distance : [4]

$$\alpha = \frac{\lambda}{e \cdot 2 \cdot \theta} \sqrt{2n^2 - 1} \quad [\text{eq 2}]$$

Où  $e$  et  $n$  sont l'épaisseur et l'indice des lames, et  $\theta$  l'angle entre les normales à leur surface. Remarquons enfin que la différence de chemins optiques parcourus  $\delta l$  ne dépend pas de l'inclinaison des rayons. [4]

**d. Interféromètre de Mach-Zehnder :**

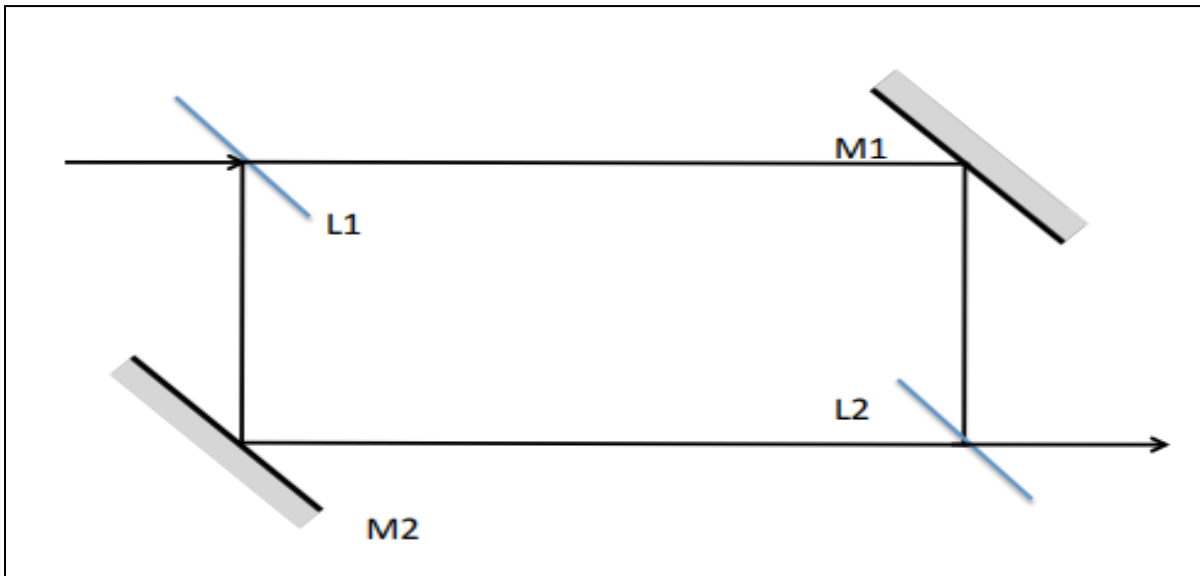


FIGURE1. 5:PRINCIPE DE L'INTERFEROMETRE DE MACH-ZEHNDER[4]

L'interféromètre de Mach-Zehnder est essentiellement une modification du montage de Jamin. Quatre éléments distincts sont utilisés plutôt que les quatre surfaces des deux lames de l'interféromètre de Jamin (Figure 1.5). Dès lors, il est possible de séparer fortement les deux faisceaux : une source collimatée est divisée en deux faisceaux par la lame séparatrice L1 qui parcourent des chemins distincts via les miroirs M1 et M2. Ils sont recombinaés sur la lame L2. Avec un ajustement correct, les deux rayons parcourent exactement le même chemin optique et ne sont donc pas déphasés. [4]

## **5. Application :**

L'interférence des ondes lumineuses a des applications pratiques, faisant des interféromètres un instrument indispensable. L'interféromètre Mach-Zehnder est une référence pour les études aérodynamiques. Comme les faisceaux séparés peuvent être très éloignés, ils peuvent traverser deux milieux différents. En regardant la figure d'interférence, la densité de l'air, sa pression et sa vitesse peuvent être déduites. Des ajustements particuliers des miroirs peuvent créer directement des figures d'interférence sur les objets étudiés en soufflerie. De plus, contrairement à un interféromètre de Michelson, la lumière ne fait pas de va-et-vient, ce qui facilite son utilisation. L'interféromètre de Michelson reste la référence en la matière. Il est particulièrement utile pour les configurations expérimentales car il est très facile à régler et à comprendre. D'une manière générale, l'interférence de la lumière peut mettre en évidence de très petits changements dans le chemin optique.

En d'autres termes, le déplacement peut être mesuré. Une autre grande application est le contrôle des surfaces optiques. Imaginez une situation où un interféromètre est réglé avec précision de sorte que le déphasage entre les rayons divisés soit nul. Par conséquent, si l'une des surfaces réfléchissantes n'est pas parfaitement plane, une figure d'interférence apparaîtra. Le profil de la surface à tester peut alors en être déduit. De même, une application similaire permet de déterminer le rayon de courbure d'une surface.

En interposant une lame de verre ou un gaz sur le chemin d'un des rayons divisés, la lumière parcourt un chemin plus long qui est proportionnel à l'indice de réfraction du milieu considéré. La figure d'interférence est utilisée pour calculer cet indice de réfraction. C'est exactement ce que faisait la première application de l'interféromètre de Jamin : la lumière traversait des cavités remplies de gaz, dont l'une était remplie d'un gaz de référence dont l'indice était bien connu. Une application plus surprenante tente de détecter les ondes gravitationnelles. Albert Einstein a théoriquement prédit l'existence d'ondes gravitationnelles se déplaçant à la vitesse de la lumière. Les ondes gravitationnelles sont des perturbations du champ de gravité se propageant dans l'espace.

De nombreux instituts de recherche à travers le monde tentent d'utiliser l'interférométrie pour mettre en évidence ces ondes. L'un de ces projets comprend un interféromètre de Michelson de tous les superlatifs. Chaque bras mesure 3 kilomètres de long et, combiné à d'autres éléments optiques, de sorte à étendre le chemin optique à une distance équivalente de 100 kilomètres. La lumière voyage dans un tube avec un vide extrêmement poussé. De plus, tous les composants sont isolés mécaniquement des chocs sismiques. La source lumineuse est un laser stabilisé en fréquence très puissant. Par conséquent, les changements d'intensité sur la figure d'interférence ne sont liés qu'aux ondes gravitationnelles qui interagissent différemment sur les deux bras. L'ordre de grandeur de la

## **Chapitre 01 : Généralité sur l'interférométrie.**

différence de marche est de  $10^{-21}$ [m] et pourrait constituer la mesure physique la plus précise jamais réalisée. En effet, les ondes gravitationnelles proviennent de supernovae en général situées (heureusement) dans d'autres galaxies et les perturbations sur les faisceaux sont infinitésimales. [4]

### **Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons appris ce qu'était l'interférométrie d'une manière générale, nous avons également vu quelque rappel sur la diode laser, les différents types d'interféromètres, leurs différentes applications et l'utilisation de l'interférométrie pour la mesure de déplacement.



# CHAPITRE 02

## PHENOMENE DU SELF-MIXING

## CHAPITRE 02: Phénomène du self-mixing

### Introduction :

L'importance des lasers, notamment dans le domaine de l'instrumentation, est reconnue depuis longtemps. C'est pourquoi de nombreux systèmes utilisant ces sources ont déjà été proposés. Cependant, pour les faisceaux lumineux qui sont rétrodiffusés à l'intérieur de la cavité active, des limitations apparaissent. Cette rétro-injection peut se produire à la suite de réflexions de la cible elle-même ou des composants optiques associés comme une lentille utilisée dans la configuration. En fait, le faisceau réfléchi provoque de grandes fluctuations du niveau de puissance et de la fréquence du rayonnement du laser. En 1963, King & Stewart [5] ont observé pour la première fois des variations de la puissance de sortie optique d'un laser à gaz dues à un faisceau rétrodiffusé intra cavité. Ce phénomène, couramment décrit dans la littérature sous le nom de « self-mixing », était initialement considéré comme gênant pour certaines applications comme la communication par fibre optique et les lecteurs de CD. Des efforts importants ont été faits pour réduire ce phénomène, par exemple, en introduisant des éléments d'isolation optique.

Cela a cependant conduit à l'augmentation du coût et de la complexité du système. Ensuite, il a été révélé que la sensibilité du laser au faisceau rétrodiffusé offrait de nombreux avantages dans certaines applications. En effet, Rudd [6] en 1968, est le premier à utiliser l'effet "d'auto-mélange" pour mesurer la vitesse Doppler à l'aide d'un Laser Hélium-Néon. En 1984, Churnside [ 7] [ 8] a étudié la vélocimétrie laser Doppler avec un CO2 laser.

Cependant, il est pertinent de souligner que ce phénomène a été principalement étudié dans le cas de diodes laser pour profiter de la compacité et du faible coût de ce type de source. Aussitôt que 1980, Dandridge et al [9] ont présenté un capteur à diode laser capable de détecter des déplacements sinusoïdaux aussi petite que  $\sim 9 \times 10^{-5}$  nm. Le capteur, conçu pour une application acoustique, utilisait un réflecteur placé à 10 $\mu$ m de la diode laser et utilisant la modulation de phase de la lumière réinjectée dans la cavité laser. Il s'ensuit que la théorie de ce phénomène optique a été étudiée et mis en œuvre pour réaliser des capteurs de distance, de déplacement et de vitesse à l'aide de diodes laser [ 10]-[ 14].

Le self-mixing reste ainsi un domaine de recherche actif avec ses dernières applications dans des domaines aussi variés que la détection du mouvement net d'un ensemble de particules browniennes en suspension dans l'eau [ 15] à son utilisation dans la détection en

porte-à-faux de polymères nanomécaniques [ 16] ainsi que dans les applications médicales pour générer des cartes de débit sanguin [ 17].

### 1. Principe de fonctionnement de la diode laser:

Comme tout laser, une diode laser fonctionne à l'aide d'un milieu amplificateur (amplification dans les semi-conducteurs par émission stimulée), d'une structure résonante (cavité de Fabry-Pérot ou autre types) et d'un processus de pompage (courant électrique). La diode laser est un composant similaire à la diode électroluminescente, car elle est constituée d'une jonction p-n réalisée sur des matériaux à gap direct avec une région active où les porteurs injectés, par forte polarisation directe de la diode, se recombinent de façon radiative, produisant une lumière cohérente issue d'émissions stimulées de photons. Une telle diode laser s'appelle laser à homojonction. Sa structure de base est représentée sur la figure(2.1). Son faisceau lumineux de sortie est latéral. Il est très directif et de fréquence très précise. [2]

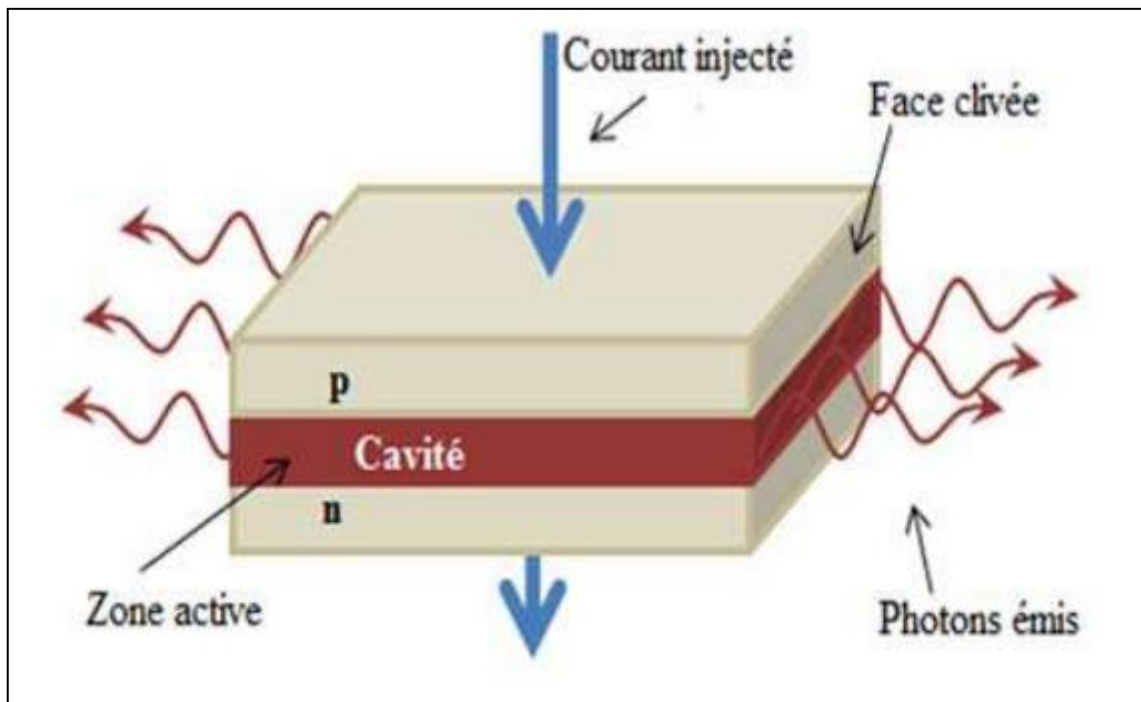


FIGURE 2.1:STRUCTURE DE BASE DE LA DIODE LASER[2]

La région active de la diode, comprise entre les régions n et p, est quasi neutre. Elle est équivalente à une cavité optique résonnante (cavité Fabry- Pérot) qui consiste en un guide d'ondes délimité par deux faces clivées perpendiculairement au plan de la jonction qui forment deux miroirs semi-transparents de facteurs de réflexion R1 et R2 (figure 2.2), le clivage consistant à réaliser une cassure nette et parallèle à un plan réticulaire. Les autres côtés de la structure sont rugueux pour éviter des réflexions sur les autres faces de la structure. [2]

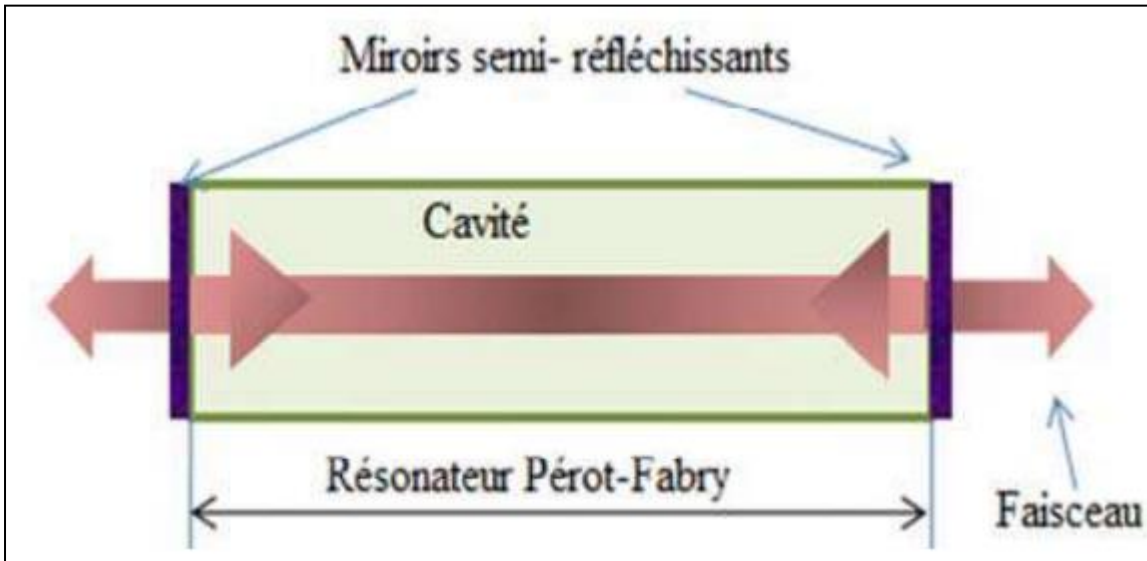


FIGURE 2.2: CAVITE OPTIQUE DE LA DIODE LASER.[2]

### 1.1. Caractéristique Puissance-Courant:

La caractéristique d'une diode laser ressemble à celle d'une diode. En dessous d'une valeur d'intensité seuil, la diode est absorbante, au-delà, l'émission stimulée est proportionnelle à l'intensité du courant électrique.

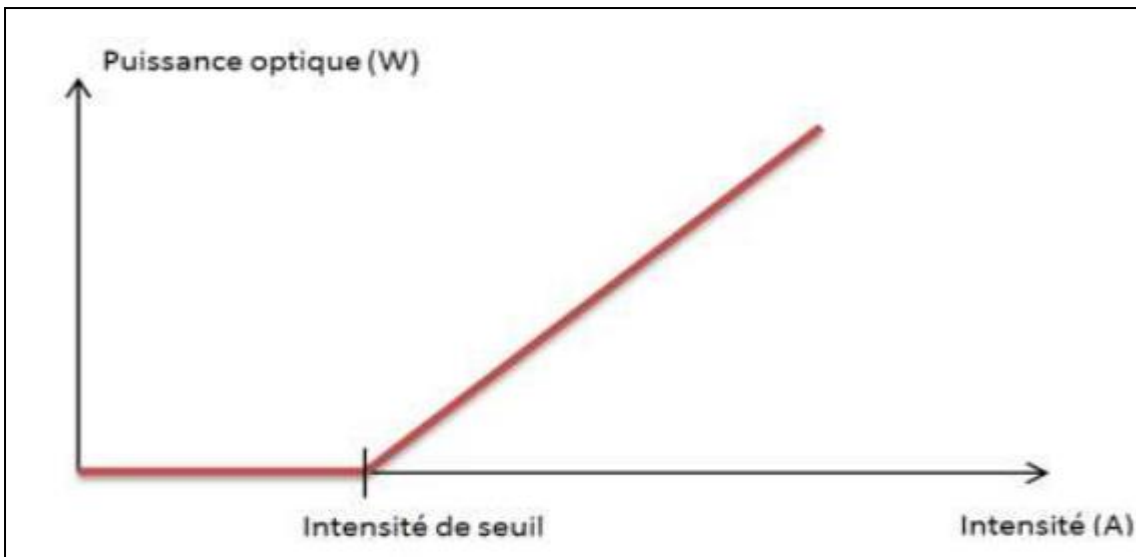


FIGURE 2.3: CARACTERISTIQUE D'UNE DIODE LASER.[2]

Lorsqu'un faible courant lui est appliqué, l'émission stimulée ainsi que les recombinaisons Auger sont négligeables, la diode laser émet de la même manière qu'une LED. La puissance du rayonnement émis est proportionnelle au courant de polarisation. Lorsque le courant qui traverse la jonction devient

supérieur au courant seuil, l'inversion de population a lieu. Les photons émis vont générer des photons cohérents qui vont atteindre les faces clivées du laser en se multipliant par émissions stimulées. [2]

## 2. Phénomène du self mixing :

Lorsque le faisceau de la diode laser pointe sur une cible, une petite partie du faisceau laser émis est réfléchi par la cible puis réinjecté dans la cavité laser. Cela a pour effet de modifier la puissance et la fréquence d'émission laser. Ce phénomène a été appelé "Self-mixing", "Frequency-modulated diode laser" « Diode laser modulée par rétrodiffusion » (de Groot), « Rétroaction optique externe effet » (Lang), « Rétroaction optique active » (Wang) et « Interférométrie de rétroaction » (Donati).

Le principe du self mixing est illustré sur le côté droit de la Fig. 2.4. Un tel système peut être comparé par rapport à un interféromètre de Michelson classique. Cependant, le système de mesure basé sur le self mixing est simple, économique, peu compliqué et auto-aligné car il ne nécessite qu'une diode laser et normalement une photodiode incluse dans la même puce ainsi qu'une lentille de focalisation. Cela évite donc les composants optiques traditionnels (miroirs, isolateurs, séparateurs) qui sont coûteux et nécessitent un grand soin dans leur manipulation et leur alignement.

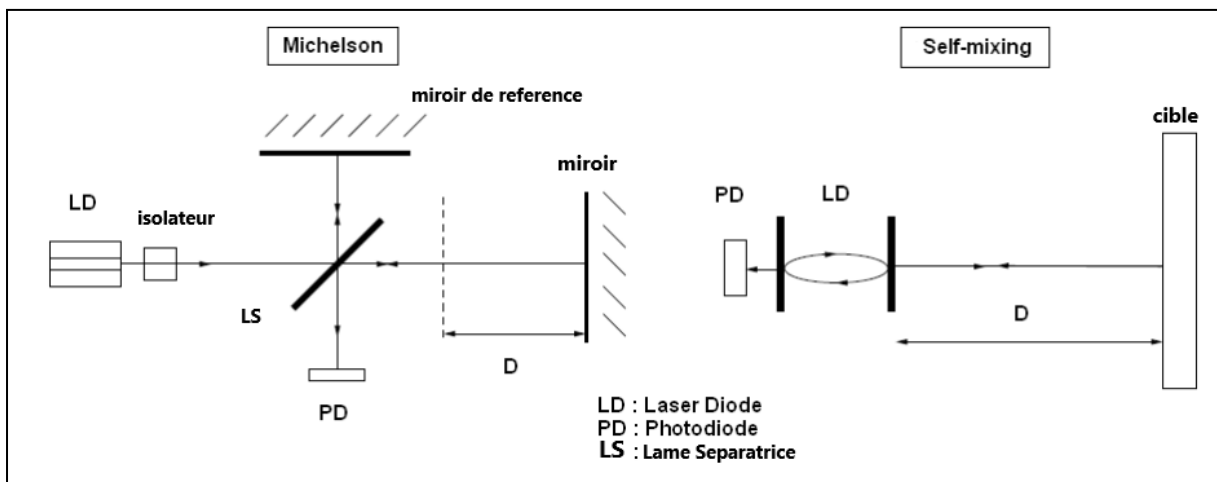


FIGURE 2.4: ANALOGIE ENTRE UNE INTERFERENCE BASEE SUR MICHELSON ET UNE INTERFERENCE BASEE SUR LE SELF-MIXING.[28]

En raison de la réflexion par une cible, la lumière rétro-injectée interfère avec le champ lumineux existant de la cavité laser. Cela nécessite cependant que la cible soit à une distance inférieure à la moitié de la longueur de cohérence du laser soumis à la rétroaction. La photodiode (PD) intégrée dans le boîtier de la diode laser (LD) (Fig. 2.5), qui est normalement

utilisé pour contrôler la puissance d'émission de la diode laser, est ensuite utilisée pour détecter les variations de puissance optique qui sont induites par les interférences ou le phénomène du "self-mixing".

La puissance de sortie est alors modulée si la cible est en mouvement ou si le courant d'injection dans la diode laser est modulé ou lorsque l'indice de réfraction entre le laser et la cible varie.

Il est également mentionné que la photodiode (PD) est inclinée de quelques degrés par rapport à la face arrière de la diode laser (LD) afin d'éviter une rétro-réflexion due à la photodiode.

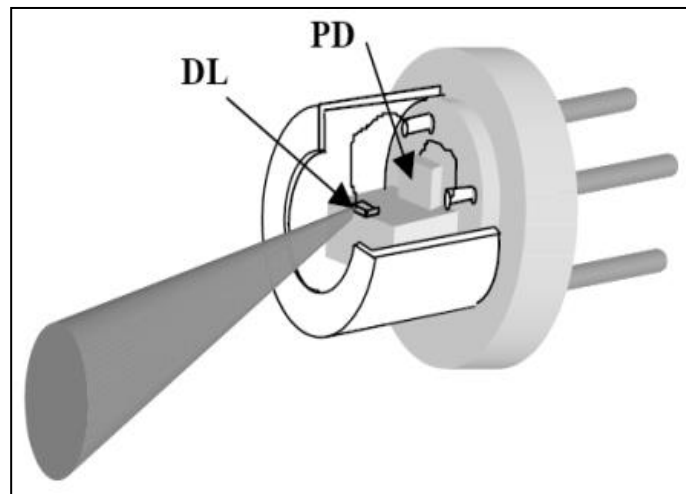


FIGURE 2.5:SCHEMA DE PRINCIPE DU COMPOSANT CONTENANT LA DIODE LASER ET LA PHOTODIODE INTERNE.[28]

De plus, dans certaines configurations récentes du self mixing, même l'utilisation de PD a été éliminée directement en surveillant les variations de la tension de jonction LD [ 19]- [ 20].

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons vu le principe de fonctionnement de la diode laser et cela nous a permis de découvrir un phénomène répondant au nom de self-mixing (rétro injection). Ce phénomène qui se caractérise par une interférence due aux ondes réfléchies par un obstacle quelconque se trouvant sur la chemin d'émission de la diode laser, a longtemps était considéré comme perturbant; en revanche, par la suite, il a été révélé qu'il pouvait avoir une utilité pour des mesures métrologiques.

CHAPITRE 03  
METHODES DE MESURES DE DEPLACEMENTS  
PAR SELF-MIXING

## CHAPITRE 03 : Méthodes de mesures de déplacements par self-mixing

### Introduction :

Les mesures dimensionnelles sans contact, que ce soit de déplacements, de distances ou de formes, concernent un large éventail de méthodes, d'échelles et de moyens. Une onde ou un champ, qu'il soit électromagnétique ou acoustique, est très généralement émis et reçu par le capteur. La méthode ou le moyen universel n'existe pas, par contre, pour chaque cas spécifique existe la méthode la plus appropriée.[28]

### 1. Méthodes de mesures sans contact

#### 1.1. Mesures capacitives

Les capteurs capacitifs sont couramment utilisés dans les applications scientifiques et industrielles. Le principe est basé sur la variation de la capacité d'un condensateur lorsque la grandeur physique à mesurer change [21]. Un capteur de déplacement capacitif est constitué de deux électrodes : une électrode de référence (qui n'est rien d'autre que le capteur lui-même) et une cible. La capacité du condensateur ainsi formé dépend du placement relatif du capteur par rapport à la cible et de la constante diélectrique du milieu inter électrodes. Pour un capteur plan et une cible plane, celle-ci est donnée par la relation :

$$C_p(d) = \epsilon_0 \epsilon_r (S/d) \quad [\text{eq 3}]$$

Où  $\epsilon_0 = 8.8542 * 10^{-12} \text{ F/m}^{-1}$  représente la constante diélectrique du vide,  $\epsilon_r$  la constante diélectrique du milieu inter électrodes,  $S$  la surface de l'électrode mesurande (capteur) et  $d$  la distance à la cible. Ainsi, la constante diélectrique du milieu inter électrodes étant parfaitement connue, la mesure capacitive de distance donne t-elle une mesure absolue. La spécification de la tension de sortie du capteur en fonction de la distance a une plage linéaire caractérisée par la sensibilité. Par conséquent, en pénétrant dans ces plages, des mesures d'amplitude de vibration peuvent être effectuées. Les plages de mesure sont faibles et varient de quelques dizaines de micromètre à des centaines de millimètres. La bande passante la plus courante est d'environ 10 kHz et des valeurs plus élevées peuvent être atteintes avec une sensibilité de 0,1  $\mu\text{m}$ . [28]



D'autre part, la précision de la mesure dépend de la connaissance précise de la constante diélectrique du milieu inter-électrodes. Cependant, celle-ci dépend de plusieurs paramètres tels que la pression, la température et l'humidité.

En conclusion, les capteurs capacitifs ne donnent des mesures de distance que pour des objets ayant des propriétés diélectriques. D'autre part, la mesure capacitive, bien qu'elle soit absolue, dépend de paramètres extérieurs pour garantir à la fois une bonne stabilité et une bonne précision.

## **1.2. Mesures inductives**

En comparaison aux capteurs capacitifs mentionnés ci-dessus, les capteurs de distance inductifs sont moins affectés par l'environnement. Les mesures inductives sont effectuées dans des milieux magnétiques ou à travers des parois conductrices [22]. La présence de poussière ou d'huile dans les alentours n'affecte pas la mesure. Il existe trois méthodes : mesurer l'induction magnétique, mesurer les fluctuations du flux magnétique dans une bobine et mesurer la résistance d'un circuit magnétique. Les mesures d'induction magnétique sont limitées aux cibles ferromagnétiques. [28]

Elles utilisent des sondes à effet Hall ou magnéto-résistives. Cependant, un dispositif magnétisant doit être ajouté à la sonde de mesure. Cette méthode offre une bande passante élevée de plus de 20 kHz. De plus, des mesures de vitesse peuvent être effectuées en remplaçant la sonde par une bobine avec une tension proportionnelle au changement de flux. La précision de mesure de ces deux techniques est de l'ordre de 1 %. [28]

La troisième technique est basée sur la mesure de la réluctance du circuit magnétique créé par le capteur et la pièce à mesurer. En d'autres termes, à mesure que le capteur inductif se rapproche de la cible magnétique, la réluctance diminue. Si la pièce est simplement conductrice, la réluctance augmentera. Les mesures de réluctance sont effectuées en plaçant un ou deux bobinages autour d'un circuit magnétique et en mesurant le changement d'impédance à l'aide d'un circuit alternatif. Ces variations sont généralement des fonctions hyperboliques de la distance. La plage de mesure va de quelques centièmes de mm à 50 mm. La précision est d'environ 0,1 % sur toute la plage. En revanche, il permet d'obtenir une sensibilité de 0,05  $\mu\text{m}$  pour des plages de mesures de quelques dixièmes de millimètre, ainsi qu'une bande passante de 50 kHz. [28]

### **1.3. Mesures optiques**

La technologie de triangulation permet des mesures de 0,1 mm à 1 m. La précision est d'environ 0,1 % sur toute la plage de mesure. Il existe des capteurs qui ont une bande passante de 20 kHz. L'interférométrie est actuellement la méthode de mesure optique la plus utilisée pour la mesure précise du déplacement. Cependant, cette méthode nécessite l'utilisation de nombreux composants optiques qui restent difficiles à réaliser et coûteux. [28]

D'autre part, de tels systèmes sont généralement peu compacts, de sorte que des capteurs optiques intégrés ont été développés. Par exemple, le double interféromètre intégré de Michelson, développé par la société grenobloise CSO, permet à la fois de réduire la taille des capteurs et de résoudre les problèmes d'alignement. Cependant, le prix est encore élevé et les mesures ne peuvent être effectuées que sur des cibles de type miroir. En revanche, les capteurs de déplacement basés sur les interférences de retro-injection offrent un système de montage compact et flexible à faible coût. De plus, la direction du déplacement est directement déduit de la forme du signal, mais un interféromètre double est nécessaire pour obtenir cette information. Enfin, ce type de capteur permet de travailler sur des cibles communes même lorsque l'effet speckle limite ses performances. [28]

#### **1.3.1. Les fentes de young:**

Les fentes de Young sont l'objet d'une expérience qui consiste à diriger de la lumière sur deux petits trous (ou fentes). La lumière est ensuite récupérée sur un écran. On y observe un motif de diffraction, c'est-à-dire que certains endroits sur l'écran sont totalement sombres et d'autres sont très lumineux. Du fait de l'interférence des rayons diffusés par les deux fentes, les ondes s'ajoutent et on obtient une frange lumineuse sur l'écran, ce que l'on appelle une interférence constructive. En revanche si les ondes s'annulent, on obtient une frange sombre sur l'écran. C'est alors une interférence destructive. Cela explique pourquoi on observe, sur l'écran, des franges successivement claires et sombres.[24]

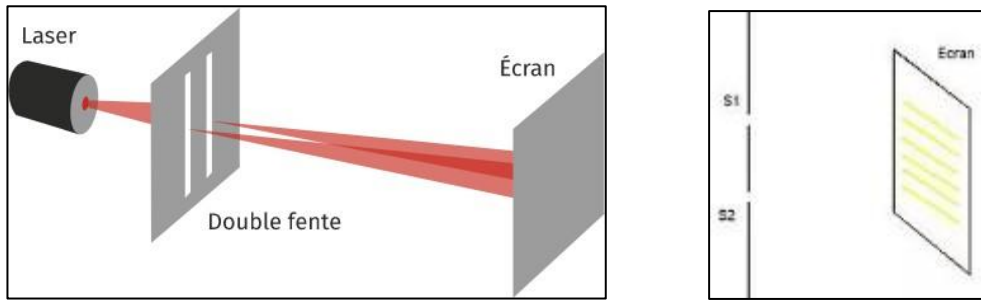


FIGURE 3.1:SCHEMA DE PRINCIPE DES FENETRES DE YOUNG[24]

## 2. Application du phénomène du self mixing à la mesure de déplacement :

### 1.1. Principe de la détection homodyne :

La diode laser émet une onde de fréquence notée  $\nu_0$  sans contact avec la cible. Lorsque l'onde atteint la cible celle-ci est réfléchiée dans la cavité active du laser. Son amplitude et sa phase sont modifiés, maintenant elle présente une fréquence  $\nu_F$ .

L'onde émise et l'onde réfléchiée se superposent dans la cavité active de la diode laser (voir figure 3.2), ce qui engendre un battement entre les deux fréquences. Le photo-courant résultant de la détection a donc la fréquence :

$$\nu_i = \nu_f - \nu_0 \quad [\text{eq 4}]$$

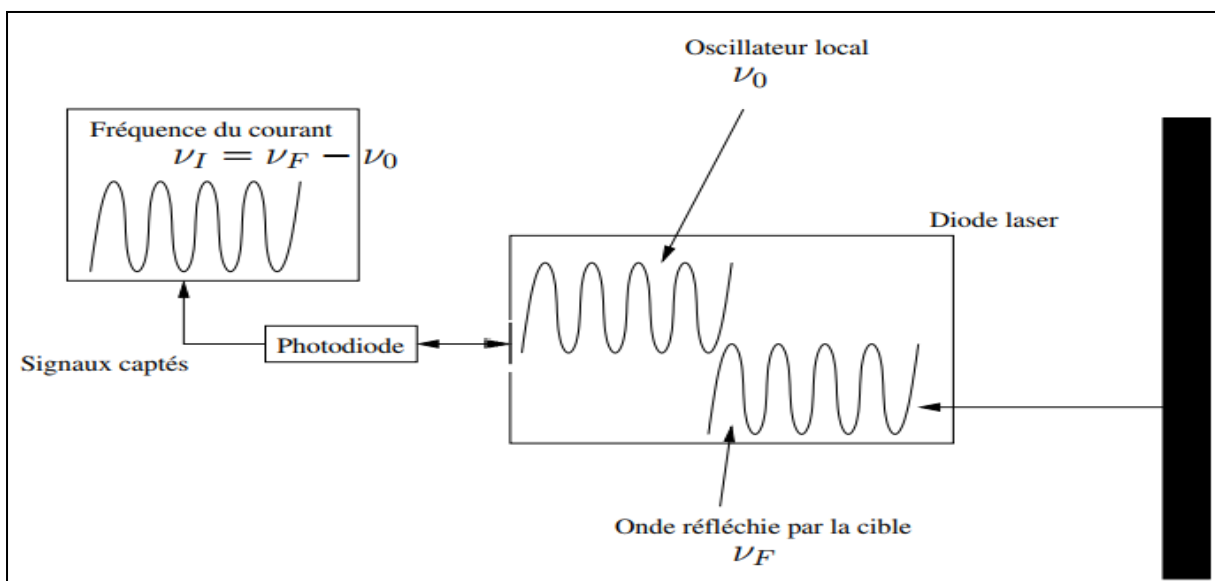


FIGURE 3.2:SCHEMA DE PRINCIPE DE LA DETECTION HOMODYNE[23]

### 1.2. Les interférences constructives et destructives :

Les interférences constructives et destructives sont des phénomènes qui se produisent lorsque plusieurs vagues se rencontrent. La différence principale entre interférence constructive et destructive est qu'une interférence est constructive lorsque les déplacements des ondes qui se rencontrent vont dans la même direction, tandis qu'une interférence destructive se produit lorsque les déplacements des ondes qui se rencontrent se font dans la direction opposée.

Les interférences constructives et destructives se produisent en raison du principe de superposition. Selon ce principe, lorsque plusieurs vagues du même type se rencontrent en un point, le déplacement résultant en ce point est la somme des déplacements dus à chacune des vagues incidentes. Quand deux vagues se rencontrent et que les oscillations des deux vagues sont dans la même étape, alors nous disons que les deux ondes oscillent en phase. La différence de phase entre deux ondes qui se rencontrent en phase, correspond à un multiple entier pair de  $\pi$  ( $0, 2\pi, 4\pi, \dots$ ).

Si les oscillations sont aux stades opposés du cycle, on dit alors que les ondes oscillent complètement déphasées ou en antiphasé. La différence de phase entre deux ondes en opposition de phase correspond à un multiple entier impair de  $\pi$  ( $\pi, 3\pi, 5\pi, \dots$ ). [25]

#### a. Interférence constructive :

Lorsque l'interférence est constructive, il en résulte que les déplacements se renforcent mutuellement, formant une onde résultante d'amplitude supérieure à l'amplitude de l'une quelconque des ondes combinées pour la produire. Le diagramme ci-dessous montre deux vagues (en rouge et en vert) se rencontrant en phase pour produire une interférence constructive (en bleu) : [25]

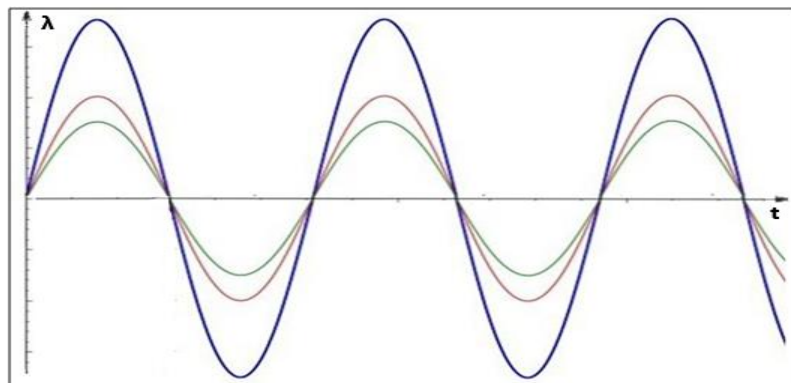


FIGURE3.3: RESULTAT D'INTERFERENCE CONSTRUCTIVE[25]

**b. Interférence destructive :**

Lorsque les ondes qui se combinent ont leurs déplacements dans des directions opposées, l'onde résultante produite a une amplitude inférieure. Dans ce cas, l'interférence est destructive. Dans le diagramme ci-dessous, les ondes incidentes (indiquées en rouge et bleu) qui sont en antiphasse se combinent pour former la vague résultante bleue. Si les amplitudes des ondes incidentes avaient été identiques, les deux s'annuleraient complètement et il n'y aurait aucune onde résultante (c'est-à-dire que l'onde résultante aura une «amplitude nulle»).

La figure 14 illustre une interférence destructive: deux vagues incidentes (rouge et verte) qui se trouvent en antiphasse se rencontrent, produisant la vague bleue résultante. [25]

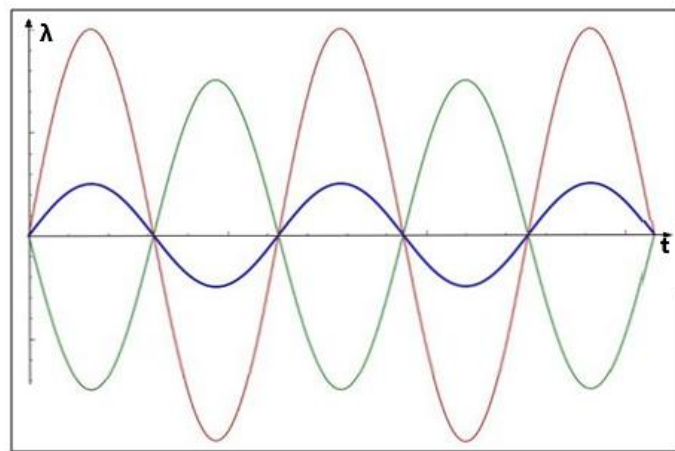


FIGURE 3.4: RESULTAT D'INTERFERENCE DESTRUCTIVE [25]

**1.3. L'effet speckle :**

Les capteurs utilisant le principe du self mixing offrent de nombreux avantages, mais les résultats obtenus peuvent être perturbés par un bruit parasite: le phénomène de speckle ou granularité lié à l'état de la surface de l'objet étudié.

En effet, quand un milieu naturel à la taille d'un pixel dont les dimensions sont centimétriques, homogène (les propriétés macroscopiques restent les mêmes) reçoit une onde cohérente (stable en phase) sur sa surface, nous allons avoir pour différentes cibles élémentaires des réponses individuellement différentes. Ces réponses vont être caractérisées par une amplitude et une différence de phase provenant de la propagation qui a eu lieu entre l'onde initiale et la réflexion et donc une fraction de la puissance non transmise ou non absorbée par la cible est rétrodiffusée dans l'espace; d'où l'origine du phénomène. [26]

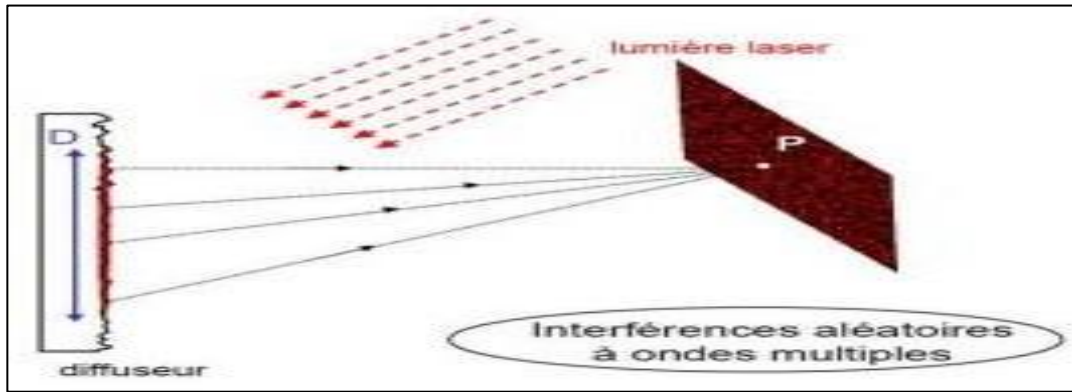


FIGURE3.5:EFFET SPECKLE

#### 1.4. L'effet Doppler:

C'est le phénomène qui caractérise le changement de fréquence de l'onde captée par un récepteur lorsque l'émetteur et le récepteur sont en mouvement relatif. Les ondes lumineuses émises par un corps en déplacement sont affectées par le mouvement de celui-ci par rapport à un observateur au repos. L'intervalle séparant des ondes successives est plus petit dans la direction du mouvement et plus grand dans la direction opposée. Dans notre cas, c'est le mouvement relatif de la cible réfléchissante par rapport à la source (la diode laser) qui est à l'origine de l'effet doppler. [27]

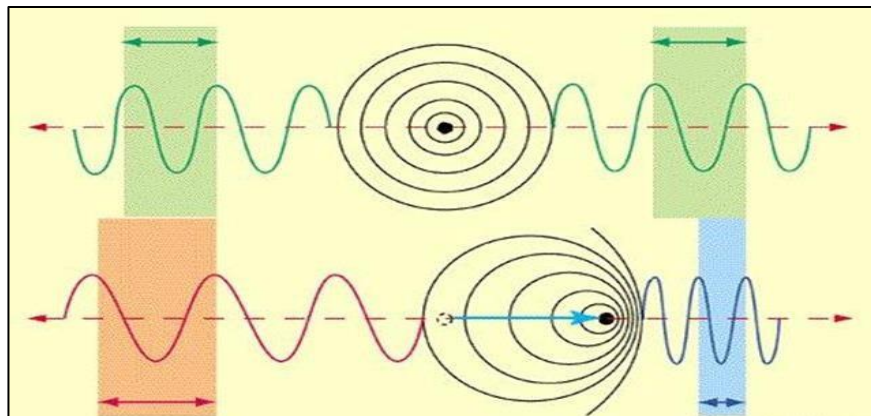


FIGURE3.6:EFFET DOPPLER

#### Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mentionné les différentes méthodes de mesure de déplacement sans contact; cela nous a permis d'enchaîner sur les méthodes optiques, c'est à dire la mesure par self-mixing. Grâce à cela, nous avons découvert que lorsque l'onde émise

### ***Chapitre 03 : Phénomène du self-mixing***

par le laser atteint la cible celle-ci est réfléchi dans la cavité active du laser. Son amplitude et sa phase sont modifiées. L'onde émise et l'onde réfléchi se superposent dans la cavité active de la diode laser, ce qui engendre une nouvelle onde avec une fréquence différente, soit amplifiée ou annulée, cela dépend du type d'interférence et des nombreux effets physiques qui entrent en jeu.

**CHAPITRE 04**  
**ETUDE ET REALISATION**  
**D'UN CAPTEUR DE DEPLACEMENT**  
**PAR SELF-MIXING**



## Chapitre 04 : Etude et réalisation d'un capteur de déplacement par self-mixing

### I. Etude du capteur de déplacement :

#### 1. Système électronique :

Le circuit électrique du capteur par self-mixing a été conçu de manière à être le moins sensible possible aux perturbations électromagnétiques extérieures. Ce circuit a pour but de polariser la diode laser et d'amplifier le courant en sortie de la photodiode, en ayant le moins de distorsion possible, de manière à avoir les pics du self-mixing non bruités.

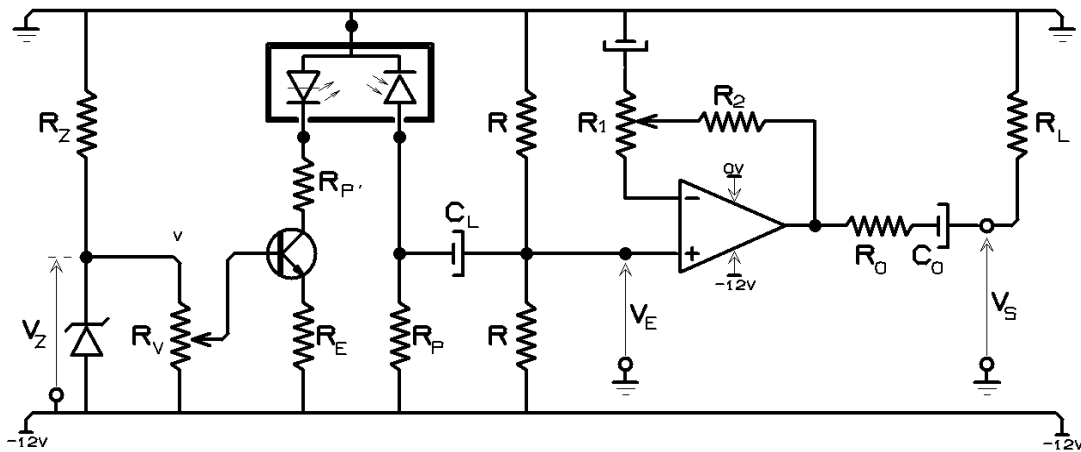


FIGURE 4.1: CIRCUIT ELECTRONIQUE DU CAPTEUR DE DEPLACEMENT

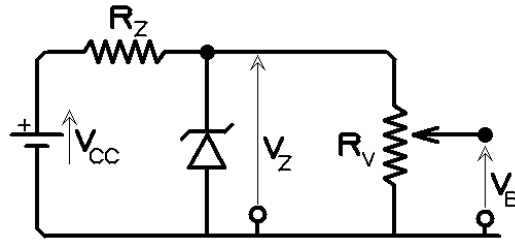
#### 2. ALIMENTATION DE LA DIODE LASER :

La diode laser est alimentée par un courant d'injection constant. Les diodes lasers en alliage que nous utilisons et qui présentent une forte sensibilité à la rétro-injection optique, se polarisent avec un courant aux alentours de 100mA et présentent une tension directe comprise entre 2 V et 3 V. La puissance optique générée par la diode est une fonction linéaire du courant de pompe, il faut donc concevoir une source de courant adaptée au fonctionnement de celle-ci.

##### 2.1. Source de tension stabilisée:

La figure ci-dessous montre le circuit classique de régulation de tension par diode Zener réalisé afin d'obtenir une tension réglable qui pilotera un convertisseur tension-courant indispensable pour polariser la diode laser. La tension V<sub>B</sub> réglable permet d'agir sur le

courant.



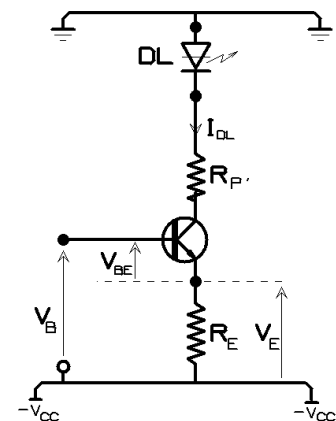
$V_{CC}$  est une tension fournie par un bloc d'alimentation; elle doit être supérieure à la tension de zener  $V_Z$ .

## 2.2. CIRCUIT DE POLARISATION DE LA DIODE LASER :

Afin de se placer dans de bonnes conditions pour la réalisation d'un capteur par self-mixing, il faut alimenter le laser par un taux de pompe constant. La diode laser que nous utilisons pour réaliser le capteur est pompée par un courant électrique, elle présente une faible tension à ses bornes (entre 2V et 3V).

Notons que le boîtier de la diode laser renferme également une photodiode indispensable pour notre application à la mesure de la puissance du laser et offre aussi la possibilité de réguler cette puissance (par exemple vis à vis de la température) par un circuit d'asservissement externe (autres applications).

On peut faire varier le courant de pompage de la diode en faisant varier  $V_B$  par l'intermédiaire du potentiomètre  $R_V$  du circuit précédent.



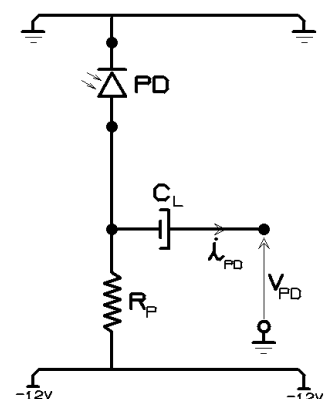
L'expression ci-dessous montre que le courant  $I_{DL}$  est sensiblement constant.

$$I_{DL} = \frac{V_E}{R_E} = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E} = \frac{V_B - (0.7V \mp \Delta V_{BE})}{R_E} \cong \frac{V_B - (0.7V)}{R_E} \quad [\text{eq 5}]$$

La diode est, de plus, protégée par une résistance  $R_p'$  de faible valeur.

## 3. RECEPTION DU SIGNAL :

La photo-diode permettant de recevoir le signal du self-mixing doit être polarisée en inverse et le signal qui en est issu sera amplifié. Mais avant, le signal passe par un filtre passe haut qui permet d'atténuer les



basses fréquences, c'est-à-dire les fréquences inférieures à la fréquence de coupure.

#### 4. Amplification du signal :

De toute évidence, le signal de la photodiode ne peut être exploité directement; donc on fait recours à un amplificateur non inverseur afin de rendre le signal utile exploitable.

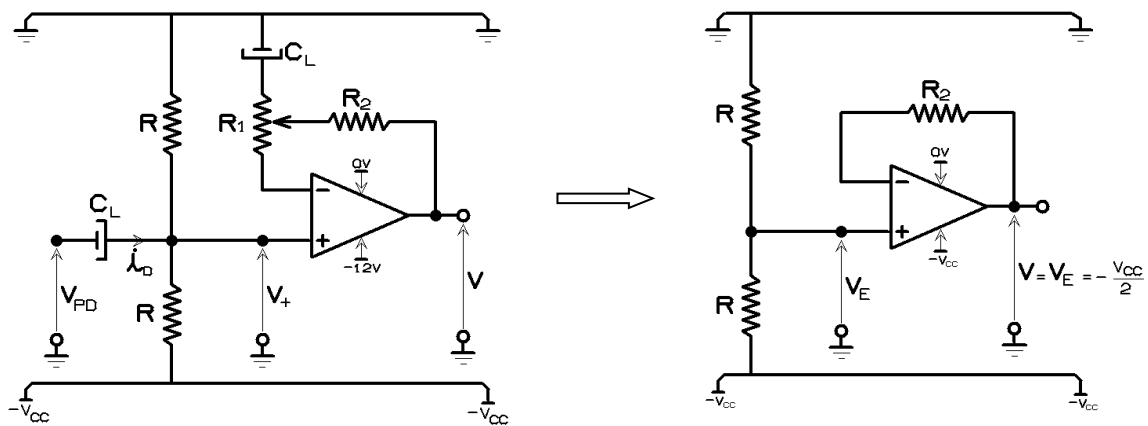
L'amplificateur opérationnel étant alimenté avec 0V et -12V, il est indispensable d'aligner le signal utile amplifié sur -6V; soit  $-V_{CC}/2$ . Le circuit amplificateur fait également office de circuit d'alignement afin que le signal utile en sortie puisse occuper toute la dynamique de sortie [-12V ; 0V].

##### 4.1. Comportement en régime statique :

Lorsque la diode laser est éteinte, l'entrée non inverseuse reçoit la tension issue du diviseur de tension par deux constitué des deux résistances R. Comme la présence de condensateurs de liaison n'autorise pas l'amplification des tensions continues (ils restent ouverts), l'amplificateur non inverseur fonctionne en suiveur de tension comme montré par la figure ci-dessous.

On a  $V = V_+ = V_E = -V_{CC}/2$ .

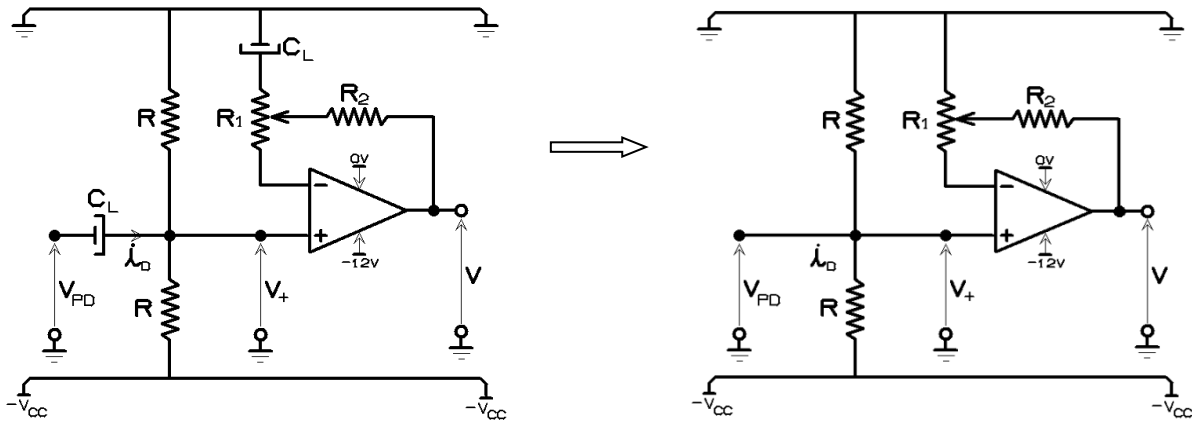
[eq 6]



##### 4.2. Fonctionnement en régime dynamique :

On observe la présence des deux régimes pour le calcul de la tension de sortie par l'application du théorème de superposition .

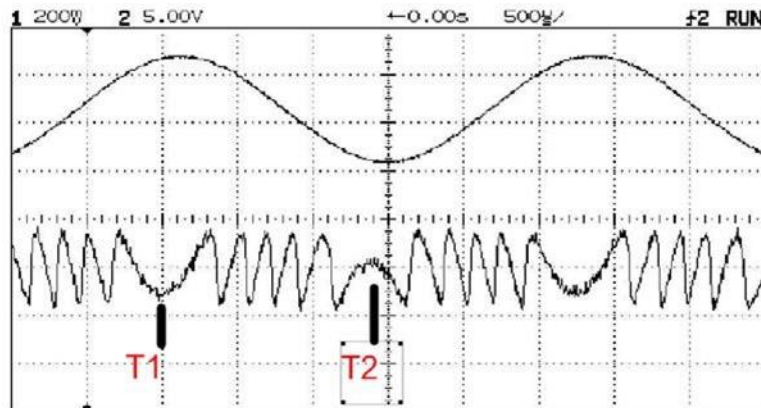
En régime dynamique, les condensateurs se comportent en court-circuit. Nous calculons la tension de sortie correspondant à ce régime de fonctionnement à laquelle nous rajoutons la composante due au régime statique calculée précédemment. Le calcul donne:



$$V = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) * \left(\frac{R}{2} * i_D\right) + \left(\frac{-V_{CC}}{2}\right); \quad [\text{eq 7}]$$

**5. Analyse du signal de sortie :**

Prenons l'exemple d'une simulation du mouvement d'une cible et de la fluctuation de la puissance lumineuse réalisée grâce au logiciel Matlab avec les paramètres suivants (fréquence d'oscillation de la cible: 364 Hz, amplitude 5V).[28]



**FIGURE4.2: SIGNAL DE SORTIE[28]**

Nous remarquons une forme du signal en dents de scie asymétriques, cette asymétrie est d'autant plus marquée que la rétro-injection est forte. Lorsque la cible change de direction de mouvement, le pic en dents de scie change aussi d'inclinaison. Cette inclinaison caractérise le sens de déplacement de la cible.

La fluctuation réelle de la puissance émise par la diode en fonction du temps est donnée par la figure 4.2. Il est possible de déterminer, à partir de cette figure, le déplacement de la cible pendant un temps donné, en comptant le nombre de pseudo-périodes pendant ce même temps. Entre les instants T1 et T2, on compte 5 pseudo-périodes, la cible s'est donc déplacée de  $\pm 5 * \lambda / 2 = \pm 1,96 \mu\text{m}$ .

De plus, comme le montre la figure(4.2), l'orientation des dents de scie donne le sens de déplacement du signal: entre les instants T1 et T2, la cible se rapproche du laser, le déplacement est donc de  $-1,96\mu\text{m}$ . [28]

### 6. Paramètre H:

La figure 4.3 montre que le passage de la cible à une distance minimum de la diode laser se traduit par une particularité, notée "H". Dans la cas où la cible a un mouvement harmonique, la périodicité de cette particularité donne la fréquence du mouvement.[28]

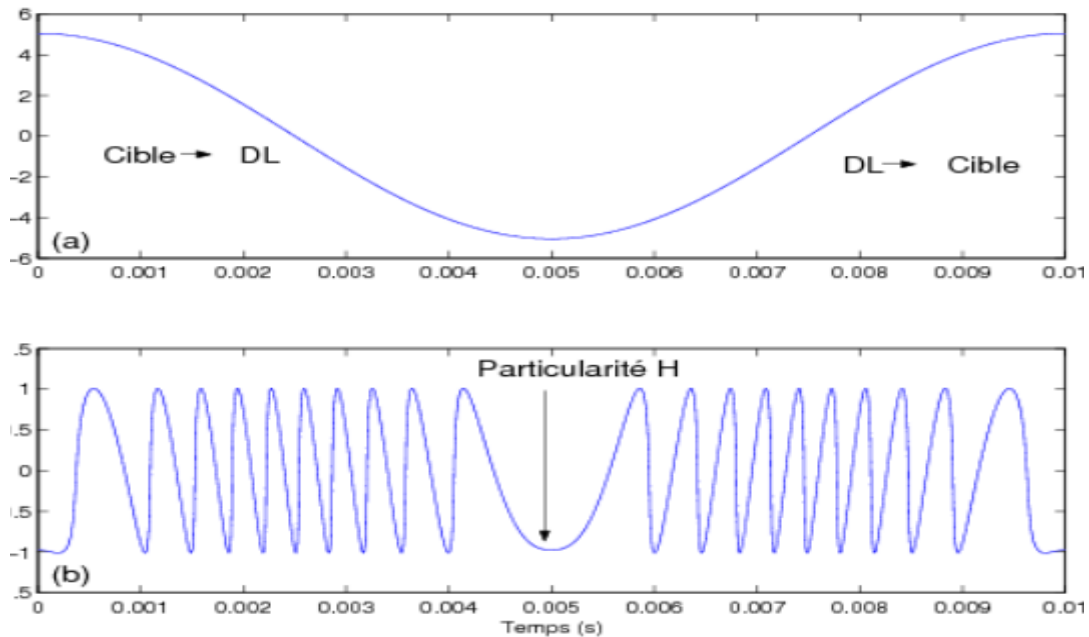


FIGURE4.3: PRINCIPE DU PARAMETRE H[28]

### 7. Indice de couplage

La période du signal correspond à un déplacement de  $\lambda/2$  de la cible, avec un coefficient de couplage  $C < 1$  et quand  $C = 1$  c'est une sinusoïde parfaite. L'inclinaison du signal renseigne de la direction de déplacement de la cible: Dans la figure (a), la cible s'éloigne du capteur; dans la figure (b), elle s'en rapproche. [28]

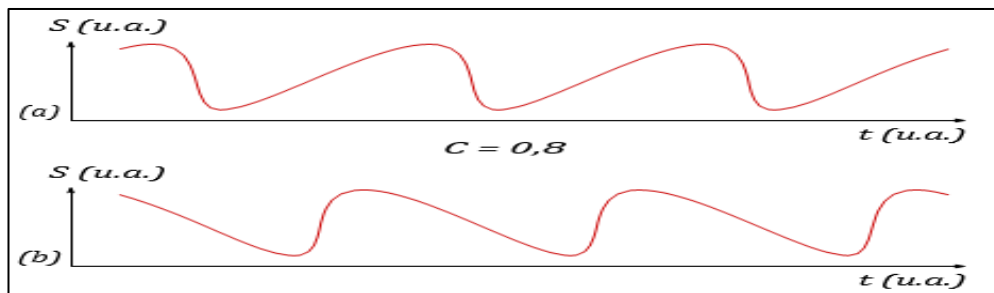


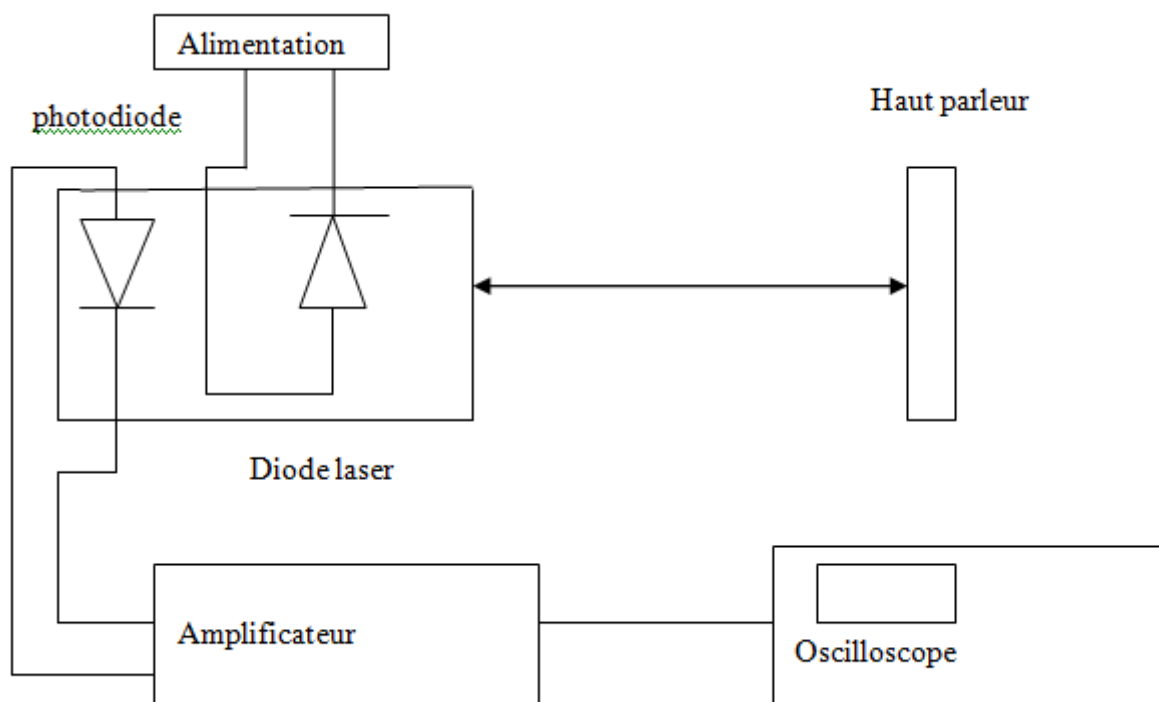
FIGURE4.4: PRINCIPE DE L'INDICE C[28]

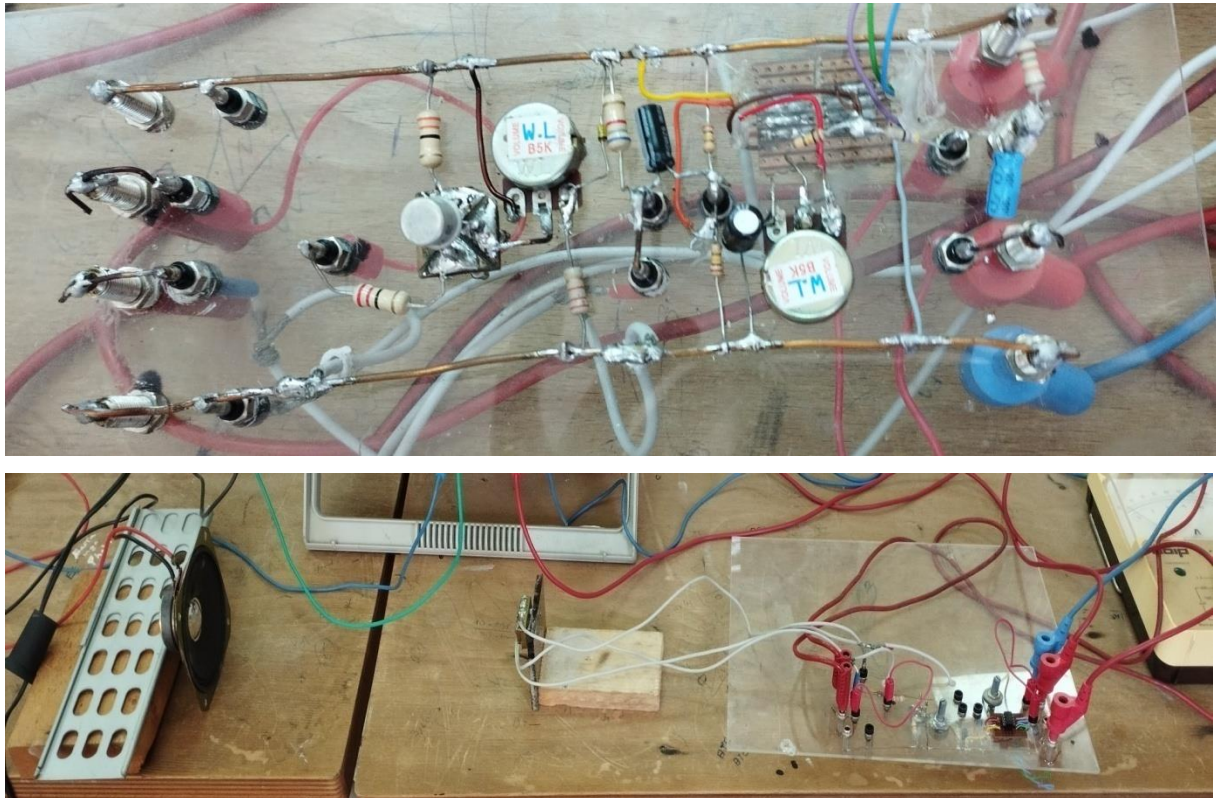
## II. Réalisation du capteur de déplacement

### 1. Montage expérimental :

Pour valider expérimentalement cette propriété, nous avons réalisé le montage comprenant la diode laser et la photodiode dans leur boîtier ainsi que son optique de collimation. La diode laser éclaire un cache poussière (autocollant réfléchissant) qui équipe le haut parleur, lui-même connecté à un générateur de basses fréquences. En effet, le haut parleur a la propriété de vibrer proportionnellement au signal électrique qui l'excite créant ainsi un mouvement vibratoire au niveau de la membrane induisant des variations de pression acoustique.

Le cache poussière accroché à la membrane est recouvert d'un revêtement rétro-réfléchissant qu'on va utiliser pour réinjecter le maximum de lumière dans la cavité active de la diode laser et de s'affranchir ainsi de l'effet speckle.





**FIGURE 4.5: SCHEMA DE MONTAGE DU CAPTEUR**

## 2. MATÉRIELS UTILISÉS :

- La diode laser que nous utilisons est une diode HL7851, qui émet un faisceau monomode (longueur d'onde) à 785nm, à une puissance optique nominale (sans cible constante) de 50mW. Elle présente une forte sensibilité à la rétro-injection optique, se polarise avec un courant aux alentours de 100mA et présente une tension directe comprise entre 2 V et 3 V. Le boîtier englobe une photodiode fournissant un courant en rapport avec la puissance de sortie du laser. En outre, dans certaines applications, elle permet un asservissement de cette puissance par rapport, par exemple, à la température.[29]
- Un transistor bipolaire 2N2219 de moyenne puissance câblé en source de courant pour alimenter la diode laser. [30]
- Un amplificateur opérationnel TI082 monté en amplificateur de transimpédance. Il convertit le courant de la photodiode en une tension d'amplitude suffisante pour sa visualisation à l'oscilloscope. [30]

Le signal de sortie de la photodiode qui représente la fluctuation réelle de la puissance émise par la diode en fonction du temps est ensuite amplifié par un circuit amplificateur. Le

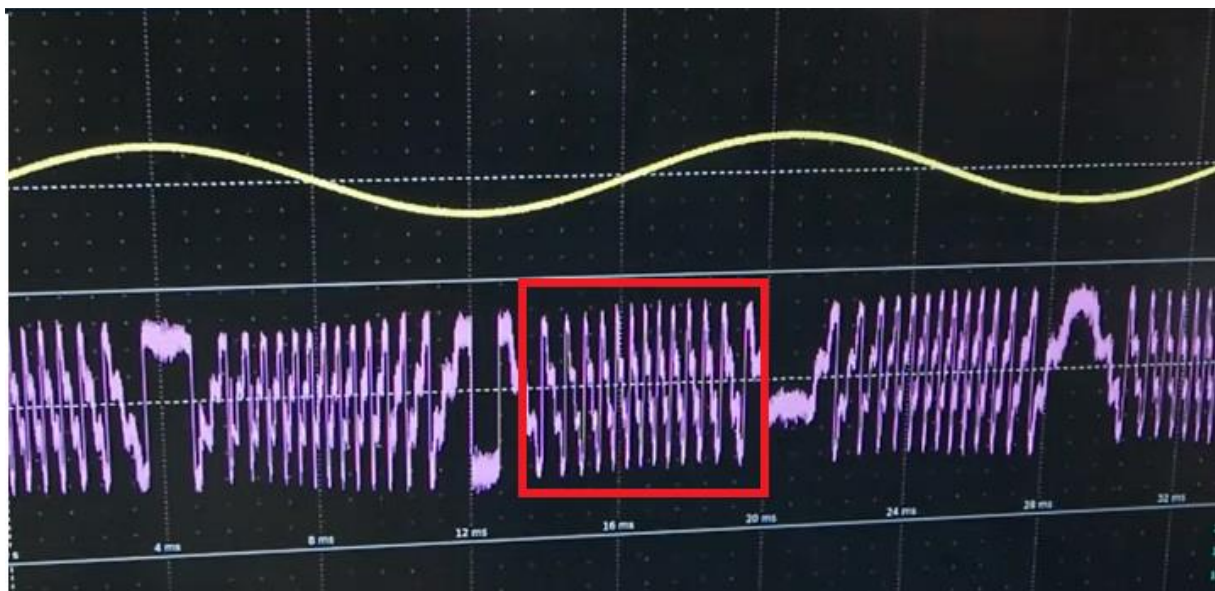
signal détecté par le capteur ainsi que l'amplitude de la tension appliquée au haut parleur sont affichés sur un oscilloscope numérique. L'unité de l'axe horizontal est le temps (en ms) et celle de l'axe vertical et la tension (en mV).

### 3. SIGNAL DE SORTIE :

#### -Réponse du système à un déplacement sinusoïdal de la cible :

- Comportement du système par rapport à l'amplitude du déplacement :
  - On fixe la fréquence à 60 Hz et on met l'amplitude à 300 mV :

Lorsque le haut parleur est soumis à une tension sinusoïdale, la bobine mobile est repoussée vers l'extérieur jusqu'à atteindre la valeur crête positive, puis elle marque un temps d'arrêt ensuite elle est attirée vers l'intérieur jusqu'à atteindre la valeur crête négative. La photodiode reçoit d'abord le signal traduisant le mouvement vers l'extérieur du haut parleur ; Lorsqu'il atteint sa valeur crête, le signal de la photodiode change complètement, cela se traduit par un temps d'arrêt du haut parleur, puis il revient à ce qu'il était avec une légère inclinaison et cette dernière renvoie au sens du mouvement du haut parleur comme indiqué dans la figure ci-dessous.



**FIGURE 4.6: SIGNAL DE SORTIE POUR UNE AMPLITUDE DE 300mV**

Dans cette figure, il nous est possible de déterminer le nombre d'interférence constructive et destructive que la photodiode subit en comptant le nombre de crête lorsque le haut parleur est en mouvement. Les crêtes présentes dans le carré rouge sont au nombre de

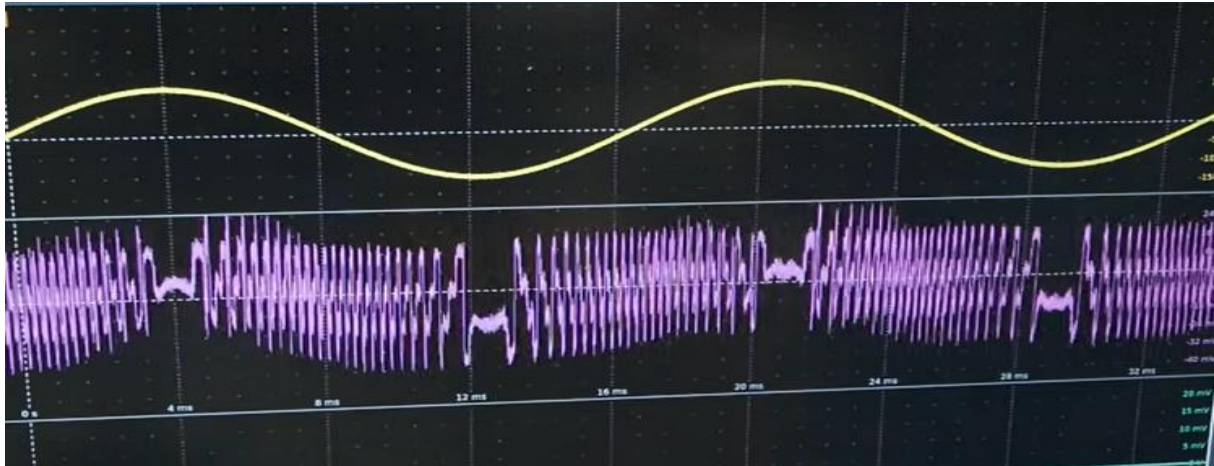


14 donc nous avons 14 interférences constructives et destructives. Ce nombre permet de déduire la distance parcourue par la cible.

Soit:  $\lambda/2 * 14 = 785/2 * 14 = 5495\text{nm} = 5,495\mu\text{m}$

La cible se déplace de  $5,495\mu\text{m}$  que ce soit vers l'avant ou l'arrière de sa position initiale.

- Pour une fréquence de 60 Hz et une amplitude de 500 mV :

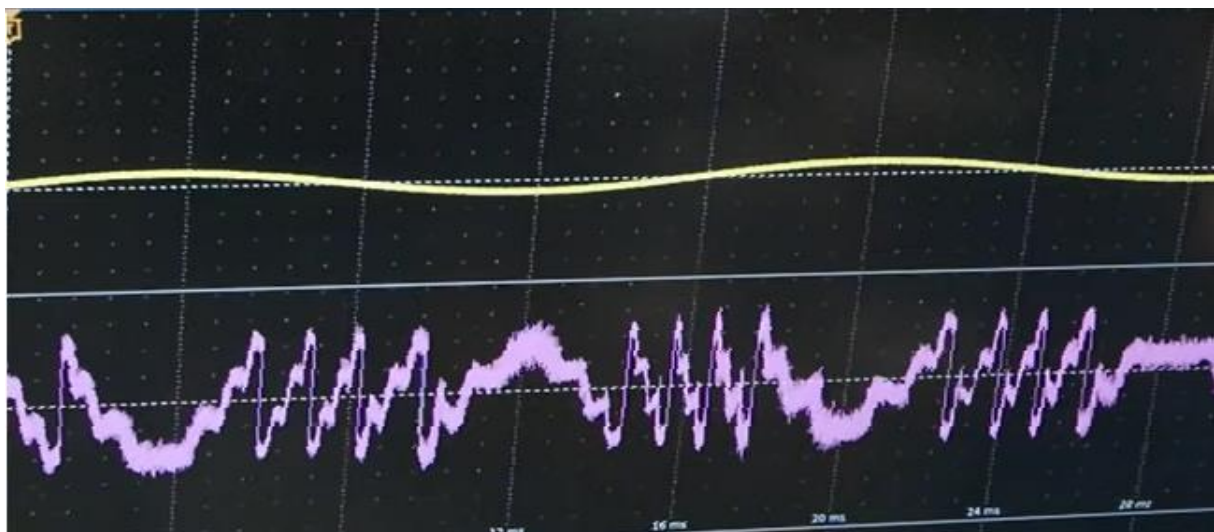


**FIGURE 4.7: SIGNAL DE SORTIE POUR UNE AMPLITUDE DE 500mV**

En augmentant l'amplitude à 500 mV, nous remarquons que le nombre d'interférences constructives et destructives a augmenté et a passé à 23.

Donc la membrane du haut parleur s'est déplacée de :  $785/2 * 23 = 902705 \text{ nm} \cong 0.902\text{mm}$ .

- Pour une fréquence de 60 Hz et une amplitude de 100 mV :



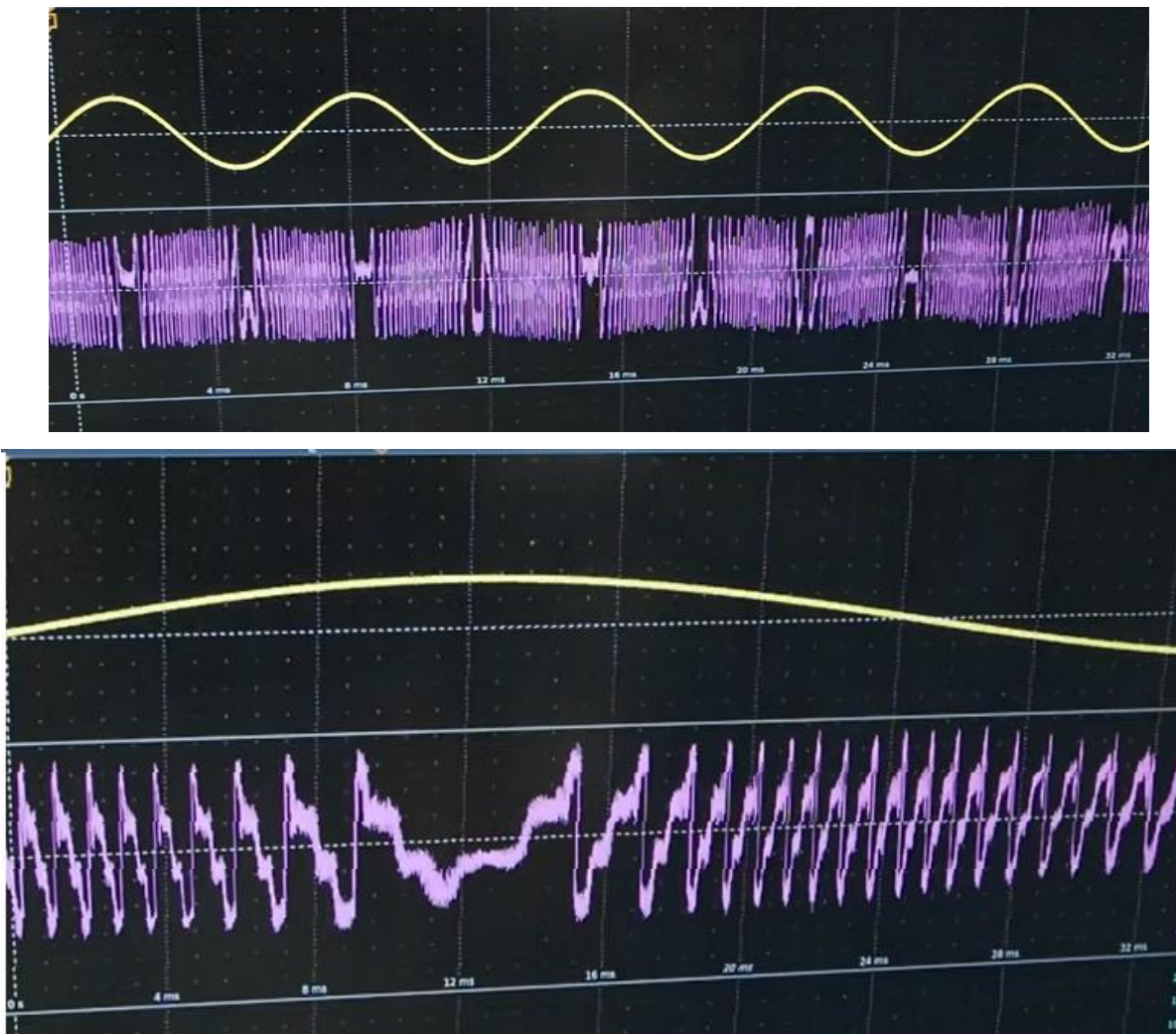
**FIGURE 4.8: SIGNAL DE SORTIE POUR UNE AMPLITUDE DE 100mV**

En diminuant l'amplitude à 100mV, nous remarquons que le nombre d'interférences constructives et destructives a diminué et est passé au nombre de 4.

Donc, la cible s'est déplacée de :  $785/2*4=1570 \text{ nm} = 1,57\mu\text{m}$ .

➤ Comportement du système par rapport à la fréquence :

On remarque que lorsqu'on augmente ou on diminue la fréquence du haut parleur, le nombre d'interférences constructives et destructives ainsi que le déplacement du haut parleur ne change point. Ce qui change est le temps de déplacement, c'est-à-dire la vitesse.



**FIGURE 4.9: SIGNAL DE SORTIE PAR RAPPORT A LA FREQUENCE**

### **Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons réalisé un capteur de déplacement puis on a déduit qu'il existait une relation proportionnelle entre le nombre de pics qui traduisent le déplacement et l'amplitude en tension de l'haut parleur qui agit sur l'allongement et la compression de la bobine mobile. En ce qui concerne la fréquence, cette dernière n'influence pas la distance de la cible mais sa vitesse de déplacement.

# CONCLUSION GENERALE

## Conclusion Générale

Dans ce mémoire, le phénomène de self-mixing, parfois considéré comme parasite, a été utilisé à la mesure de déplacements. Il est possible de réaliser des capteurs basés sur le phénomène de "self-mixing" composés d'une seule diode laser et de sa photodiode associée et permettant de mesurer des déplacements, des distances et des vitesses. Ces capteurs sont naturellement auto-alignés et sans contact. En outre, l'usage de sources lasers grand public offre une garantie de faible coût. D'autre part, le phénomène de "self-mixing" étant basé sur un modèle à faible couplage, ces capteurs fonctionnent, même pour des cibles diffusantes. Le capteur de déplacements par "self-mixing" permet donc, comme son nom l'indique, de caractériser des déplacements. Ainsi, il est possible de reconstituer la loi du mouvement de l'objet pointé par le faisceau laser et de connaître son sens de déplacement. Nous pouvons également nous intéresser à l'analyse modale de cette cible, en déterminant ses fréquences de résonance et ses vecteurs modaux. Par ailleurs, il est possible de faire une détection de défauts sur cet objet.

Pour ce qu'est des perspectives de continuation, plusieurs voies peuvent être envisagées, à titre indicatif et non exhaustif, nous proposons d'examiner et de développer les points suivants :

- ✓ Utiliser une lame séparatrice de l'ordre de  $1/4$ ,  $1/8$ ,.... Pour des mesures encore plus précises.
- ✓ Utiliser une cible plate, lisse et réfléchissante pour limiter l'effet speckle et ainsi avoir une précision optimale.
- ✓ Ajouter une carte d'acquisition et un afficheur pour donner directement la distance.
- ✓ Intégrer des éléments d'isolations au capteur pour réduire les perturbations extérieures.
- ✓ Apporter des modifications au capteur pour être utilisé comme moyen d'étude surfacique grâce à l'effet speckle.

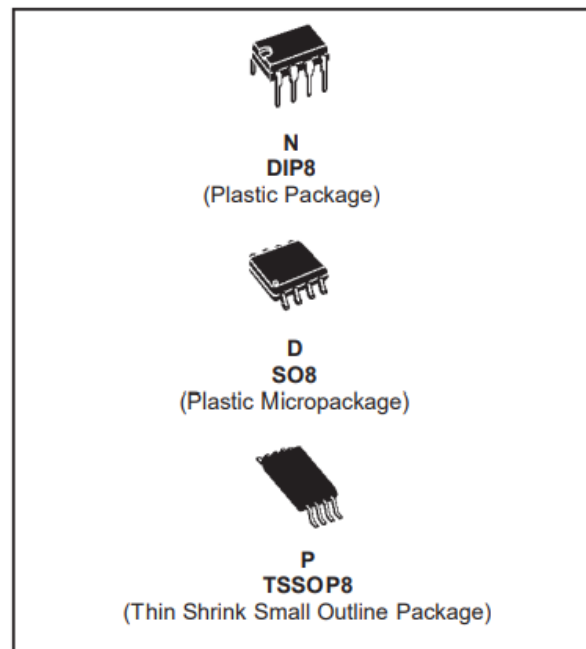
En conclusion, nous souhaitons vraiment que ce projet puisse servir comme élément de base pour d'autres études plus approfondies.

# ANNEXES

## Annexe1

# GENERAL PURPOSE J-FET DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE COMMON-MODE (UP TO  $V_{CC}^+$ ) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE :  $16V/\mu s$  (typ)

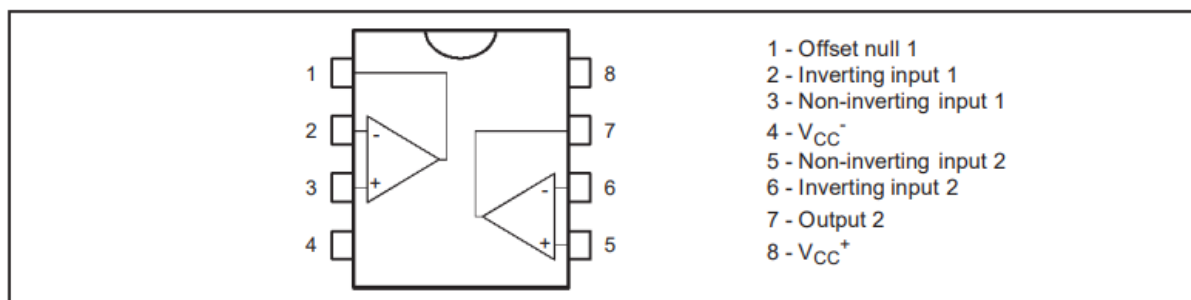


### DESCRIPTION

The TL082, TL082A and TL082B are high speed J-FET input dual operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset current, and low offset voltage temperature coefficient.

### PIN CONNECTIONS (top view)



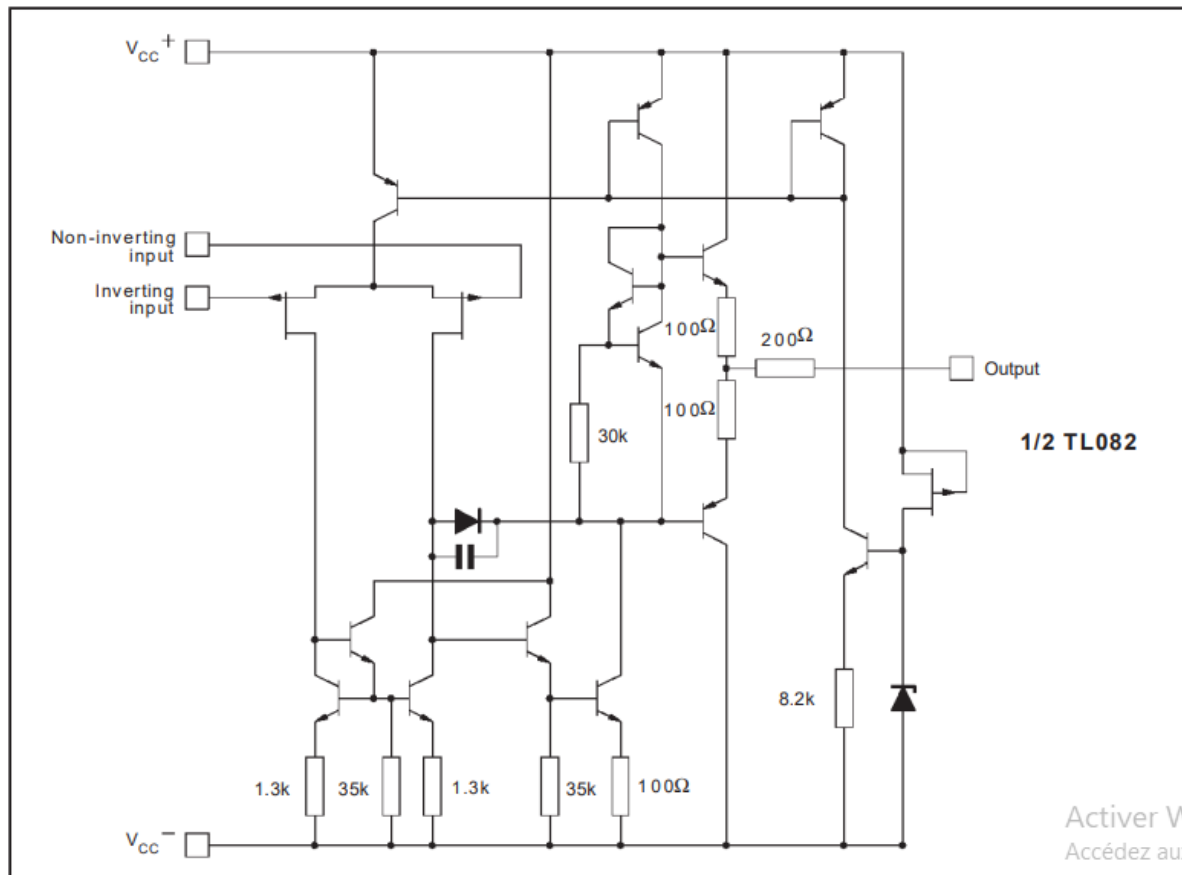
### ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
TL082M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•	•
TL082I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•	•
TL082C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•	•

**Example :** TL082CD, TL082IN

**N** = Dual in Line Package (DIP)  
**D** = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)  
**P** = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

## SCHEMATIC DIAGRAM



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	TL082M, AM, BM	TL082I, AI, BI	TL082C, AC, BC	Unit
$V_{CC}$	Supply voltage - note <sup>1)</sup>	±18			V
$V_i$	Input Voltage - note <sup>2)</sup>	±15			V
$V_{id}$	Differential Input Voltage - note <sup>3)</sup>	±30			V
$P_{tot}$	Power Dissipation	680			mW
	Output Short-circuit Duration - note <sup>4)</sup>	Infinite			
$T_{oper}$	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
$T_{stg}$	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between  $V_{CC}^+$  and  $V_{CC}^-$ .
2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
3. Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.



### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC} = \pm 15V$ ,  $T_{amb} = +25^{\circ}C$  (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	TL082I,M,AC,AI,AM, BC,BI,BM			TL082C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
$V_{io}$	Input Offset Voltage ( $R_S = 50\Omega$ ) $T_{amb} = +25^{\circ}C$		3	10		3	10	mV
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		3 1	6 3 13 7 5			13	
$DV_{io}$	Input Offset Voltage Drift		10			10		$\mu V/^{\circ}C$
$I_{io}$	Input Offset Current - note 1) $T_{amb} = +25^{\circ}C$		5	100		5	100	pA nA
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$			4		10		
$I_{ib}$	Input Bias Current -note 1 $T_{amb} = +25^{\circ}C$		20	200		20	400	pA nA
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$			20		20		
$A_{vd}$	Large Signal Voltage Gain ( $R_L = 2k\Omega$ , $V_o = \pm 10V$ ) $T_{amb} = +25^{\circ}C$	50	200		25	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ( $R_S = 50\Omega$ ) $T_{amb} = +25^{\circ}C$	80	86		70	86		dB
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80			70			
$I_{CC}$	Supply Current, no load $T_{amb} = +25^{\circ}C$		1.4	2.5		1.4	2.5	mA
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$			2.5			2.5	
$V_{icm}$	Input Common Mode Voltage Range	$\pm 11$	+15 -12		$\pm 11$	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ( $R_S = 50\Omega$ ) $T_{amb} = +25^{\circ}C$	80	86		70	86		dB
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80			70			
$I_{os}$	Output Short-circuit Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$	10	40	60	10	40	60	mA
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	10		60	10		60	
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$		10	12		10	12	V
	$RL = 2k\Omega$		12	13.5		12	13.5	
	$RL = 10k\Omega$		10			10		
	$RL = 2k\Omega$		10			10		
SR	Slew Rate ( $T_{amb} = +25^{\circ}C$ ) $V_{in} = 10V$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , unity gain	8	16		8	16		V/ $\mu s$
	$RL = 10k\Omega$							
$t_r$	Rise Time ( $T_{amb} = +25^{\circ}C$ ) $V_{in} = 20mV$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , unity gain		0.1			0.1		$\mu s$

## Annexe 2

### Absolute Maximum Ratings ( $T_C = 25^\circ\text{C}$ )

Item	Symbol	Rated Value	Unit
Optical output power	$P_O$	50	mW
Pulse optical output power	$P_{O(pulse)}$	60*1	mW
LD reverse voltage	$V_{R(LD)}$	2	V
PD reverse voltage	$V_{R(PD)}$	30	V
Operating temperature	$T_{opr}$	-10 to +60	$^\circ\text{C}$
Storage temperature	$T_{stg}$	-40 to +85	$^\circ\text{C}$

Note: 1. Maximum 50% duty cycle, maximum 1  $\mu\text{s}$  pulse width

### Optical and Electrical Characteristics ( $T_C = 25^\circ\text{C}$ )

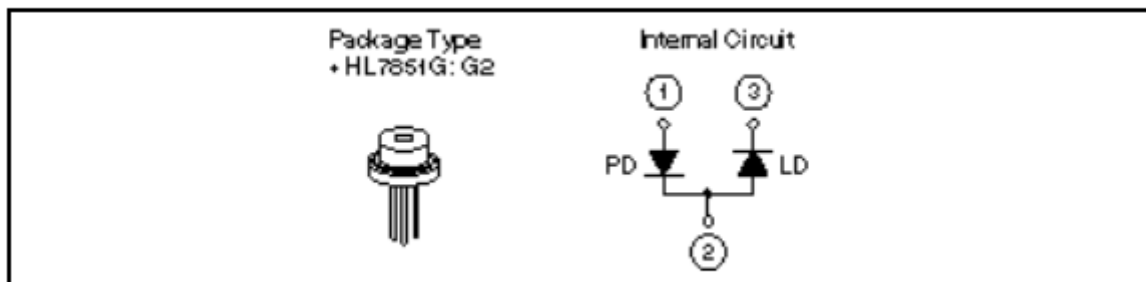
Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
Optical output power	$P_O$	50	—	—	mW	Kink free
Threshold current	$I_{th}$	—	45	70	mA	
Slope efficiency	$\eta$	0.35	0.55	0.7	mW/mA	40 mW/ $I_{(45\text{ mW})} - I_{(5\text{ mW})}$
Operating current	$I_{op}$	—	140	170	mA	$P_O = 50\text{ mW}$
LD Operating voltage	$V_{op}$	—	2.3	2.7	V	$P_O = 50\text{ mW}$
Lasing wavelength	$\lambda_p$	775	785	795	nm	$P_O = 50\text{ mW}$
Beam divergence (parallel)	$\theta_{//}$	8	9.5	12	deg.	$P_O = 50\text{ mW}$ , FWHM
Beam divergence (perpendicular)	$\theta_{\perp}$	18	23	28	deg.	$P_O = 50\text{ mW}$ , FWHM
Monitor current	$I_s$	25	—	150	$\mu\text{A}$	$P_O = 5\text{ mW}$ , $V_{R(PD)} = 5\text{ V}$
Astigmatism	$A_s$	—	5	—	$\mu\text{m}$	$P_O = 5\text{ mW}$ , NA = 0.4

## Description

The HL7851G is a high power 0.78  $\mu\text{m}$  band GaAlAs laser diode with a multi-quantum well (MQW) structure. It is suitable as a light source for optical disk memories, levelers and various other types of optical equipment. Hermetic sealing of the package assures high reliability.

## Features

- Visible light output:  $\lambda_p = 785 \text{ nm Typ}$
- Small beam ellipticity: 9.5:23
- High output power: 50 mW (CW)
- Built-in monitor photodiode

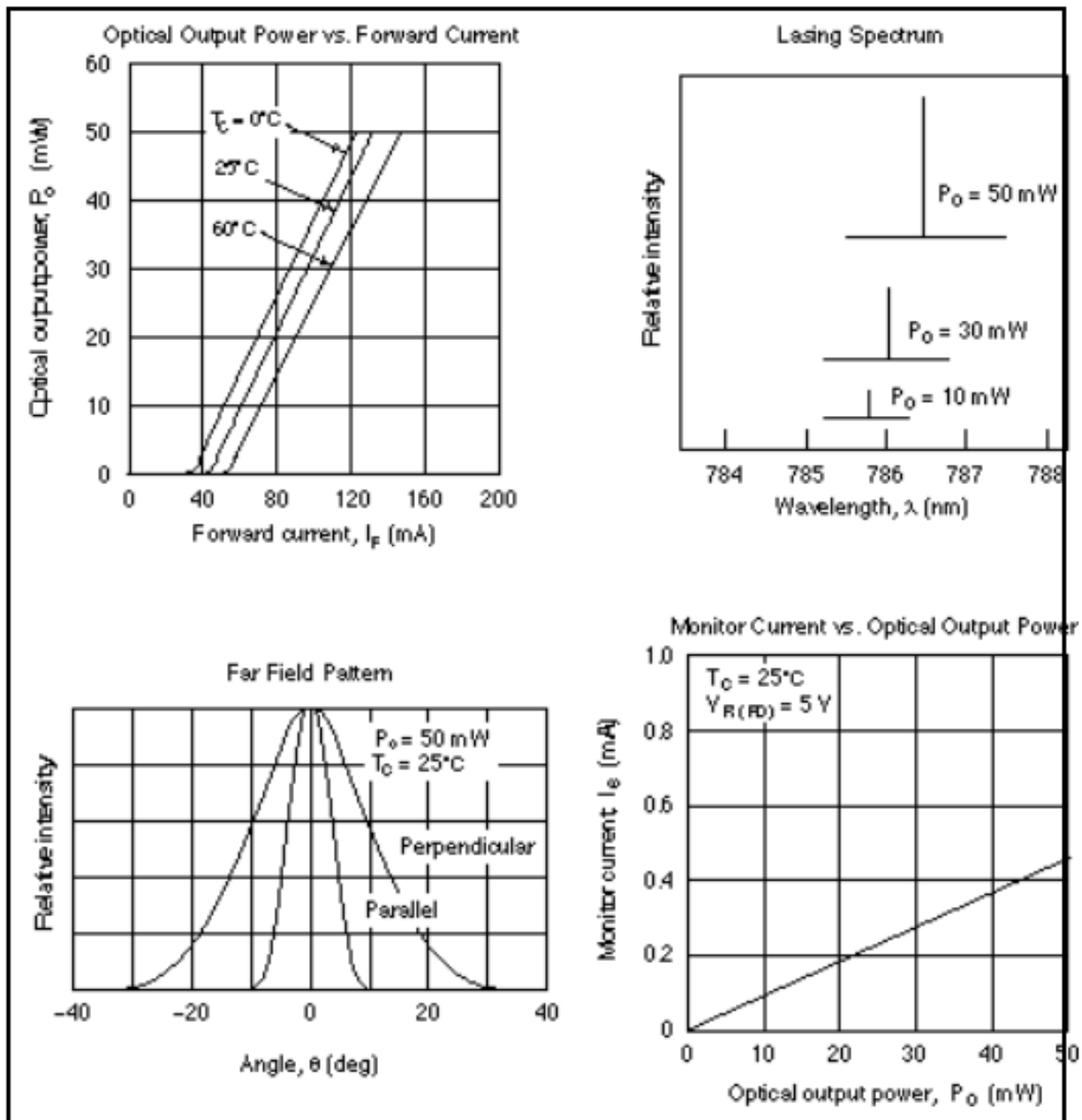


## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

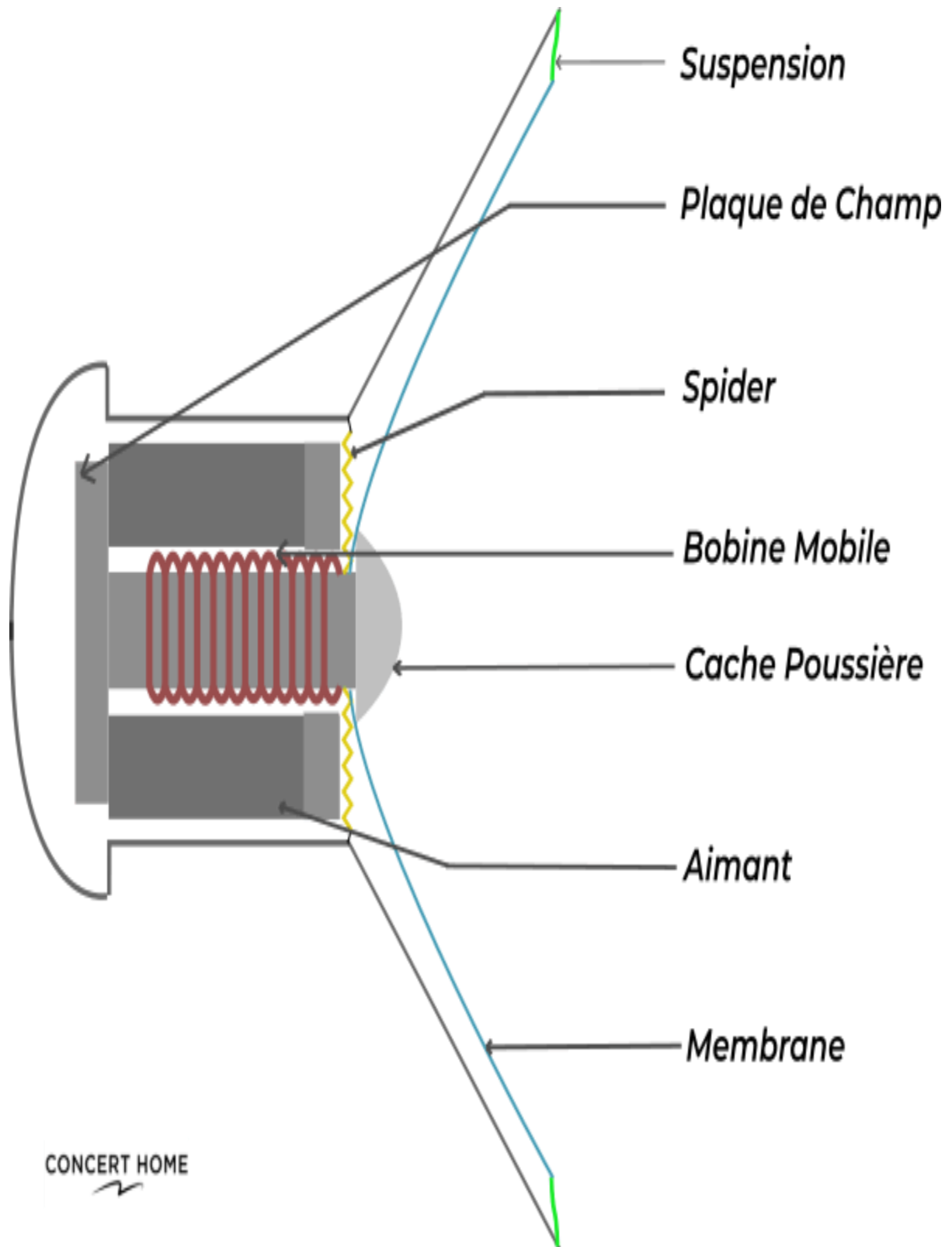
Symbol	Parameter	TL082M, AM, BM	TL082I, AI, BI	TL082C, AC, BC	Unit
$V_{CC}$	Supply voltage - note <sup>1)</sup>	$\pm 18$			V
$V_i$	Input Voltage - note <sup>2)</sup>	$\pm 15$			V
$V_{id}$	Differential Input Voltage - note <sup>3)</sup>	$\pm 30$			V
$P_{tot}$	Power Dissipation	680			mW
	Output Short-circuit Duration - note <sup>4)</sup>	Infinite			
$T_{oper}$	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	$^{\circ}\text{C}$
$T_{stg}$	Storage Temperature Range	-65 to +150			$^{\circ}\text{C}$

1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between  $V_{CC}^+$  and  $V_{CC}^-$ .
2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
3. Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded

## Typical Characteristic Curves

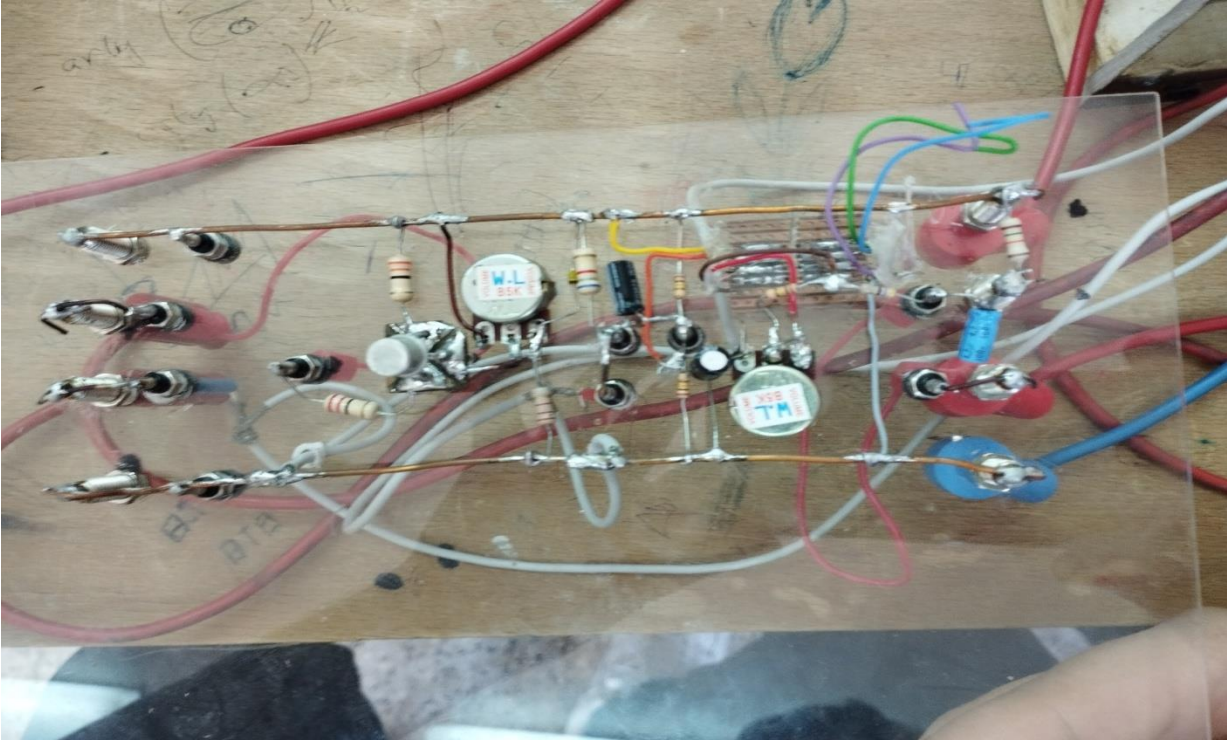
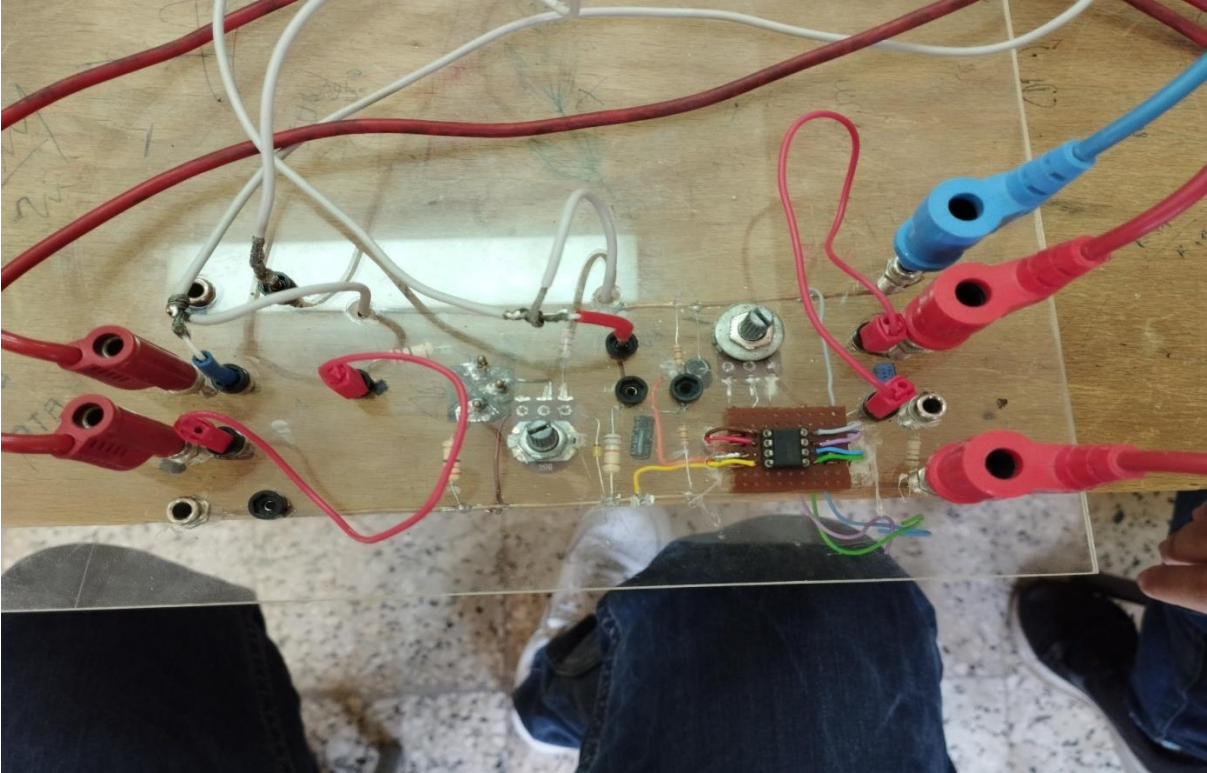


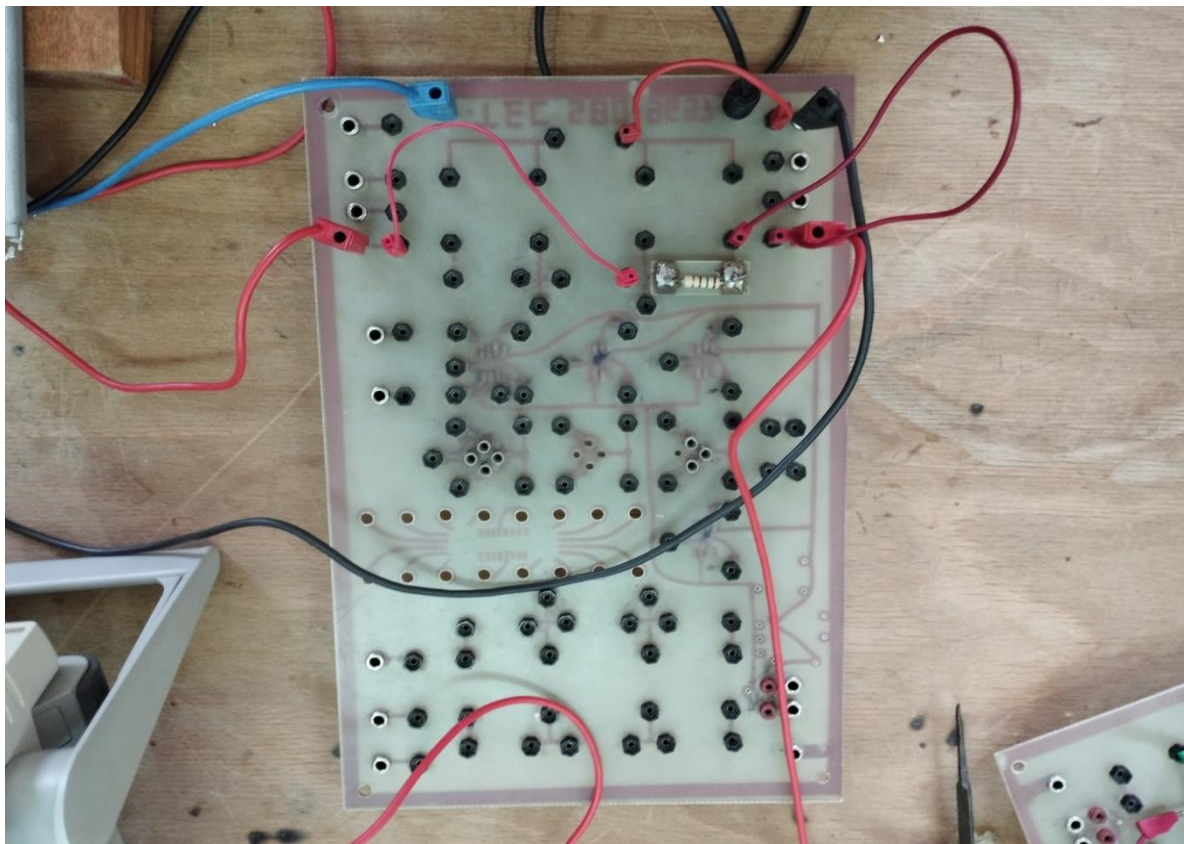
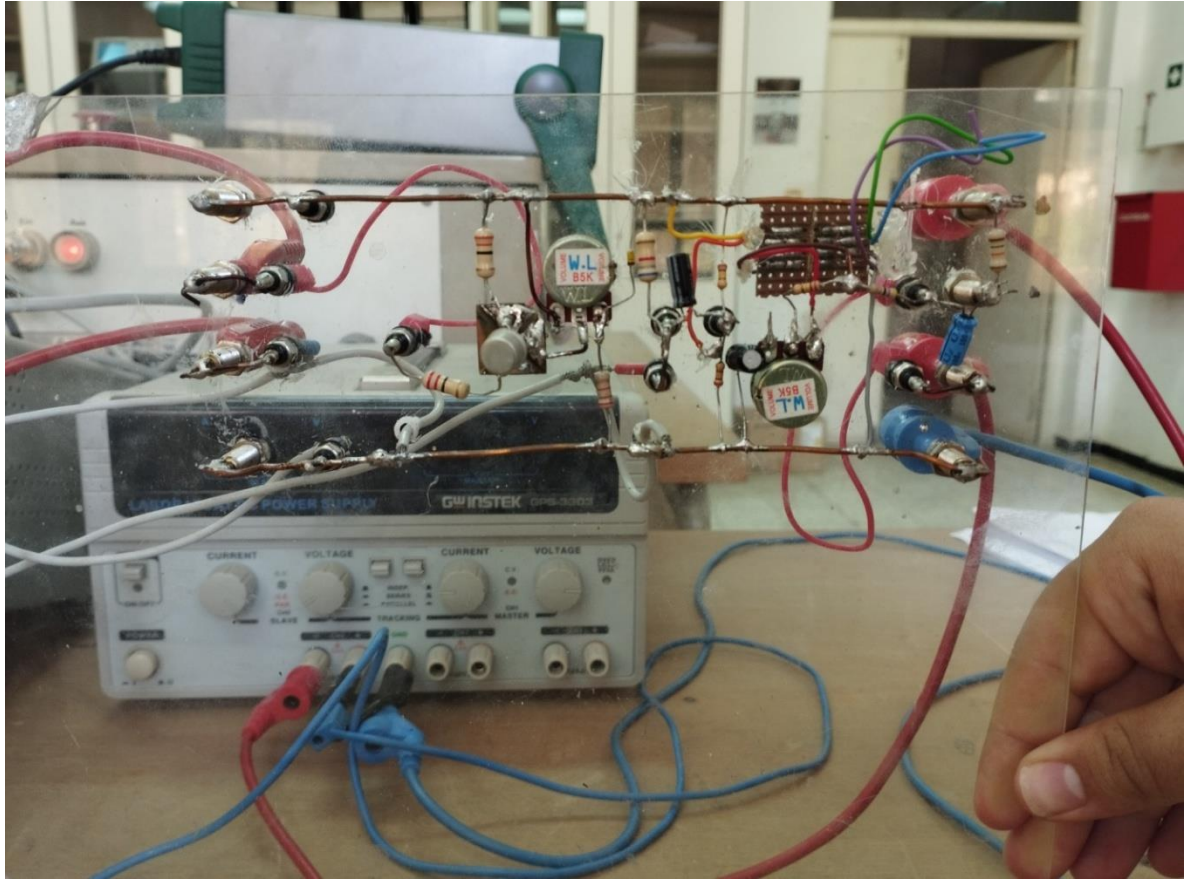
Annexe 3

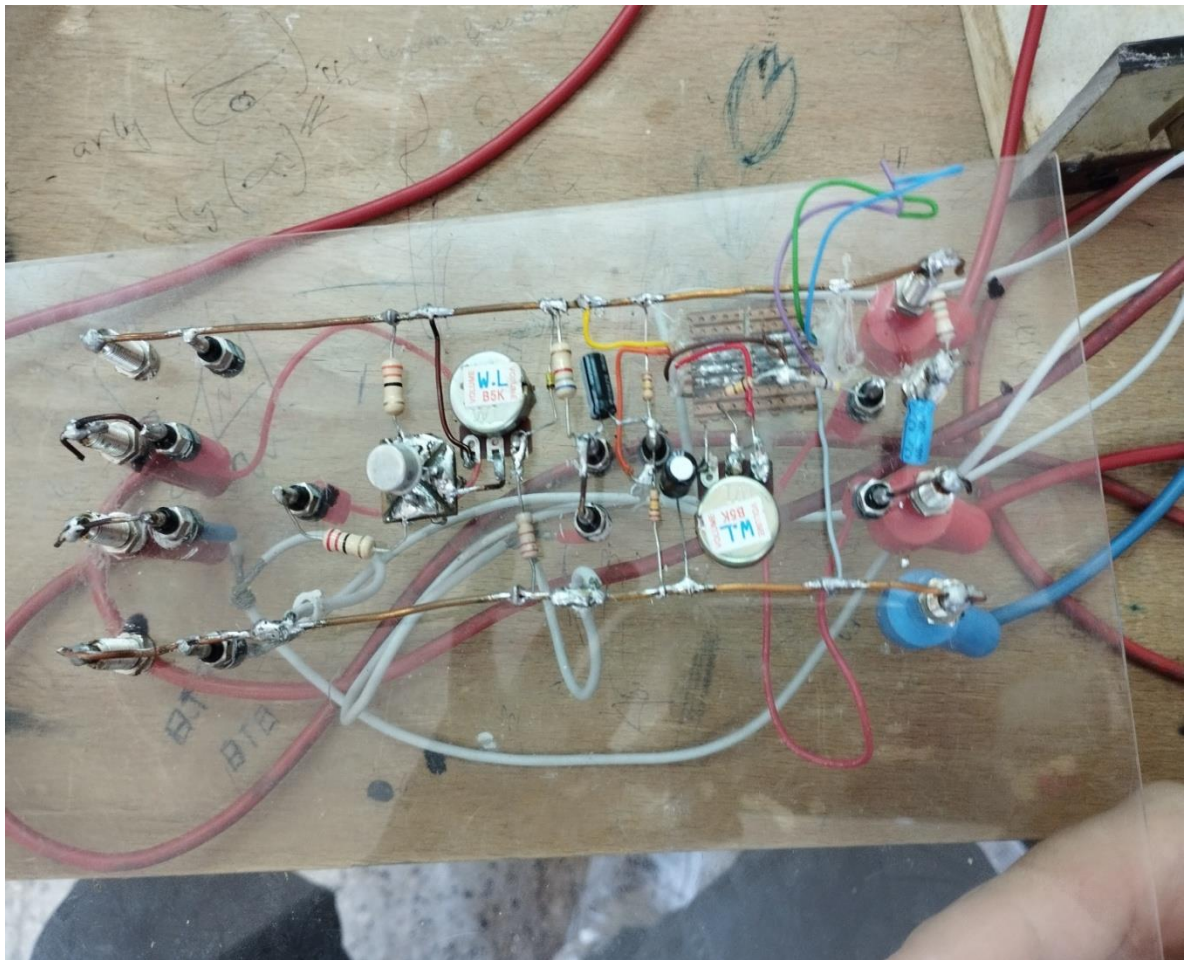
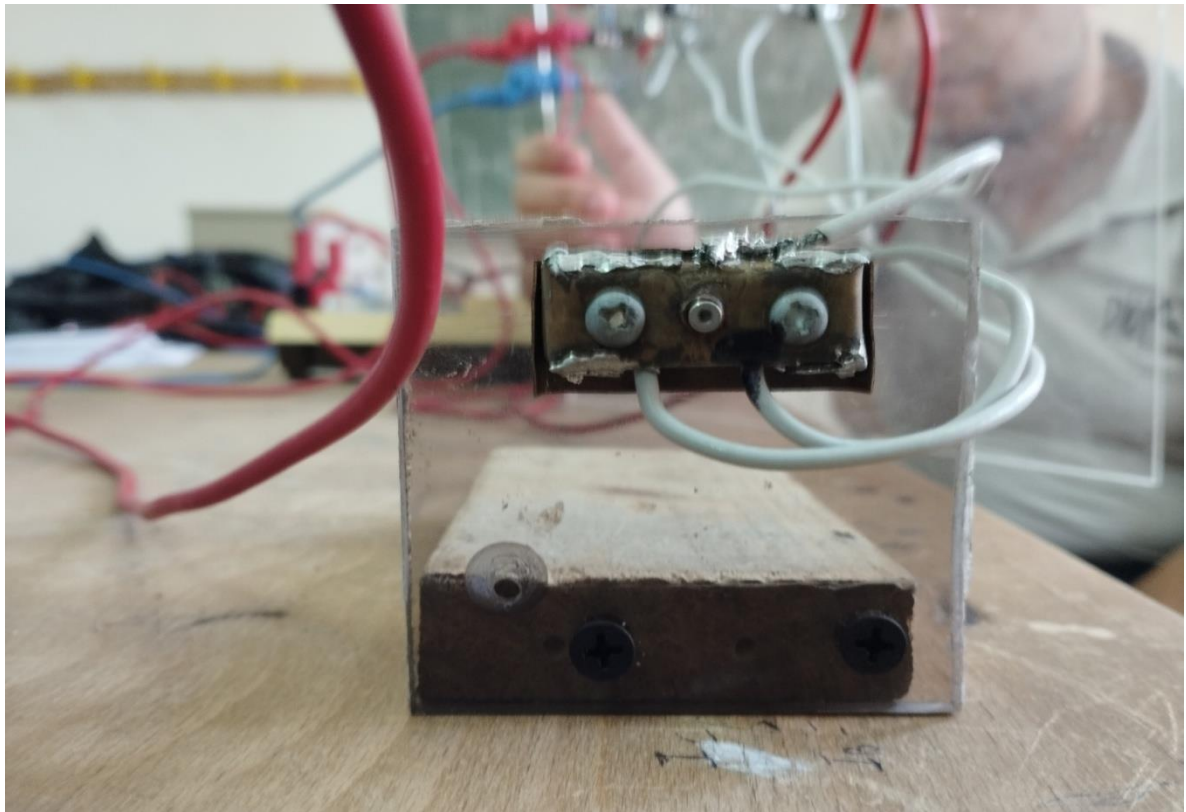


CONCERT HOME

Annexe 4









**BIBLIOGRAPHIE  
ET  
WEBOGRAPHIE**

## **Bibliographie et Webographie**

- [1] : <https://www.renishaw.fr/fr/explication-de-linterferometrie--7854> [12/05/2022 14:32]
- [2]: [https://elearn.univ-tlemcen.dz/pluginfile.php/112342/mod\\_resource/content/1/chapitre%203%20LASER%20opto%20C3%A9lectronique.pdf](https://elearn.univ-tlemcen.dz/pluginfile.php/112342/mod_resource/content/1/chapitre%203%20LASER%20opto%20C3%A9lectronique.pdf) [13/05/2022 11 :59]
- [3] : <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-interferometrie-2513/>  
[10/05/2022 20 :18]
- [4]: [http://php.iai.heig-vd.ch/~lzo/optique/trd\\_09/TRD%20Verna%20Interferometres.pdf](http://php.iai.heig-vd.ch/~lzo/optique/trd_09/TRD%20Verna%20Interferometres.pdf)  
[04/09/2022 15 :22]
- [ 5] P.G.R. King & G.J. Steward, "Metrology with an optical maser", *New Scientist* 17, 180 (1963).
- [ 6] M.J. Rudd, "A laser Doppler velocimeter employing the laser as a mixer-oscillator", *Journal of Physics E1*, 723-726 (1968).
- [ 7] J.H. Churnside, "Laser Doppler velocimetry by modulating a CO2 laser with backscattered light", *Applied Optics* 23(1), 61-66 (1984).
- [ 8] J.H. Churnside, "Signal-to-noise in a backscatter-modulated Doppler velocimeter ", *Applied Optics* 23(13), 2097-2101 (1984).
- [ 9] A. Dandridge, R.O. Miles & T.G. Giallorenz, "Diode laser sensors", *Electronics Letters* 16, 948-949 (1980).
- [ 10] T. Bosch, C. Bes, L. Scalise, G. Plantier, "Optical Feedback Interferometry", *Encyclopedia of Sensors*, vol. 7, pp 107-126, American Scientific Publishers, USA, (2006).
- [ 11] S. Donati, "Electro-Optical Instrumentation: Sensing and Measuring with Lasers", Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, ch. 4, (2004).
- [ 12] T. Bosch, "An overview of self-mixing applications", *IEEE COMMAD04 invited paper*, (2004).
- [ 13] G. Giuliani, M. Norgia, S. Donati and T. Bosch, "Laser diode self-mixing technique for sensing applications", *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, Vol. 4, pp. 283-294, (2002).
- [ 14] G. Giuliani, S. Donati, "Laser interferometry", *Unlocking dynamical diversity: optical feedback effects on semiconductor lasers*, D. M. Kane and K.A. Shore, Ed. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, pp. 217-256, (2005).
- [ 15] K. Otsuka, T. Ohtomo, H. Makino, S. Sudo, and J.Y. Ko, "Net motion of an ensemble of

many Brownian particles captured with a self-mixing laser”, *Applied Physics Letters*, Vol. 94, Issue 24, pp. 241117 - 241117-3, (2009). *Optimisation of a Self-mixing Laser Displacement Sensor*

[ 16] D. Larsson, A. Greve, J. Hvam, A. Boisen, K. Yvind, “Self-mixing interferometry in verticalcavity surface-emitting lasers for nanomechanical cantilever sensing”, *Applied Physics Letters*, Vol. 94, Issue 9, pp. 091103 - 091103-3, (2009)

[ 17] Christian Zakian and Mark Dickinson, “Laser Doppler imaging through tissues phantoms by using self-mixing interferometry with a laser diode”, *Optics Letters*, Vol. 32, No. 19, pp 2798-2800, (2007).

[ 18] G. Mourat, “Etude de diodes laser pour des applications métrologique de la rétro-injection optique ”, PHD INPT; No: 1561, (2006).

[ 19] Yah Leng Lim, K. Bertling, Pierre Rio, J. R. Tucker, A. D. Rakić, “Displacement and Distance Measurement using the Change in Junction Voltage across a Laser Diode due to the SelfMixing Effect”, *Proceedings of SPIE 6038*, pp.378-387 (2006).

[ 20] Kliese, R.; Yah Leng Lim; Bertling, K.; Bakar, A.A.A.; Bosch, T.; Rakic, A.D. , “Self-mixing displacement sensing using the junction voltage variation in a GaN laser” *Proceedings of the 2008 IEEE Conference on Optoelectronic and Microelectronic, Materials and Devices*, pp 23-25, (2008)

[21]: J. G. Webster, *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*, crc press ed., 1998.

[22] J. G. Webster, *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*, crc press ed., 1998

[23] B. E. A. Saleh and M. C. Teich, *Fudamentals of photonics*, j.w. goodman ed., ser. Wiley series in Pure and Applied Optics.

[24] <https://www.techno-science.net/definition/2936.html> [05/09/2022 01:08]

[25] <https://fr.sawakinome.com/articles/science/difference-between-constructive-and-destructive-interference.html> [05/09/2022 14:47]

[26] <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0906/0906.3612.pdf> [06/09/2022 00:33]

[27] [http://www.obshp.fr/lumiere/page15.html#:~:text=Les%20ondes%20lumineuses%20\(ou%20sonores,grand%20dans%20la%20direction%20oppos%C3%A9e.](http://www.obshp.fr/lumiere/page15.html#:~:text=Les%20ondes%20lumineuses%20(ou%20sonores,grand%20dans%20la%20direction%20oppos%C3%A9e.) [06/09/2022 03 :12]

[28] <https://core.ac.uk/download/pdf/19938005.pdf> [06/09/2022 14 :11]

[29] <https://www.thorlabs.com/thorproduct.cfm?partnumber=HL7851G> [22/06/2022 09 :42]

[30] [w.ti.com/lit/ds/symlink/tl082n.pdf?ts=1663146132268&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](http://w.ti.com/lit/ds/symlink/tl082n.pdf?ts=1663146132268&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F) [10/09/2022 23 :43]

## RESUME

Dans ce mémoire nous avons soulevé l'utilité du phénomène self mixing dans le domaine de la métrologie et les avantages qu'il peut apporter pour les mesures précises malgré son indésirabilité dans le domaine des télécommunications, nous avons fait l'étude de la détection homodyne (ou rétro injection optique, ou self-mixing) appliquée à la mesure du déplacement .

L'objectif de ce mémoire est de réaliser un montage, en se basant sur le principe de la rétro injection optique en utilisant une diode laser qui émet des ondes cohérentes de tel sorte que celles ci se réfléchissent sur une cible et retro injectées dans la cavité laser pour créer ainsi des interférences au niveau de la cavité , l'onde résultante est traduite en courant par la réception, à noter que la diode laser et la photo diode sont intégrées dans un même boîtier. Une électronique analogique adéquate permet l'extraction du signal de la photo diode pour ensuite l'amplifier afin d'avoir un signal exploitable et le visualiser sur oscilloscope. Les signaux observés grâce au essais réalisés nous ont permis donc de déterminer la distance parcourue par la cible à une précision de l'ordre du nanomètre.

## ملخص

لقد رفعا في هذه الذاكرة فائدة ظاهرة الخلط الذاتي في مجال المترولوجيا والمزايا التي يمكن أن تحققها للقياسات الدقيقة على الرغم من عدم رغبتها في مجال الاتصالات السلكية واللاسلكية ، قمنا بدراسة الكشف عن التجانس (أو البصري).

.الحقن الرجعي ، أو الخلط الذاتي) المطبق على قياس الإزاحة

الهدف من هذه الرسالة هو إنشاء تجميع ، بناءً على مبدأ الحقن البصري الرجعي باستخدام الصمام الثنائي الليزري الذي يصدر موجات متماسكة بحيث تنعكس على الهدف ويتم حقنه في التجويف. من التجويف ، يتم ترجمة الموجة الناتجة إلى تيار من خلال الاستقبال ، لاحظ أن الصمام الثنائي الليزري والصمام الثنائي الضوئي متكاملين في نفس الصندوق. تسمح الإلكترونيات التناظرية الملائمة باستخراج الإشارة من الصمام الثنائي للصور ثم تضخيمها من أجل الحصول على إشارة قابلة للاستخدام وعرضها على مرسمة الذبذبات. وبالتالي ، فإن الإشارات التي تمت ملاحظتها بفضل الاختبارات التي تم إجراؤها مكنتنا من تحديد المسافة التي يقطعها الهدف بدقة مقدارها نانومتر

## **ABSTRACT**

In this memory we raised the usefulness of the phenomenon self mixing in the field of metrology and the advantages which it can bring for the precise measurements in spite of its undesirability in the field of telecommunications, we made the study of the homodyne detection (or optical retro injection, or self-mixing) applied to displacement measurement .

The objective of this thesis is to create an assembly, based on the principle of optical retro injection using a laser diode which emits coherent waves so that they are reflected on a target and retro injected into the cavity. laser to thus create interference at the level of the cavity, the resulting wave is translated into current by the reception, note that the laser diode and the photodiode are integrated in the same box. Adequate analog electronics allow the signal to be extracted from the photo diode and then amplified in order to have a usable signal and view it on an oscilloscope. the signals observed thanks to the tests carried out therefore enabled us to determine the distance traveled by the target to an accuracy of the order of a nanometer.