Section de Génie Optique
option Photonique
5 rue Jean Mermoz
68300 SAINT-LOUIS

7, Rue du Général Cassagnou
68300 ST LOUIS

Rapport de projet

Mesure de microdéplacement et profilométrie laser par retroinjection

Sujet proposé par :
Monsieur Chambard
Holo 3

Nom des étudiants :
Jost Julien
Daviller Rémi

I. Cahier des charges fonctionnel

A. Analyse du besoin

1) Saisie du besoin

Le but du projet est de faire une étude de faisabilité des systèmes par self-mixing. Autrement dit, il faudra étudier les possibilités de mesure offertes par la méthode de rétroinjection en la testant dans plusieurs cas (profilométrie, mesure de micro-déplacement, vélocimétrie).

2) Enoncé du besoin

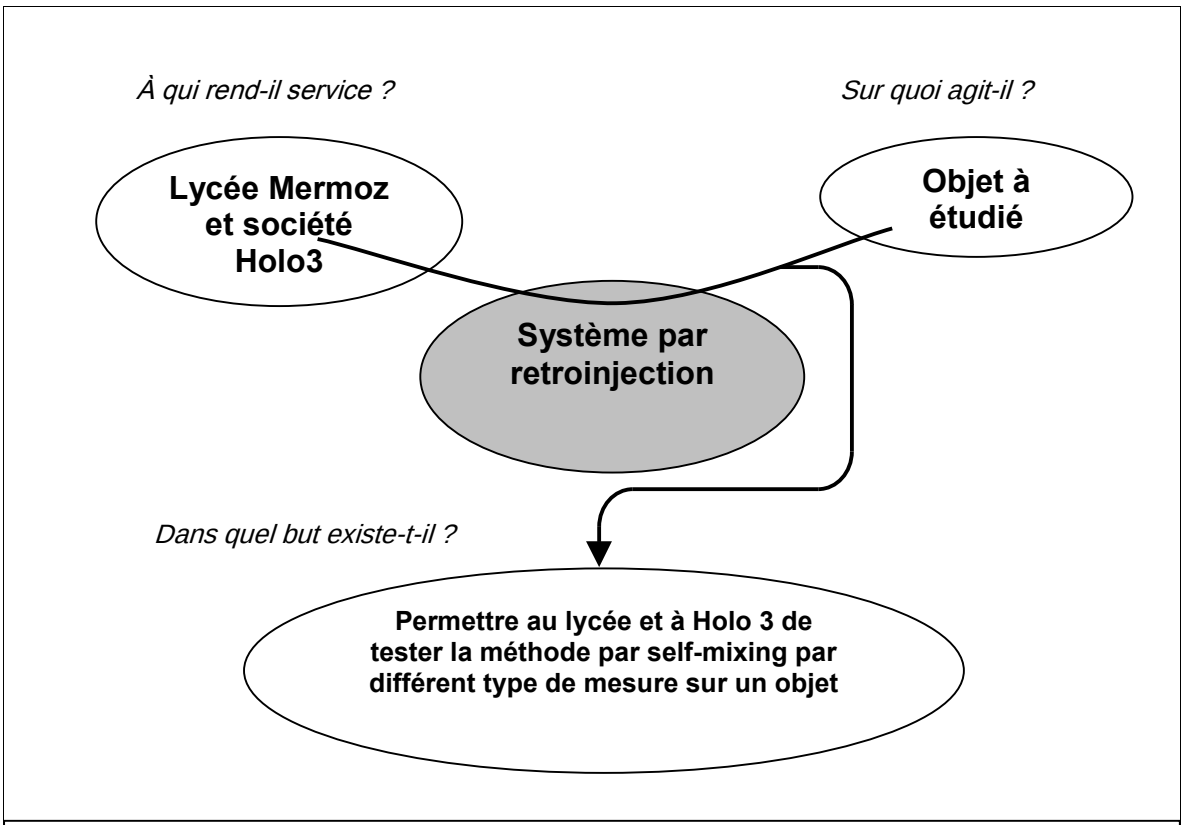


Figure 1 : Diagramme « bête à corne »

3) Validation du besoin

Pourquoi ce besoin existe-t-il ?
Parce que le système devrait être plus facile d'utilisation, moins coûteux et plus précis que les systèmes existants

Qu'est-ce qui peut le faire évoluer ?
Augmentation de la résolution

Qu'est ce qui peut le faire disparaître ?
La technologie laser est interdite par la norme
Le besoin est donc bien validé

Caractéristique	Critères	Niveaux - Limites
Mesurer	Distance et sens Fréquence	Quelques micromètres Précision : exigence d'holo3
Objet	Dimension Matière	10cm/10cm + ou - réfléchissante

1) Analyse fonctionnelle

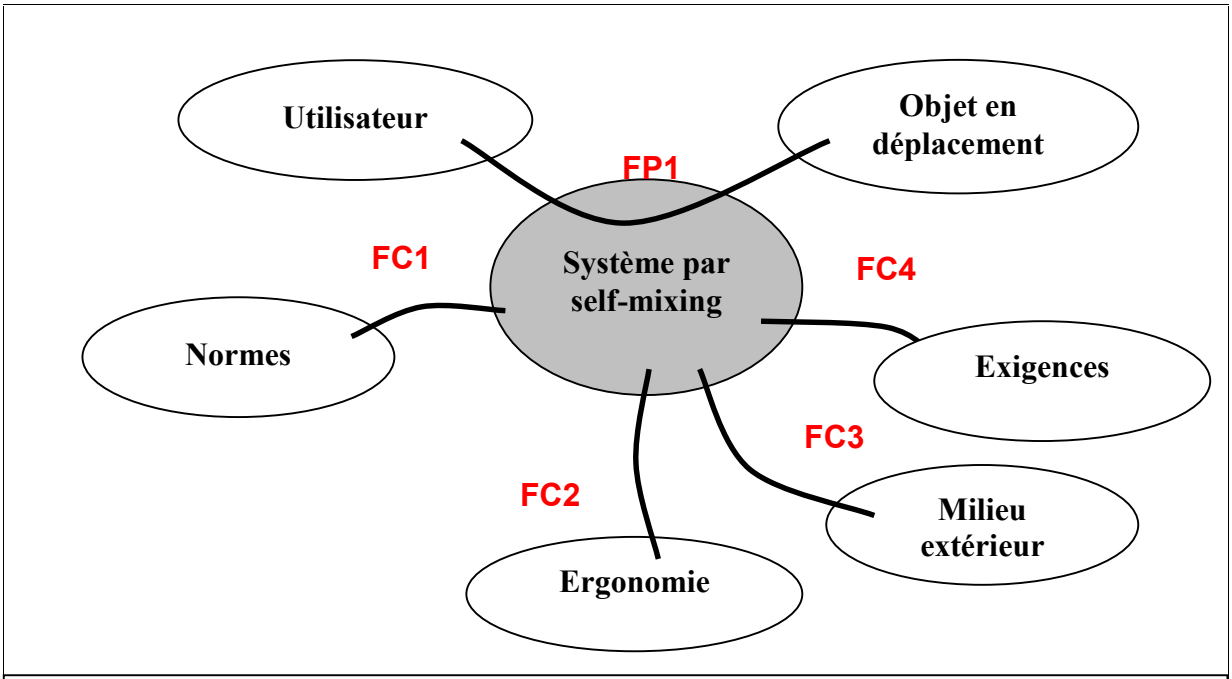


Figure 2 : Diagramme pieuvre

Fonctions principales :

FP1 : Mesurer des micro-déplacements ou/et la vitesse d'un objet par rétroinjection laser.
Etablir le profil d'un objet par self-mixing

Fonctions contraintes :

FC1 : Respecter les normes de sécurité en vigueur
FC2 : Etre facile d'utilisation
FC3 : Résister au milieu ambiant
FC4 : S'adapter aux nouvelles exigences

2) Critères et niveaux

FP1 : Mesurer des micro-déplacement d'un objet par rétroinjection laser

Caractéristique	Critères	Niveaux - Limites
Résister	Temps	Années
Milieu ambiant	Vibrations extérieures	

FC1 : Respecter les normes de sécurité en vigueur

FC2 : Etre facile d'utilisation

FC3 : Résister au milieu ambiant

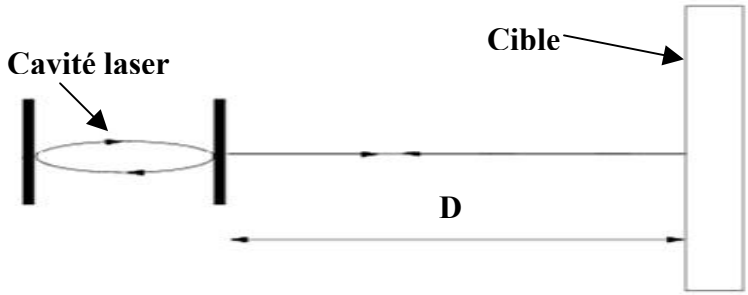
FC4 : Respecter les exigences.

Caractéristique	Critères	Niveaux - Limites
S'adapter	Temps	
Exigences	Montage du système	Moyens et matériels mis à disposition par le Lycée
	Résultats, conclusions	A fournir en fin de projet

C. Principe de la vélocimétrie et profilométrie par self mixing

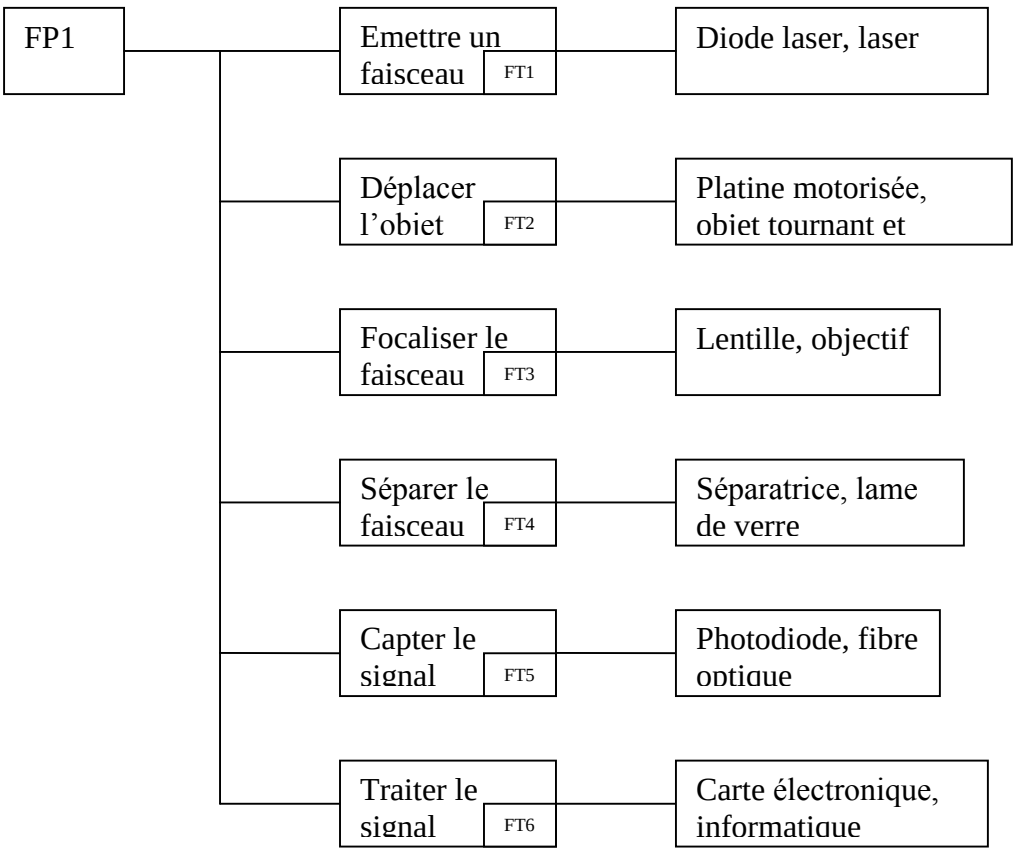
Le self mixing consiste à éclairer un objet en mouvement avec une source monochromatique. L'onde lumineuse diffusée par l'objet présentant (dut à l'effet Doppler) une fréquence fonction de la vitesse de déplacement de l'objet, est réinjecté dans la cavité de la source et en perturbe, par un phénomène de battement, les caractéristiques d'émissions (fréquence, puissance). Ce sont ces perturbations que l'on détecte et qui permettent de trouver la vitesse de déplacement de l'objet, ou le déplacement effectué par celui-ci.

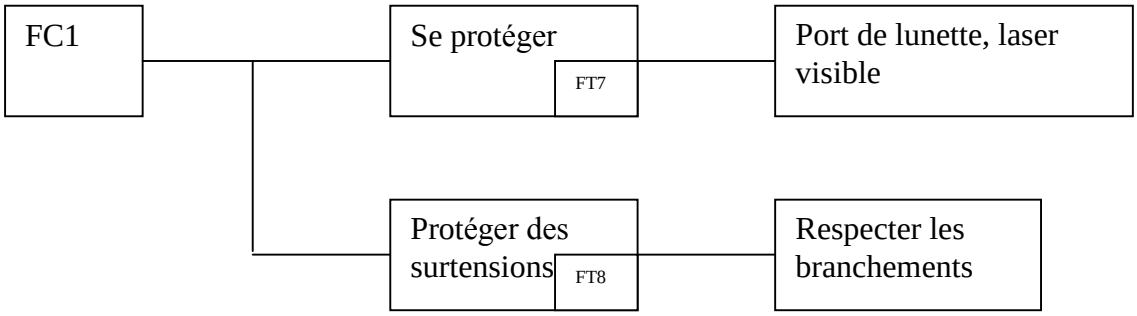
Montage du principe du self-mixing :

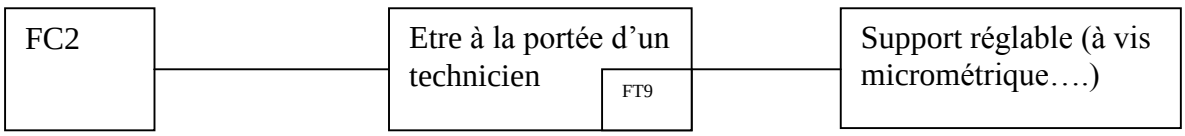


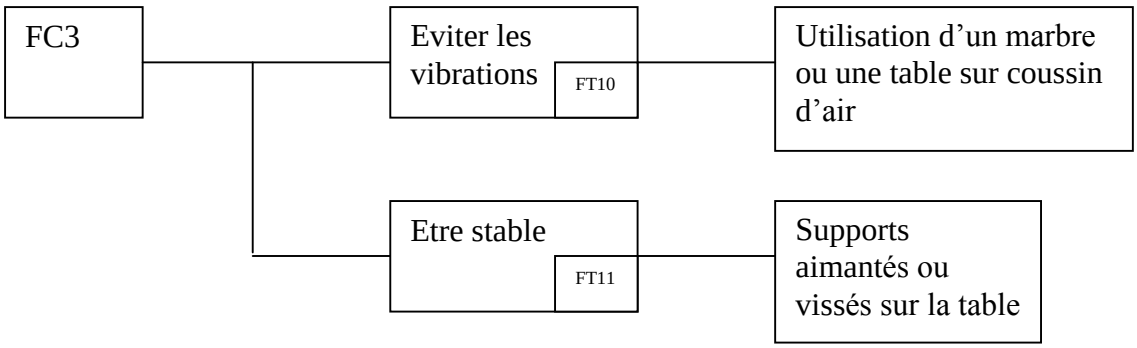
D. Recherche de solutions

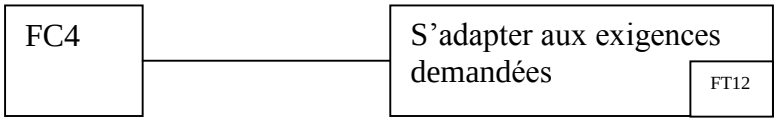
Elaboration d'un diagramme type FAST pour traduire les fonctions de services en fonctions techniques et rechercher des solutions à ces fonctions techniques.




FC1
Se protéger
FT7
Port de lunette, laser visible
Protéger des surtensions
FT8
Respecter les branchements


FC2
Etre à la portée d'un technicien
FT9
Support réglable (à vis micrométrique….)


FC3
Eviter les vibrations
FT10
Utilisation d'un marbre ou une table sur coussin d'air
Etre stable
FT11
Supports aimantés ou vissés sur la table


FC4
S'adapter aux exigences demandées
FT12

II. Etude de faisabilité du système de mesure par retroinjection laser

Le but du projet est d'utiliser et de caractériser le système par retroinjection laser dit « self-mixing » en réalisant plusieurs TP de métrologie. Nous essaierons donc, d'utiliser ce système en profilométrie, en vélocimétrie puis en mesure de micro déplacements afin de faire un comparatif avec les systèmes de mesure couramment utilisés et de voir si le système par self-mixing présente un bon rapport qualité prix.

En effet, le système est simple de conception et peu onéreux en comparaison à des systèmes plus couramment utilisés comme par exemple la projection de franges pour la profilométrie (ou il faut des écrans LCD, des projecteurs : matériel coûteux) ou encore des systèmes de mesures interférentielles utilisés autant pour la profilométrie que pour la vélocimétrie et la mesure de micro déplacements mais qui sont des systèmes optiques de précision assez chère. Pour la mesure par self-mixing, il suffit d'avoir une source cohérente, une simple lentille pour focaliser le faisceau sur l'objet et un capteur. De plus une partie du projet consistera à essayer de simplifier encore le système. En effet l'utilisation d'une diode laser (à la place d'un laser) muni de son propre capteur devrait permettre de simplifier la partie détection du signal

A. Introduction : étude théorique

Comme expliqué précédemment, on parle de retroinjection laser car le signal incident est focalisé sur l'objet étudié puis retourne (en partie) dans la cavité laser et perturbe le signal issu de la source. Ces perturbations sont la conséquence de l'effet Doppler et du phénomène de battement. Cette méthode de mesure implique donc que l'objet d'étude soit en mouvement.

1) Effet Doppler : cas général

L'effet Doppler se caractérise par le décalage entre la fréquence de l'onde émis et la fréquence de l'onde reçut dans le cas ou émetteur et récepteur sont en mouvement l'un par rapport à l'autre. En effet, dans notre cas l'objet en mouvement joue le rôle de récepteur puis d'émetteur en mouvement

Au départ le laser (ou la diode laser) joue le rôle d'émetteur (noté E) fixe et l'objet celui de récepteur (noté R) en mouvement :

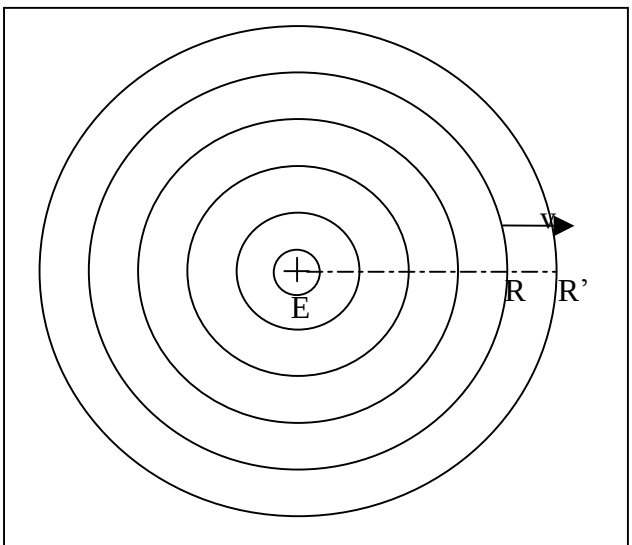


Fig3: Source fixe, émetteur en mouvement

E émet à t0
Alors R reçoit le signal à t0 + ER/c avec c: célérité de la lumière

E émet la période suivante de l'onde à t0' = t0 + T avec T période temporelle de l'onde
Alors R' (nouvelle position de R) reçoit à t0 + T + ER'/c

On a alors T'= t0 + T + ER'/c - t0 - ER/c
T'= T – RR'/c période de l'onde reçut par le récepteur en mouvement

Or RR' = V x T

Donc T' = T (1-V/c)
1/f' = (1-V/c) / f
f' = f /(1-V/c)
f' = f (1+V/c) car le développement limité à l'ordre1 de 1 / (1-x) = 1+x
Dans le cas du self-mixing on a $f_{aller} = f (1+V/c)$ avec f_{aller} fréquence de l'onde reçut par l'objet (fréquence Doppler), V vitesse (valeur algébrique) de l'objet étudié, c la célérité de la lumière et f, fréquence d'émission de l'onde par la source.

Au retour c'est l'objet qui joue le rôle de source en mouvement et la source de récepteur fixe:

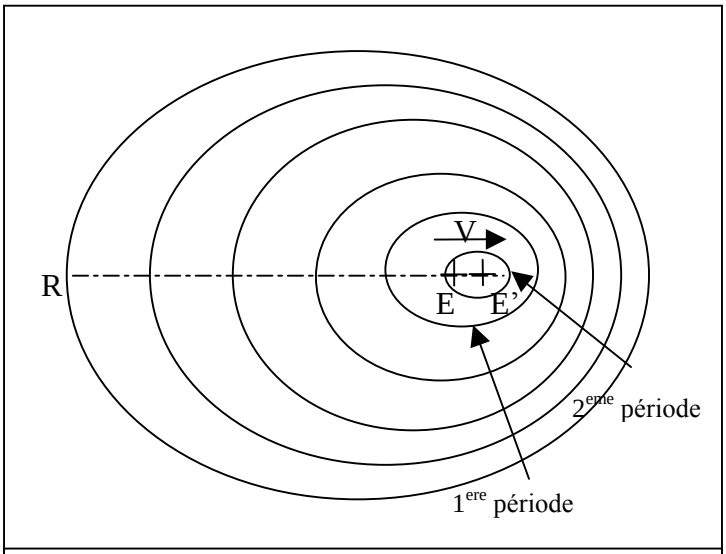


Figure4: Source en mouvement, récepteur fixe

E émet la première période à t_0
R reçoit le signal à $t_0 + RE/c$

E' (nouvelle position de E pendant l'émission de la seconde période) émet à $t_0 + T$
R reçoit le signal à $t_0 + T + RE'/c$

Alors T'= T + RE'/c - RE/c
T'=T-EE'/c
Or EE'= Vx T

On a T'= T- VT/c
T'=T(1-V/c)
f' = f(1+V/c) car le développement limité à l'ordre1 de 1 / (1-x) = 1+x

Dans le cas du self-mixing :
$f_{retour} = f_{aller} (1+V/c)$ avec f_{retour} période de l'onde reçut par la source « au retour » et f_{aller} période de l'onde émise par l'objet
Soit
$f_{retour} = f (1+V/c)^2$
$f_{retour} = f (1+2V/c+(V/c)^2)$ c est très grand devant V donc on néglige $(V/c)^2$
$f_{retour} = f (1+2\beta)$ avec $\beta = V/c$

2) Phénomène de battement

Lorsque deux ondes de même type et de fréquences proches se superposent (comme c'est le cas pour le self-mixing : l'onde issue du laser se superpose avec celle issue de la diffusion de l'objet), le résultat (somme des deux signaux) est un phénomène appelé battement (voir illustration).

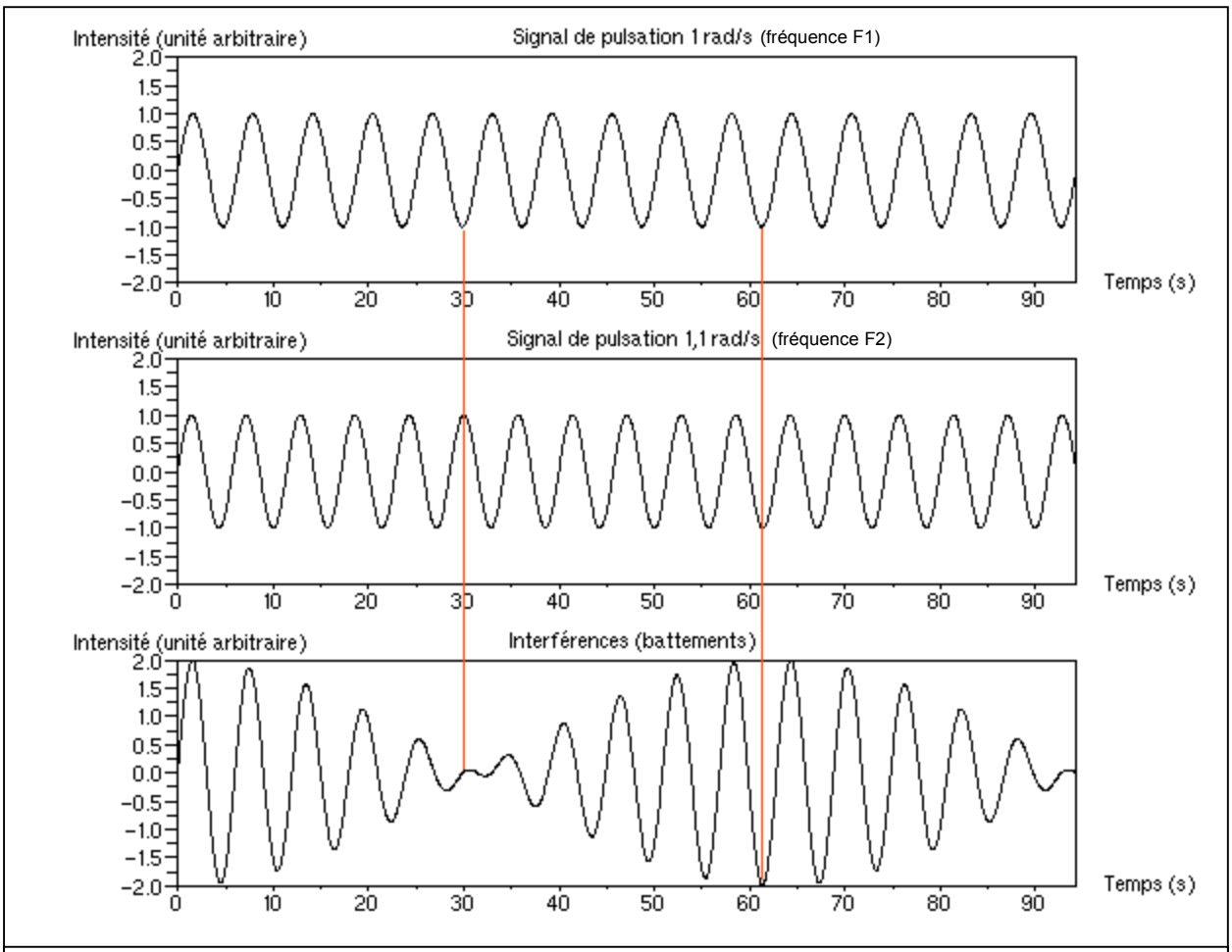


Figure5: Illustration du phénomène de battement

Soit deux signaux de fréquence $F_1 = f$ et $F_2 = f - \Delta f$ de fréquence proche et d'amplitude a, tel qu'on n'en a dans le phénomène de self mixing, puisque l'effet doppler introduit un décalage de fréquence entre l'onde émise et l'onde reçut donc il y a superposition du signal incident et du signal de retour (de fréquences proches). La superposition de ces deux signaux donne la relation suivante :

$$a \cos(2\pi f t) + a \cos[2\pi (f - \Delta f)t] = 2a \cos[(\pi(2f - \Delta f)t] \cos(\pi \Delta f t)$$

Signal de fréquence f1 Signal de fréquence f2

Le signal résultant est un signal sinusoïdal de fréquence f – Δf/2 mais dont l'amplitude maximale varie selon une fréquence Δf/2 très petite.

Dans le cas du self-mixing le signal de retour se superpose au signal émis par la source alors on a :

$\Delta f = f_{retour} - f$

$\Delta f = f(1+2\beta) - f$

$\Delta f = 2f\beta = 2f \times V/c = 2V/\lambda$

On peut donc remonter à la vitesse de déplacement de l'objet :

$$V = \frac{\lambda \times f_{battement}}{2}$$

On peut aussi remonter au déplacement de l'objet :

L'objet se déplace d'une distance égale à la demi longueur d'onde lorsqu'il y a défilement d'une frange sur l'oscilloscope, autrement dit lorsque le signal c'est déplacé d'une période. En effet :

$$V = \frac{\lambda \times f_{battement}}{2}$$

Or $V = \frac{d}{t} = \frac{d}{NT} = \frac{d \times f_{battement}}{N}$

D'où $d = N*\lambda /2$ avec N le nombre de franges

B. Première approche en vibromètrie

L'étude portée sur la vibromètrie par self-mixing a déjà été effectuée par un ancien élève de photonique. C'est pourquoi nous avons commencé par cette partie, pour pouvoir débuter notre travail sur des problèmes connus et déjà étudiés. Nous nous sommes donc appuyés sur son travail pour commencer notre projet.

Une carte électronique a été réalisée par cet élève, nous l'avons utilisé afin d'acquérir et de traiter le signal.

1) Carte électronique

Nous avons surtout utilisé la partie de carte acquisition du signal (carte du bas sur la photo ci-dessous), nous avons étudié la partie acquisition du signal en annexe.

Description de la photo de la carte (fig.6) :

1 : fibre optique
2 : filtre passe-bas
3 : filtre passe-haut
4 : sortie du signal
5 : cavalier diode laser / laser
6 : sortie du signal mise en forme
7 : alimentation ± 15V
8 : alimentation 0-15V
9 : réglage de la puissance de la diode laser (régler pour ne pas dépasser la valeur max de la tension d'alimentation de la diode laser)

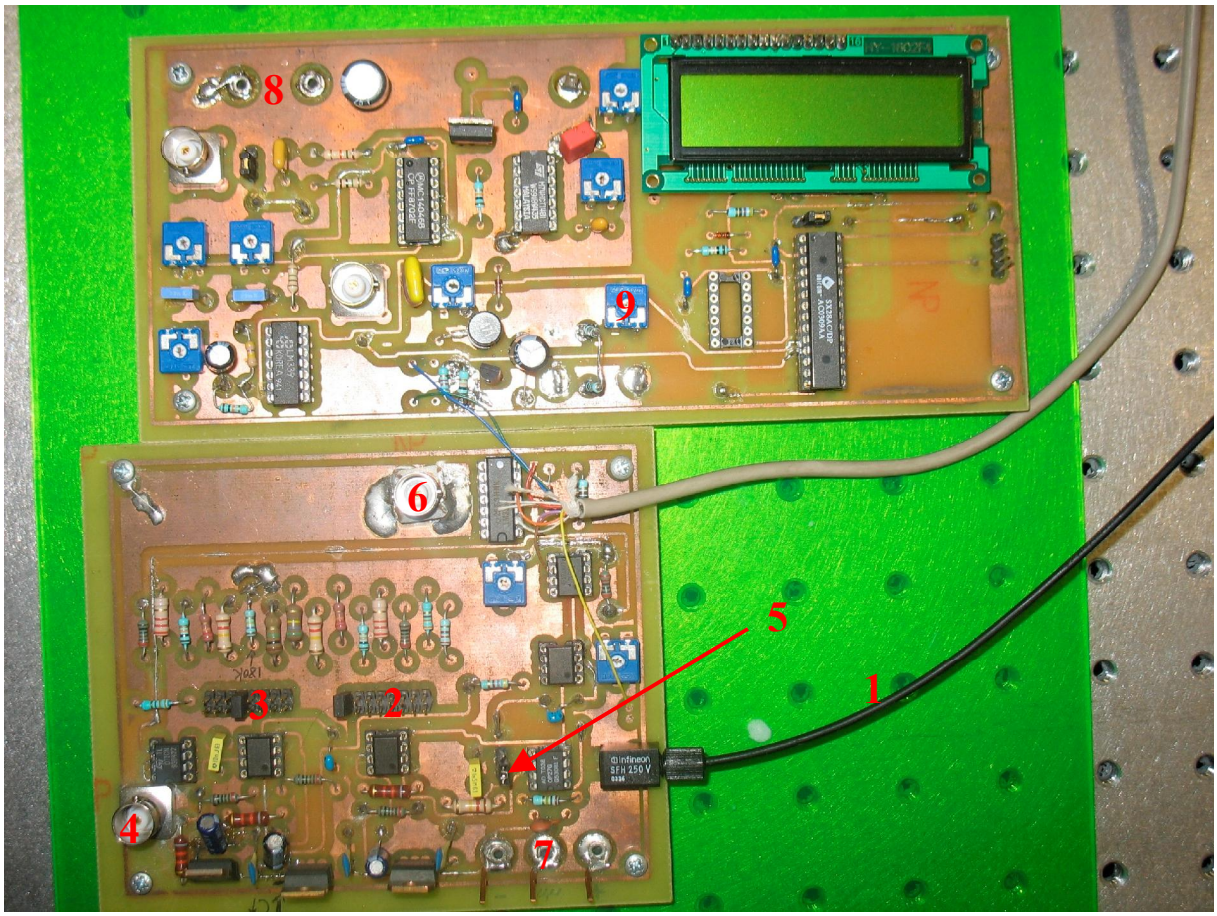


Figure 6 : photo de la carte d'acquisition du signal

2) Etude théorique

En vibromètrie l'objet étudié est en vibration, il effectue un mouvement de va et vient. L'objet fait alors 3 étapes périodiquement (voir fig8) :

- une étape d'accélération
- une étape de décélération
- une étape ou la vitesse est nulle, c'est-à-dire quand l'objet change de sens.

Le phénomène de battement que nous allons obtenir, va nous renseigner sur deux caractéristiques de la vibration (voir fig8) :

- l'amplitude de la vibration
- la fréquence de la vibration

L'amplitude se mesure en comptant le nombre de franges qui défilent sur un train d'onde, en sachant que chaque frange correspond à un déplacement de $\lambda/2$ de l'objet vibrant.

Amplitude = nombre de franges $\times$ λ /2

La fréquence de la vibration est l'inverse du temps qu'effectuent deux trains d'onde pour défiler, car des deux trains d'onde correspond à une vibration.

Fréquence = 1/2T

3) Manipulation

Nous avons ensuite réalisé le montage ci-dessous (fig7) pour vérifier les résultats obtenus aux résultats théoriques.

Pour réalisé ce montage nous avons utilisé un laser HeNe de 4mW de puissance. Un vibreur qui est alimenté par un GBF en courant continu. Le capteur utilisé est une fibre optique que l'on raccorde à la carte électronique. Cette fibre optique capte le faisceau incident qui est perturbé par le phénomène de rétrodiffusion. Une lame de verre suffit a séparer le faisceau incident. Nous pouvons ensuite visualiser le signal avec un oscilloscope (voir fig7) branché sur la carte électronique.

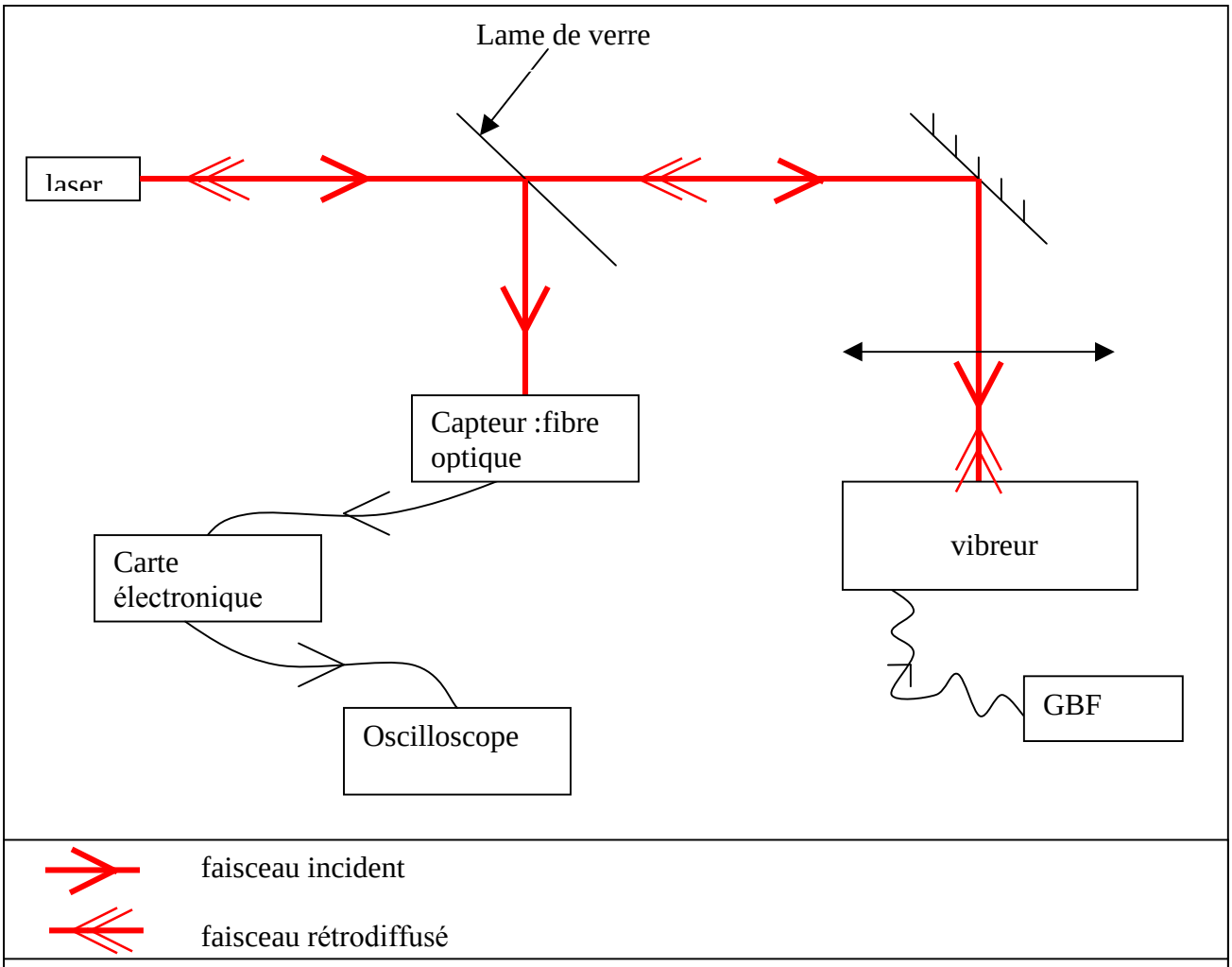


Figure 7 :Schéma du montage de la vibromètrie (vue de profil)

Le faisceau, émis par le laser, vient se focaliser sur le vibreur grâce à une lentille. Le faisceau est ensuite réfléchit par le vibreur. Lors de cette réflexion, l'onde lumineuse a changé de fréquence, ce phénomène est dut a l'effet Doppler. Puis l'onde retourne dans la cavité du laser et vient perturber son émission, en interférant ; un phénomène de battement apparaît. Puis nous capturons le signal.

La lentille focalise le faisceau sur le vibreur, mais elle sert principalement à focaliser la rétrodifusion (cette rétrodifusion est la conséquence du faisceau laser sur le vibreur) dans la cavité laser.

4) Résultat obtenu

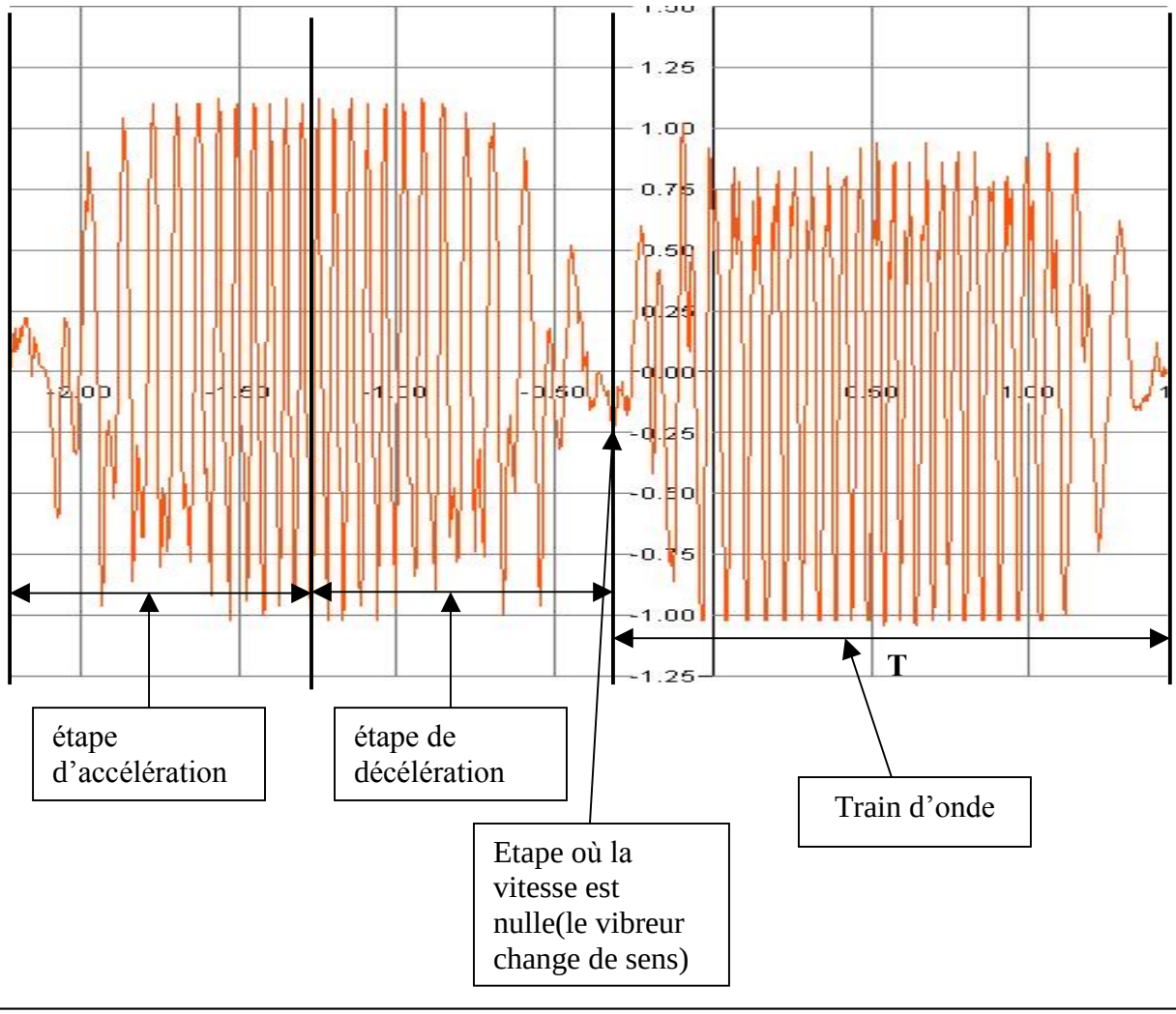


Fig8 :signal obtenu en vibromètrie

Interprétation du signal obtenu

Amplitude :
Il y a 25 franges dans un train d'onde donc :
Amplitude = 25×0,6328
Amplitude = 15,82
Fréquence :
Le train d'onde a un temps de 37ms donc :
Fréquence = 1 / (2×0,037)
Fréquence = 13,5 Hz
Nous obtenons un résultat cohérent puisque nous avions un appliqué une fréquence d'environ 13Hz au vibreur.

C. Profilomètrie

Le but de la profilomètrie est d'obtenir le profil d'une surface. Pour réaliser ce profil, nous déplaçons l'objet à étudier de manière à ce que le faisceau laser balaie toute la surface que nous souhaitons étudier. Quand la hauteur va varier, des défilements de franges (qui sont les battements) vont se produire. Cette hauteur va varier quand l'objet va se déplacer. En fonction du déplacement de l'objet et du défilement de franges, nous pouvons donc remonter au profil de la surface étudiée.

Pour déplacer l'objet nous avons utilisé une platine motorisée commandée par un ordinateur. Le traitement du signal obtenu devrait être effectué par un programme sur ordinateur, pour pouvoir obtenir le profil de l'objet étudié.

Pour le traitement du signal, nous ne pouvons pas connaître le sens dont varie la hauteur de l'objet. C'est pourquoi nous avons incliné l'objet à étudier.

1) Montage

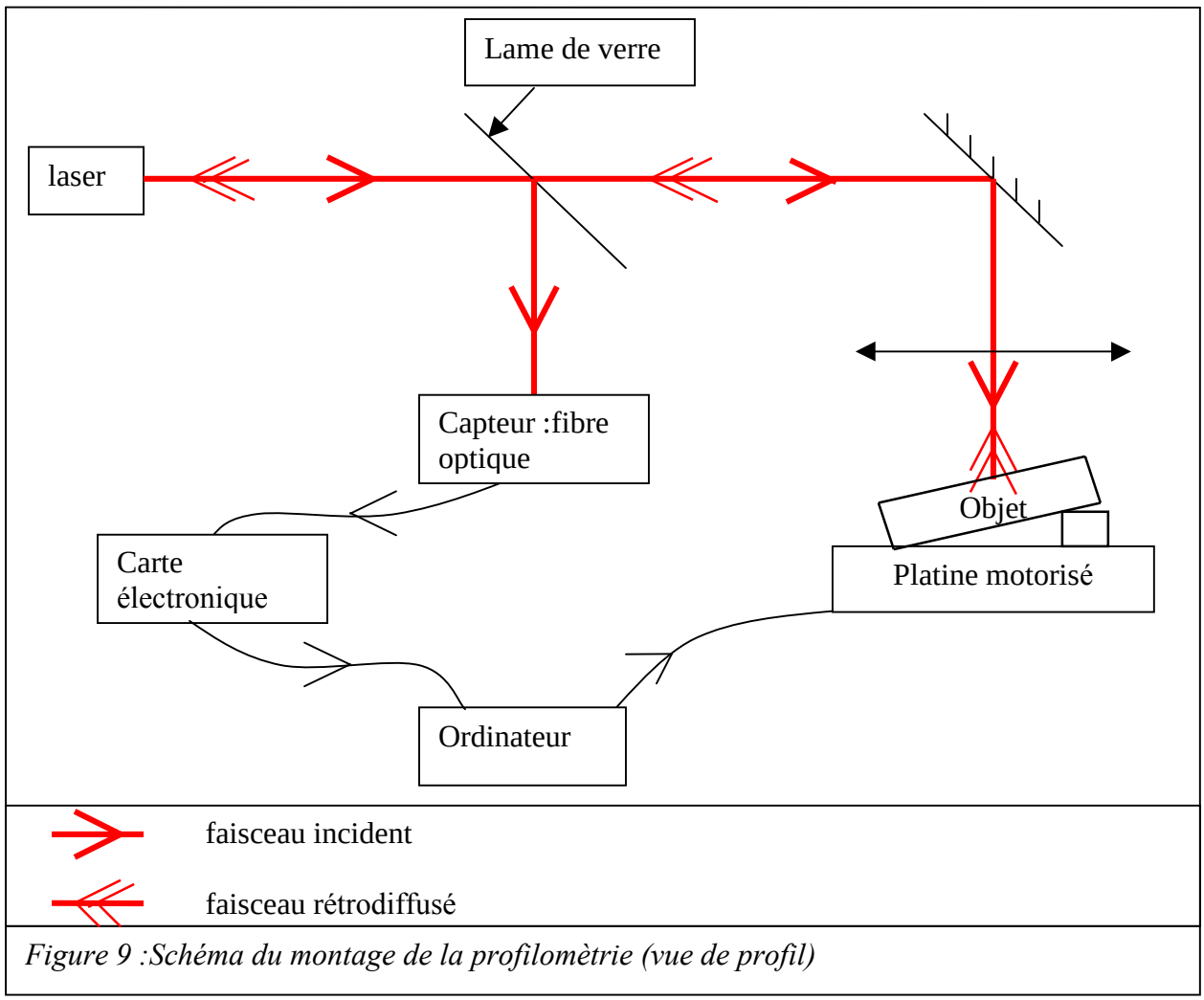


Figure 9 :Schéma du montage de la profilomètrie (vue de profil)

2) Résultats obtenus

Les résultats que nous avons obtenus ne sont pas satisfaisants. En effet les signaux que nous avons obtenus sont perturbés par un bruit de fond (voir fig10) , les signaux sont donc inexploitables par la suite.

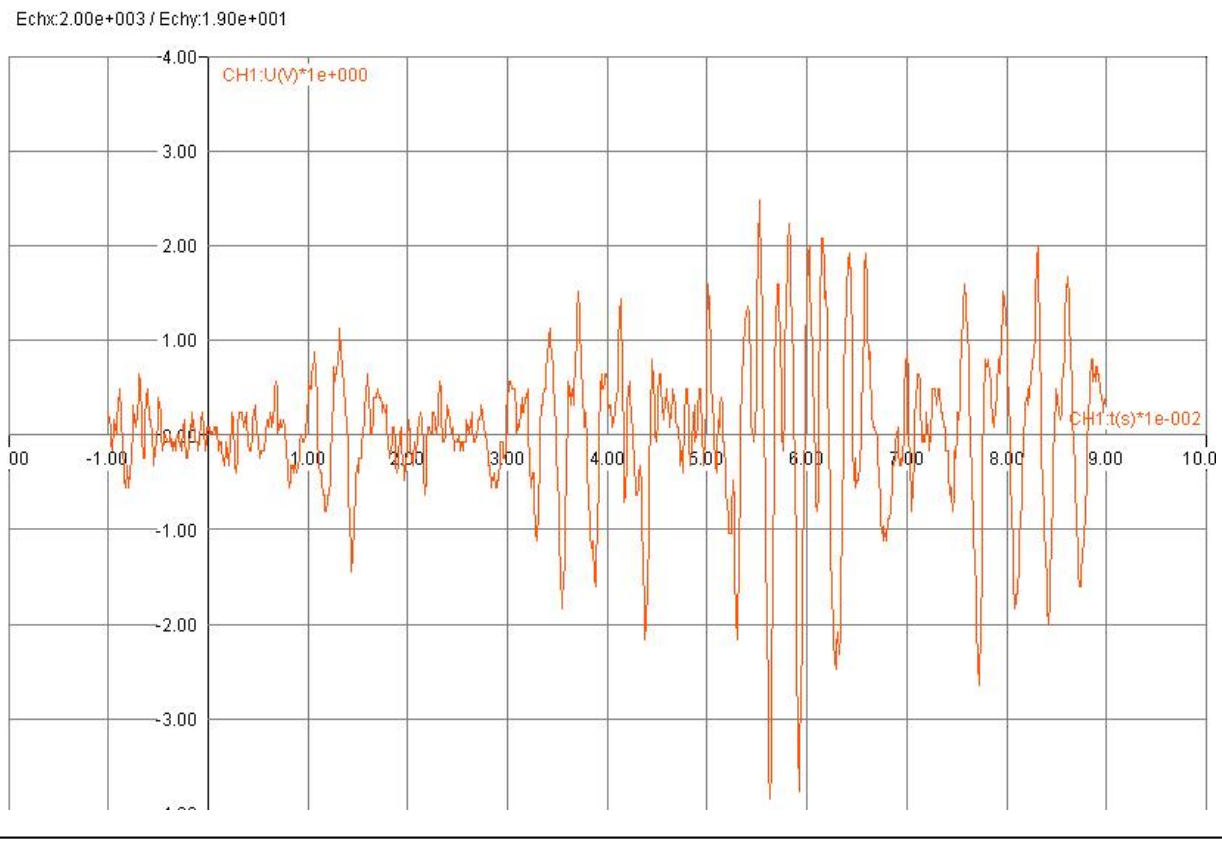


Fig10 :signal obtenu en profilomètrie

Les résultats mauvais étant constatés, nous nous sommes questionné sur la provenance de ces défauts. Nous avons trouvé deux réponses qui pourrait être la cause de ces mauvais résultats :

- l'effet speckle
- la vibration du moteur de la platine utilisée

En effet les résultats obtenus peuvent être perturbés par un bruit parasite :le phénomène de speckle lié à l'état de surface de l'objet étudié. Ce phénomène va créer des grains de speckle répartis dans l'espace environnant le laser, qui vont défiler lorsque l'objet va être en mouvement. Ce défilement des grains va perturber le signal pouvant même aller jusqu'à une perte d'amplitude.

Il peut aussi avoir la vibration du moteur de la platine qui perturbe le signal. La vibration du moteur entraînerait légèrement l'objet en vibration, ce qui fausserait l'information du profil de l'objet.

On peut en conclure que si le signal disparaît même un court instant, le comptage de pics est faussé. La mesure ne sera donc plus valable, car elle est seulement relative, par rapport à la position d'origine.

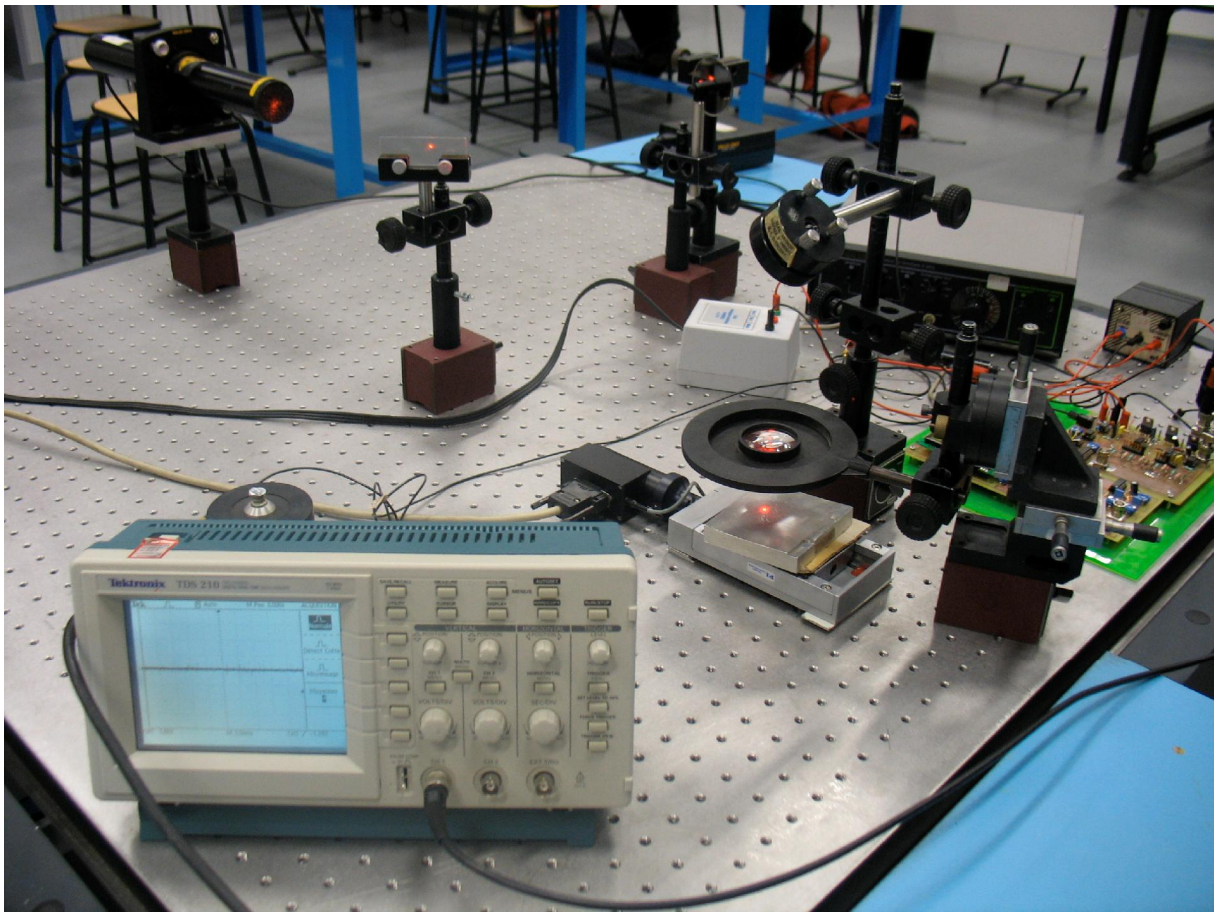


Fig. 11 : photo du montage de la profilomètrie

D. *Vélocimétrie par retroinjection laser*

1) Introduction

Il s'agit à présent d'étudier la vélocimétrie par rétroinjection laser .Pour ce faire on utilise par exemple un disque en plexiglas tournant comme objet d'étude. Le but du TP est de comparer la vitesse d'un point du disque calculée expérimentalement (déterminations du nombre de tours par minute puis de la vitesse en m/s) avec la vitesse « théorique » déterminée par le calcul à partir de la fréquence des battements mesurée. Le montage est identique aux précédents (seul le miroir a disparu puisqu'on travaille suivant la direction du faisceau) :

Le disque est légèrement incliné par rapport à l'axe horizontal afin que l'on puisse mesurer une vitesse (observer les battements) car ce que l'on observe (fréquence des battements) ne correspond pas à la vitesse réelle mais à une de ses composantes suivant l'axe du faisceau. En effet l'angle θ entre l'axe horizontal et le disque est utile pour la détermination de l'angle α utilisé pour le calcul de la vitesse. Pour faciliter les calcules, on choisira, de plus, de mesurer la vitesse d'un point du disque situé dans la direction de l'axe d'inclinaison du disque(axe vertical) pour que α dépende uniquement de θ ($\alpha = 90 - \theta$)

On applique à ce disque une tension quelconque comprise entre -15V et +15V (pas trop élevée tout de même pour que la mesure de la fréquence soit possible) avec une alim variable

Le miroir ainsi que l'écran permettent de déterminer approximativement l'angle θ par calcul : $\tan(2\theta) = AB / BC$ avec AB et BC mesurées.

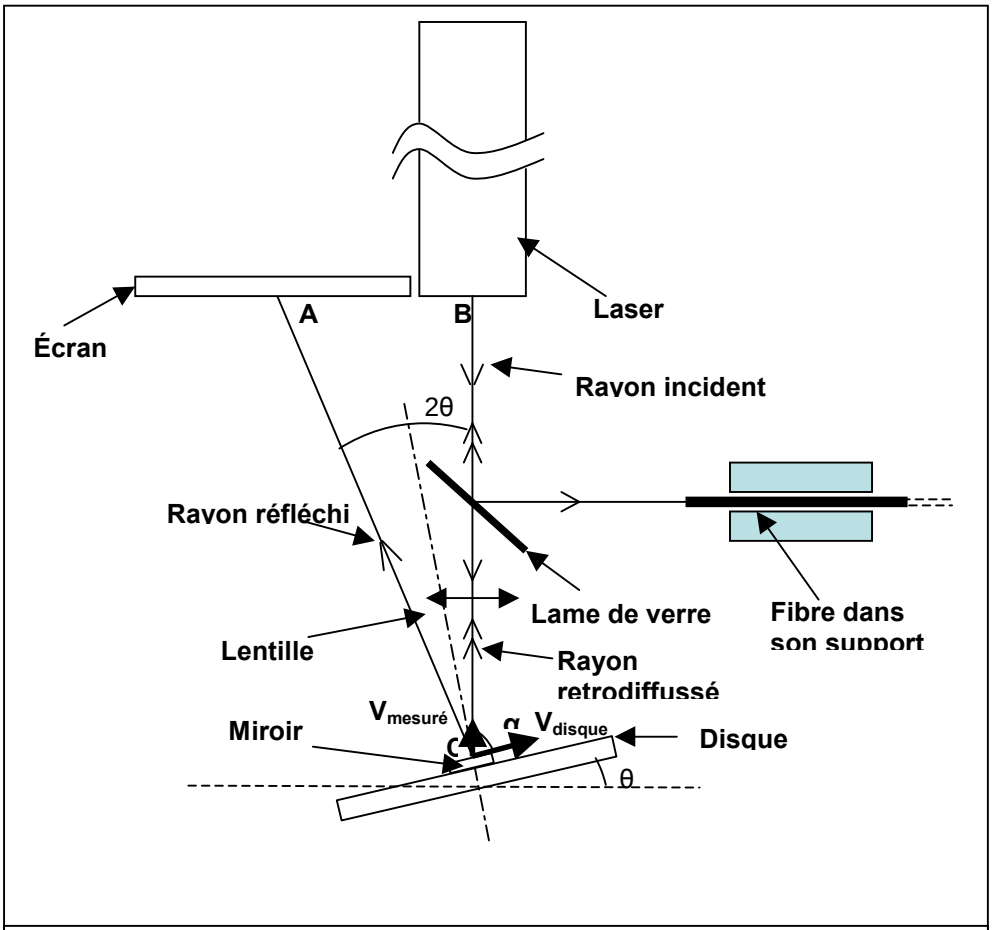


Figure 12 : Schéma du montage de vélocimétrie(vue de dessus)

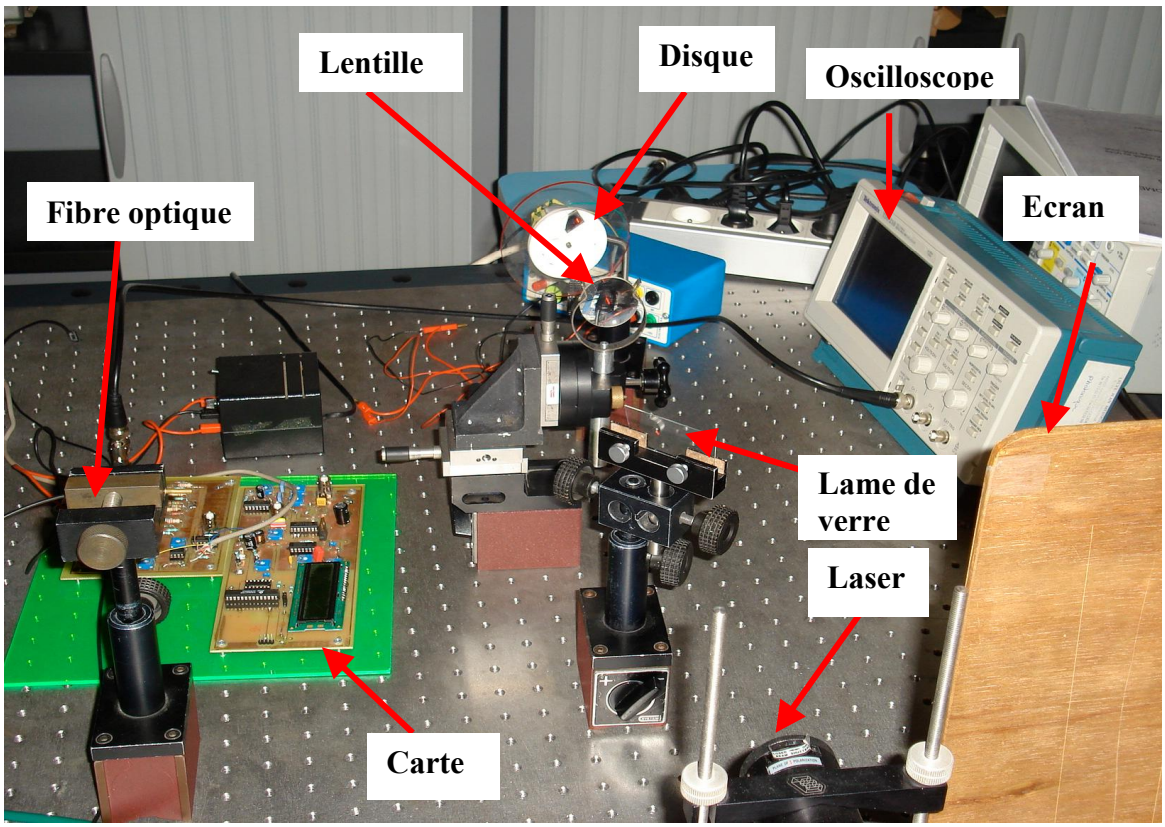


Figure 13 :montage vélocimétrie laser

2) Comparaison des vitesses « théorique » et « expérimentale » :

Vitesse expérimentale :

On commence par mesurer la vitesse du disque en tour/min à l'aide d'un chronomètre, puis connaissant (par mesure) la distance (notée R) entre le centre du disque et le point d'impact du faisceau on calcule le périmètre du cercle parcouru par le laser. On remonte à la vitesse en m/s puisqu'un tour correspond à une distance parcourue de $2\pi R$. Ainsi on a une idée de la vitesse réelle d'un point du disque situé à R= x cm du centre du disque et on va pouvoir la comparer à la vitesse théorique

Exemple de mesure de vitesse :
1) Le disque met 40,7s pour faire 10 tours donc le disque met 4,07s pour faire 1 tour
2) On mesure le rayon R (distance entre le spot laser et le centre du disque) :
R = 1,5 cm
3) Le disque met 4,07s pour faire un tour soit $2\pi R$ = 9,4cm mètres donc :
V = 9,4/4,07 = 2,3 cm/s

Vitesse théorique

L'angle α entre la source et le récepteur intervient dans l'expression de la vitesse :

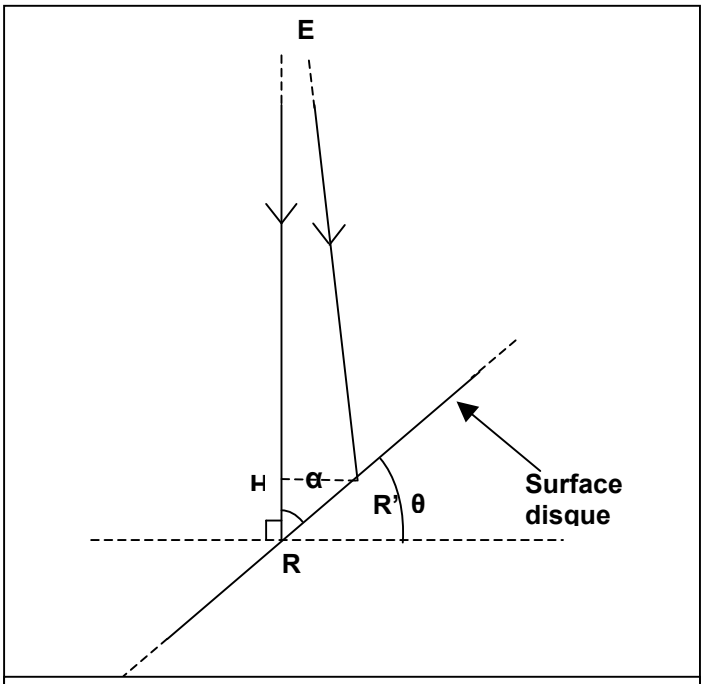


Figure 14: récepteur en mouvement, émetteur fixe (aller)

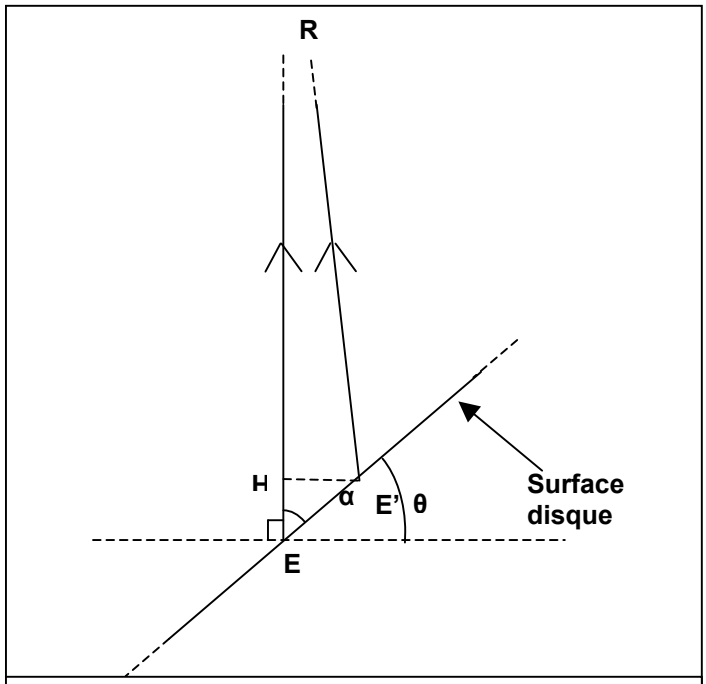


Figure 15 : émetteur en mouvement, récepteur fixe (retour)

On a toujours :
$T' = t0 + T + ER'/c - t0 - ER/c$ avec T' période de l'onde reçut par le récepteur et T période de l'onde émise
Mais à présent $ER' - ER \approx -HR$ donc (voir figure ci-dessus) :
$T' = -HR / c + T = -RR'/c \times \cos\alpha + T$
Or $RR' = V \times T$
$T' = T - (V.T \cos\alpha)/c$

T’ = T(1-V/c cosα)
On trouve le même résultat dans le cas ou la source est en mouvement et le récepteur fixe (c’est à dire au retour).

Au final, en suivant le même résonnement que dans le paragraphe étude théorique on a :
$f_{battement} = f_{retour} - f$
$f_{battement} = f(1+2\beta\cos\alpha) - f$
$f_{battement} = 2\beta f \cos\alpha$ donc

$$V = \frac{\lambda \times f_{battement}}{2\cos\alpha}$$

Exemple :
1) On mesure AB et BC puis 2θ :
AB = 31,2cm
BC = 69,3cm
tan(2θ) = 31,2/69,3
$\theta = \frac{\arctan(31{,}2/69{,}3)}{2} = 12{,}1°$
2) On mesure la fréquence des battements (fréquence des « franges ») à l’aide d’un oscilloscope et d’un logiciel d’acquisition (voir figure) :
$f_{battement} = 15{,}6\text{kHz}$
3) $V = \frac{632{,}8.10^{-9} \times 15{,}6.10^{3}}{2\cos(90-12{,}1)} = 2{,}35$ cm/s soit 2,4 cm/s

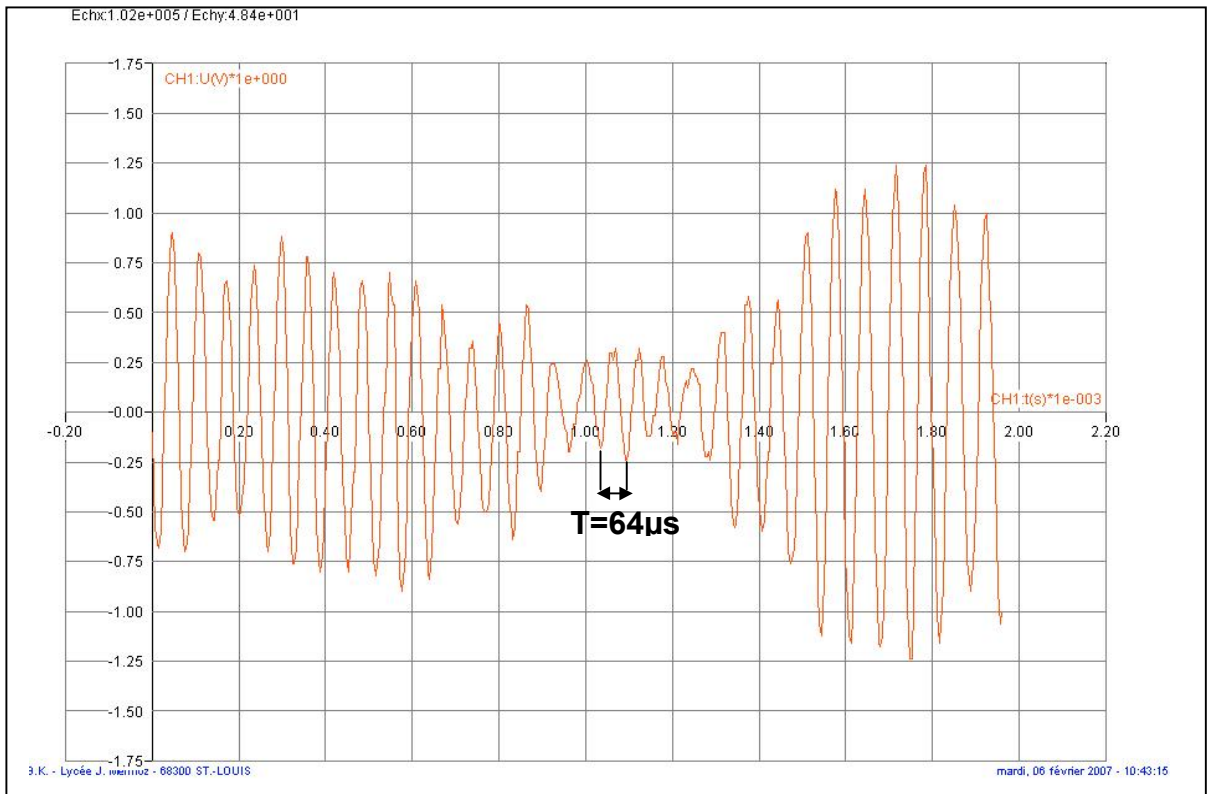


Figure 16 : Signal de vélocimétrie (laser)

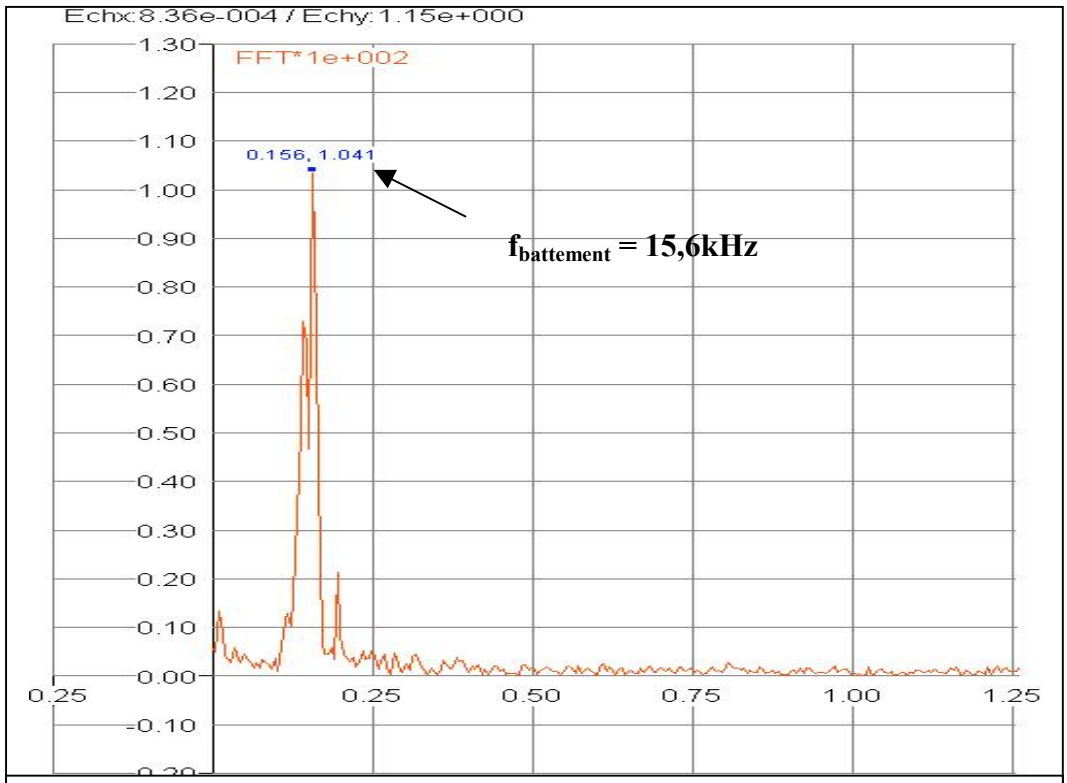


Figure 17 : FFT signal précèdent

E. *Utilisation d'une diode laser*

1) Introduction, vibromètrie:

Le but de cette partie est d'étudier la possibilité d'utiliser une diode laser comme émetteur et récepteur pour le self mixing. Pour ce faire, on utilise une diode laser SHARP GH06510B2A alimentée par l'intermédiaire de la carte électronique (voir figure 6) et dont les caractéristiques sont données en annexe.

L'avantage d'utiliser une diode laser réside dans le fait que ce système présente peu d'élément (peu encombrant) donc qu'il est plus économique. En effet une photodiode intégrée dans la diode laser joue le rôle de récepteur du signal de self-mixing et remplace la fibre optique et la lame de verre du premier montage (avec laser) :

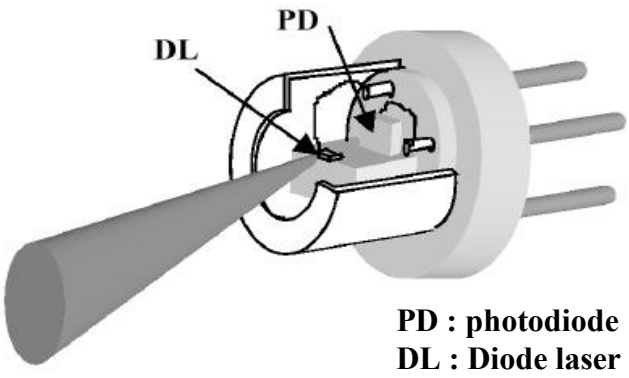


Figure 18°: Schéma d'une diode laser

L'inconvénient de l'utilisation d'une diode laser est que la divergence asymétrique (voir figure 19) du faisceau de sortie impose l'utilisation d'un système de collimation adapté. Cependant, dans notre cas une simple lentille de courte focale (placée le plus prés possible de la sortie laser afin d'intercepter au maximum le faisceau) suffi pour obtenir un signal convenable comme le confirme les signaux obtenus lors de premiers essais en vibromètrie .On observe toujours, en effet, la variation de fréquence de vibration dut à l'accélération et la décélération du vibreur .

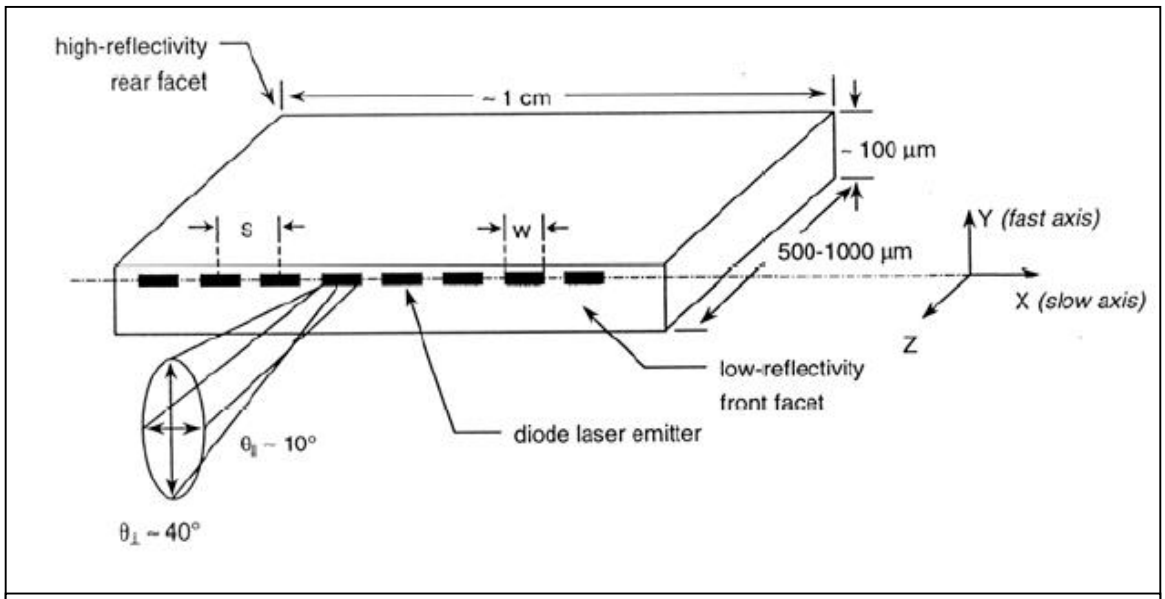


Figure 19 : schéma d'une diode laser et de sa divergence asymétrique

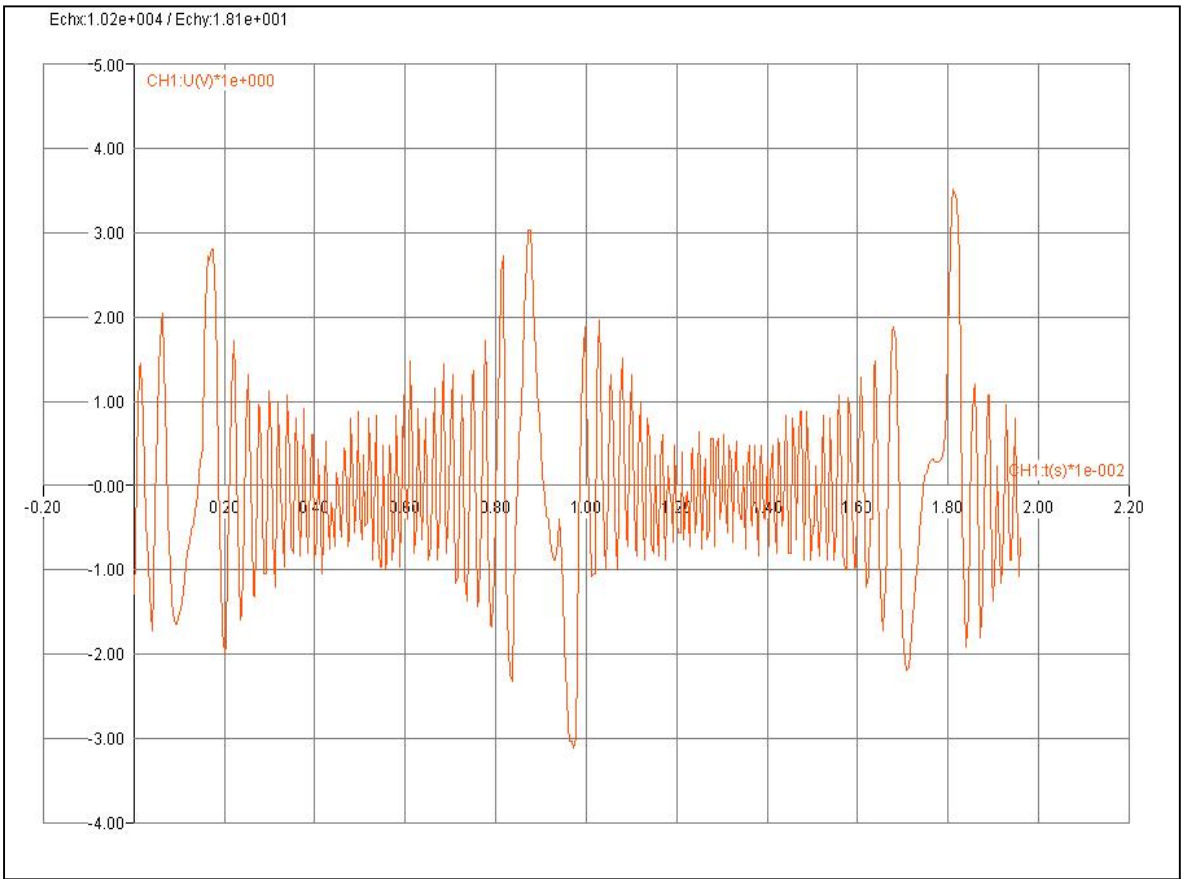


Figure 20: Signal vibromètrie (diode laser)

1) Etude en vélocimétrie

Après cette première étude en vibromètrie, nous avons également réitéré l'expérience de vélocimétrie par self mixing dans des conditions quasi identiques à la mesure précédente c'est à dire que l'on mesure la vitesse du même point du disque que précédemment et la vitesse expérimentale est toujours de 2,3cm/s (l'alimentation du disque n'ayant pas été changée). Le montage est le suivant :

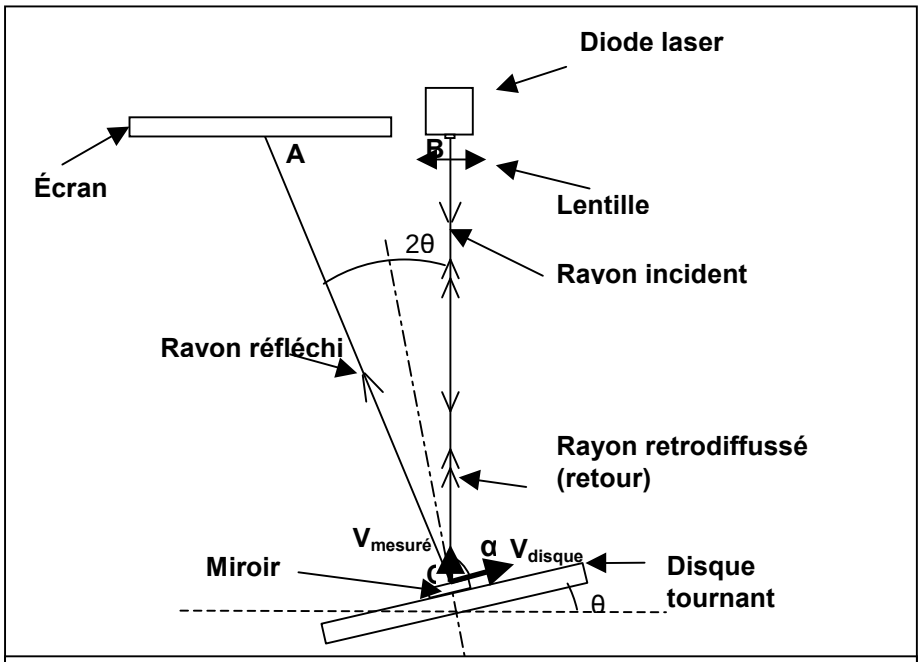


Figure21 : Schéma du montage de vélocimétrie par diode laser (vu de dessus)

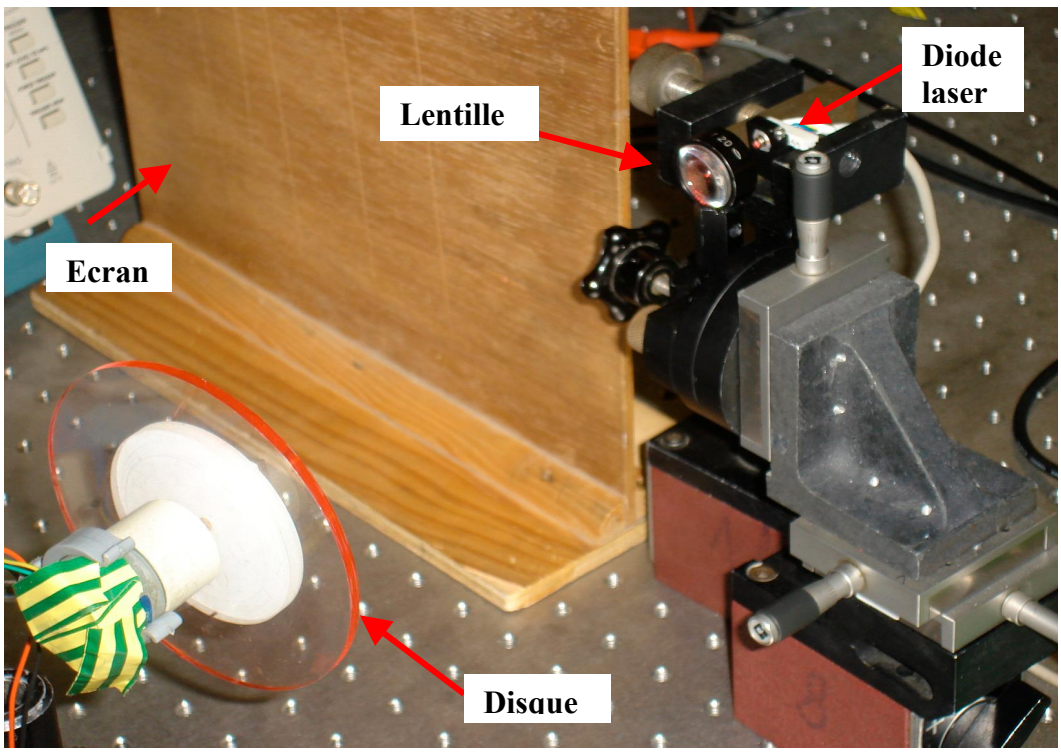


Figure22 : montage vélocimétrie diode laser

Pour le calcul de la vitesse théorique on procède de la même manière c'est-à-dire qu'on détermine l'angle θ par trigonométrie dans le triangle rectangle ABC (ainsi θ= 5,79°), puis on mesure la fréquence des battements via l'acquisition du signal ou le spectre de fréquence du signal (ainsi f=7,21kHz, voir figure 23 et 24)

$$V = \frac{\lambda \times f_{battement}}{2\cos\alpha} = \frac{632{,}8.10^{-9} \times 7{,}21.10^{3}}{2\cos(90 - 5{,}79°)} = 2{,}26 \text{ cm/s soit } 2{,}3\text{cm/s}$$

Ces mesures montrent que l'utilisation d'une diode laser comme source et récepteur permet de retrouver la vitesse du disque . Cependant, dans l'ensemble, le signal de self-mixing par diode laser est de moins bonne qualité (amplitude perturbée, pics parfois dédoublés…) que les signaux obtenus avec le laser

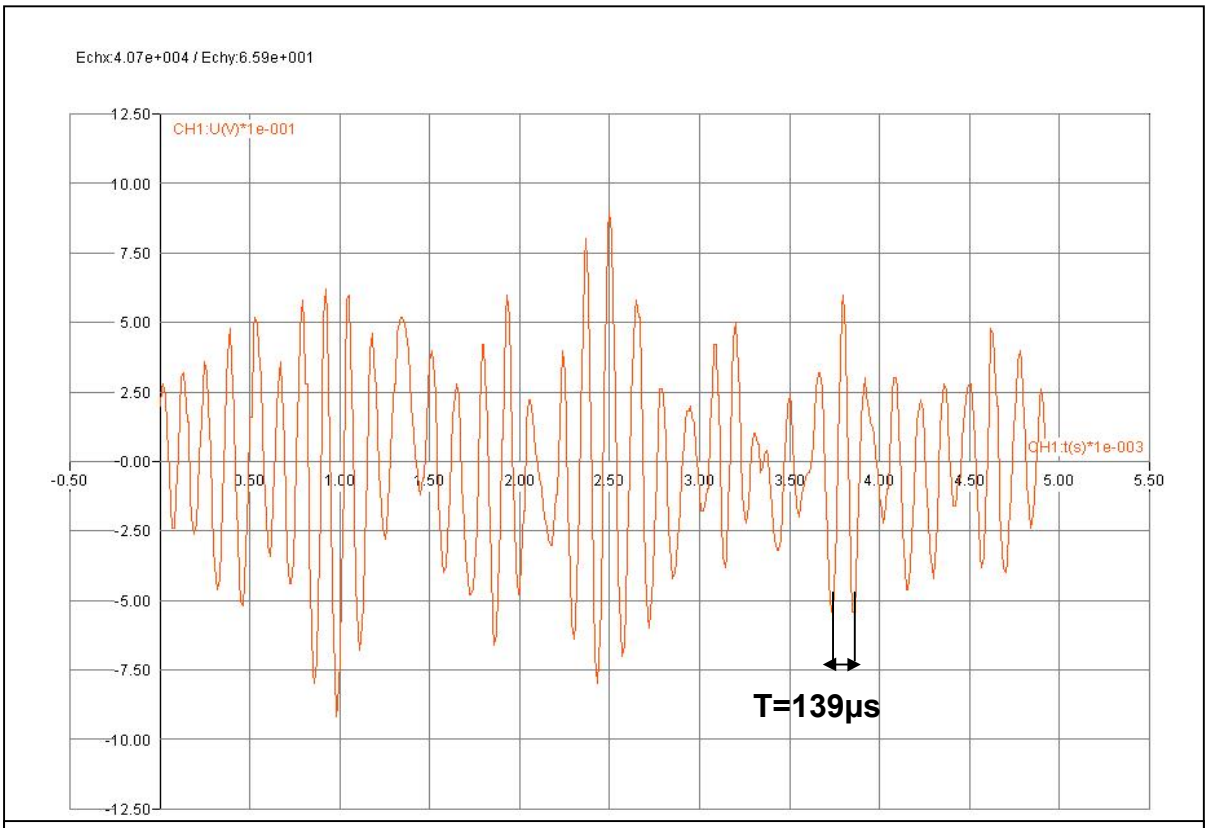


Figure23 : Signal vélocimétrie diode laser

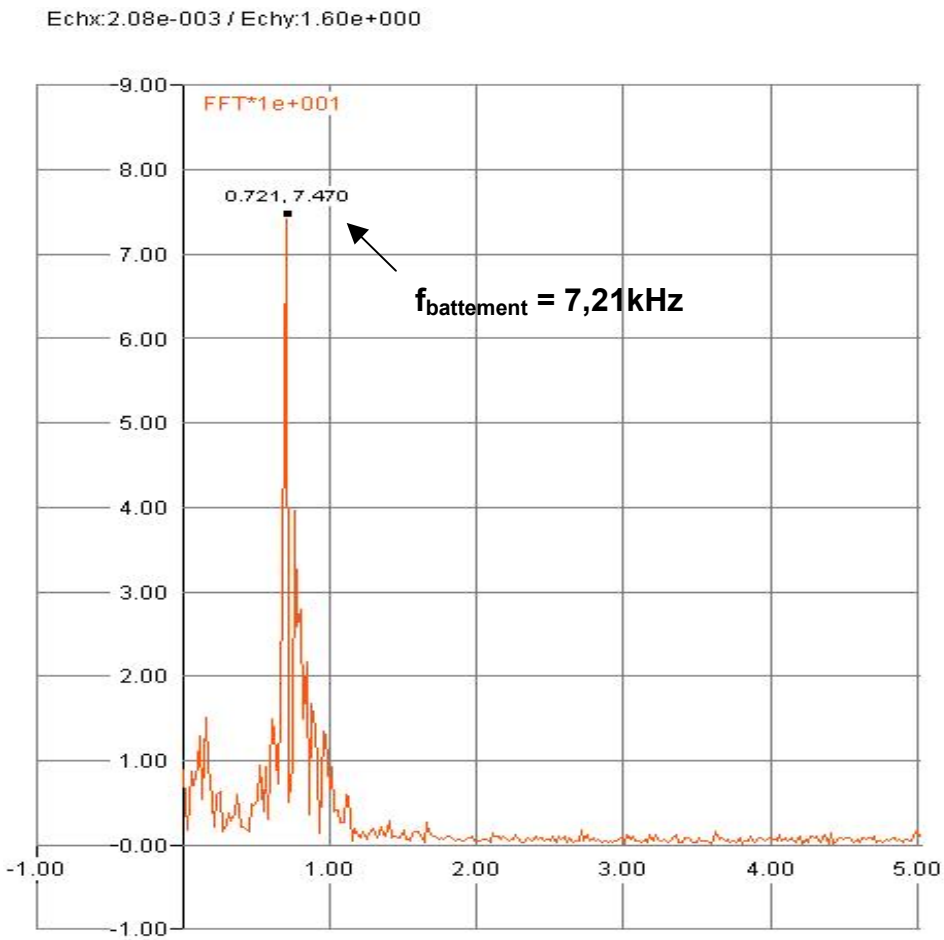


Figure24 : FFT signal précèdent

F. *Mesure de déplacement*

Pour réaliser des mesures nous avons réalisé un montage avec une cale piézo-électrique (voir fig25). Le but de ce montage est de retrouver le déplacement de la cale au cour du temps. Le traitement du signal se fera par informatique, nous avons utilisé Labview pour cela. L'acquisition du signal est effectuée par une carte que nous avons achetée à National Instrument (voir annexe).

1) Manipulation

Le montage est le même que la vibromètrie, il y a juste le vibreur qui est remplacé par la cale piézoélectrique. Cette dernière vibre dans l'axe du faisceau du laser, nous allons donc mesurer directement l'amplitude de l'aller et retour de la cale. Elle est alimentée par son boîtier, mais la variation de tension de 0 à 200V est commandée par un GBF. Nous pouvons donc choisir la forme du signal.

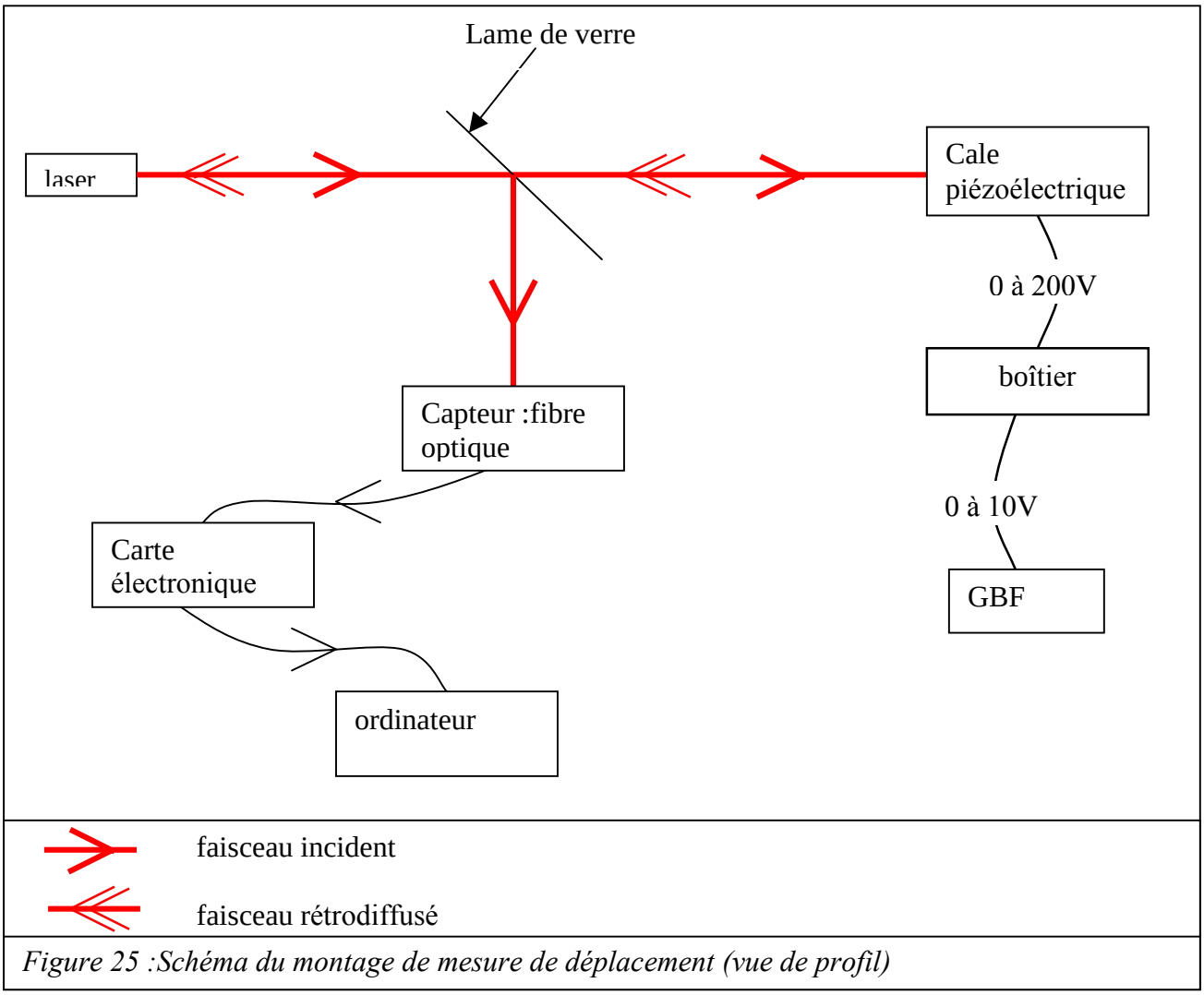


Figure 25 :Schéma du montage de mesure de déplacement (vue de profil)

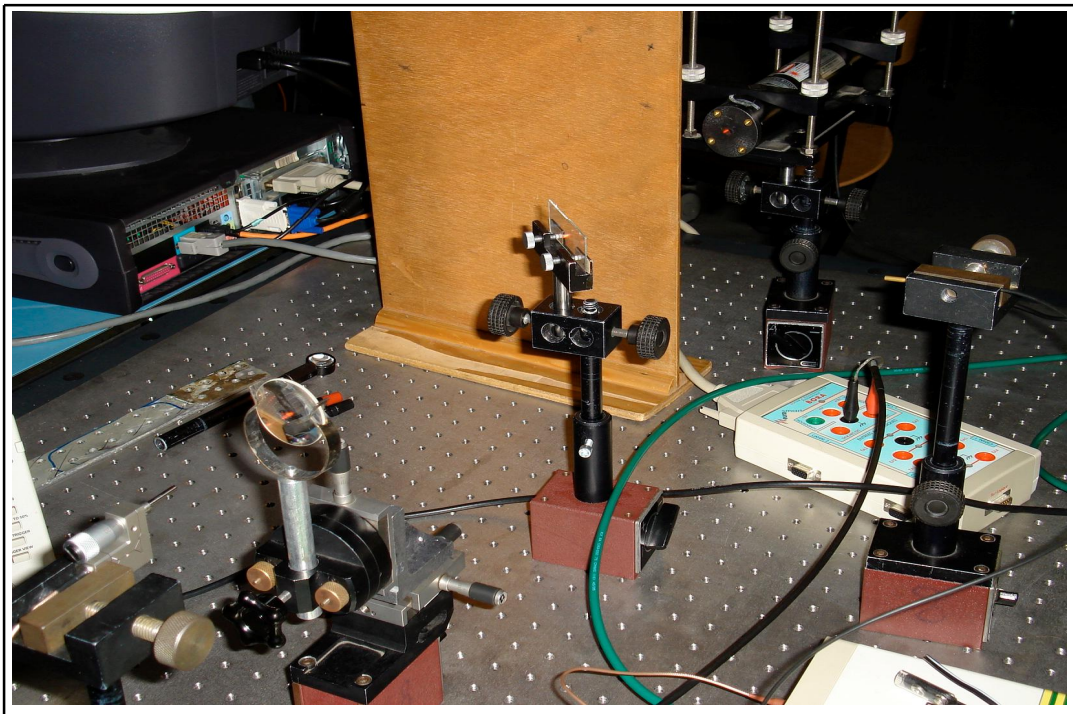


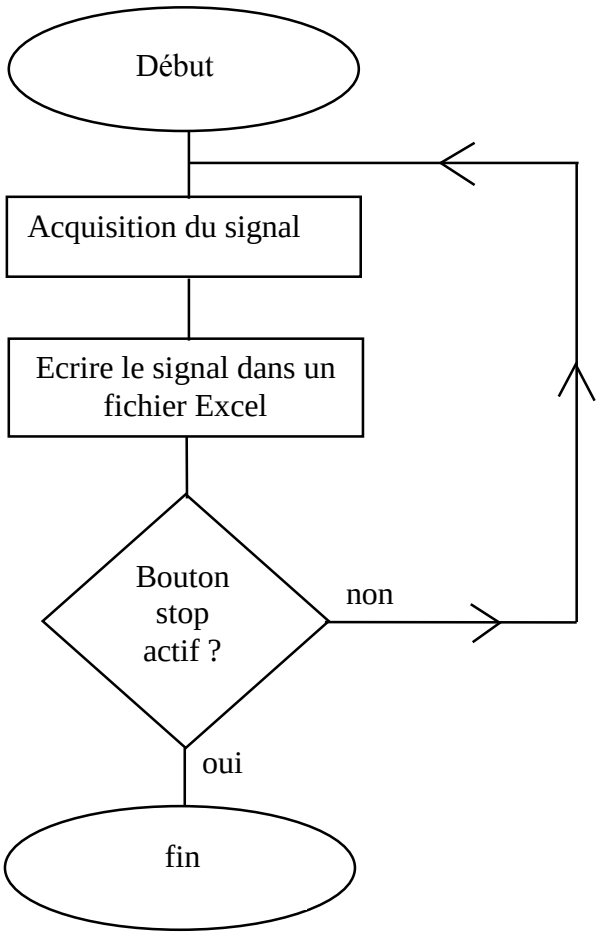
Figure 26 :Photo du montage de mesure de déplacement (vue de profil)

2) Programmation

Cette partie nous a posé des problèmes, car nous ne connaissons que vaguement le logiciel de programmation Labview, en effet nous n'avons eu qu'une initiation de Labview. Le deuxième problème est que nous avons manqué de temps pour avancer, en effet il ne nous restait que 3 semaines pour réaliser le programme.

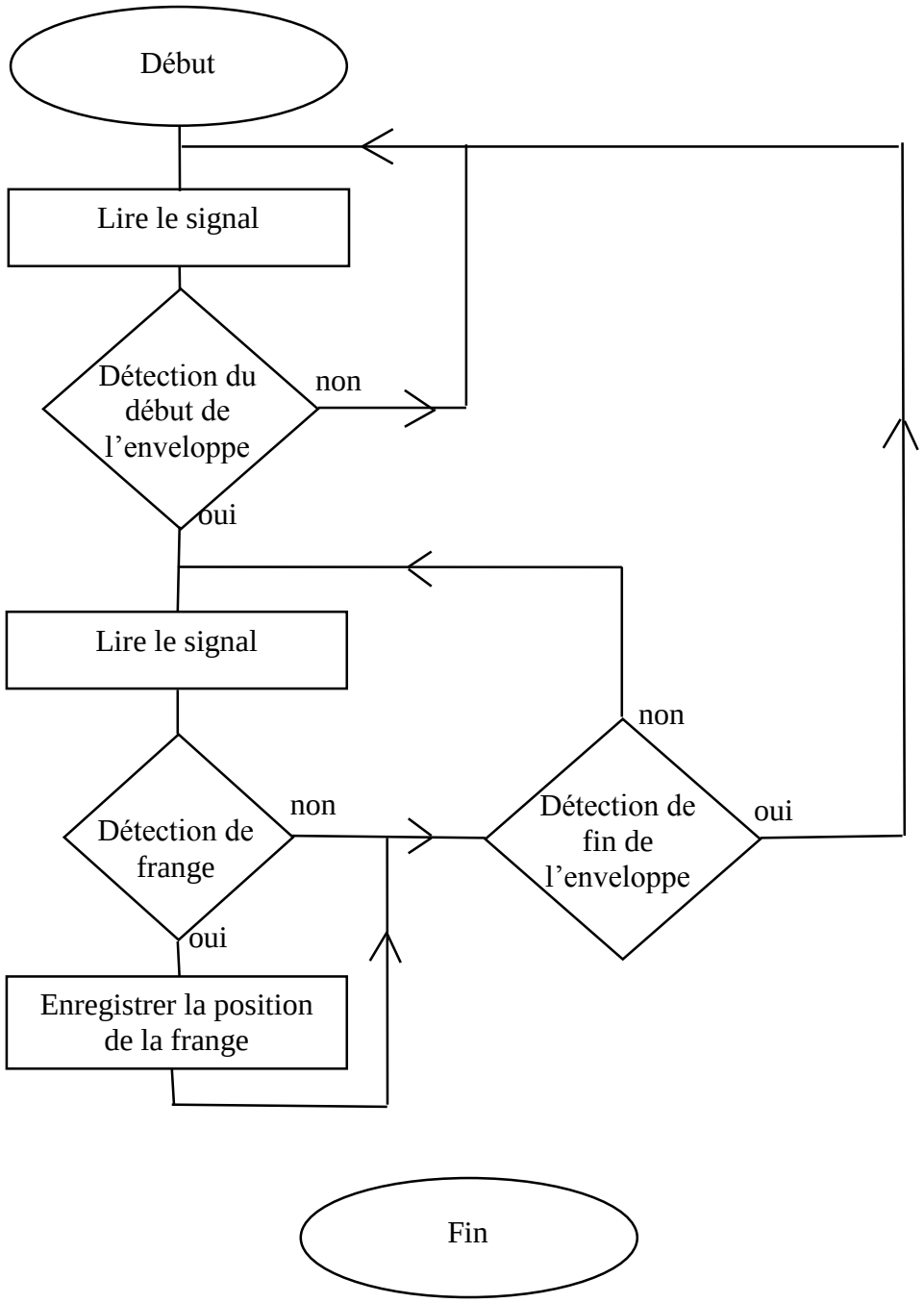
Le but de la programmation était de compter le nombre de franges et d'y associer le déplacement de la cale piezo électrique au cour du temps. Dans un premier temps, nous nous sommes aperçu qu'il n'était pas possible de travailler en temps réel avec ce logiciel de programmation, car celui-ci est trop long pour traiter le signal. C'est pourquoi nous avons réalisé un programme pour enregistrer le signal. Voici l'organigramme de ce petit programme :

Organigramme de l'enregistrement du signal :



Un fois le signal enregistré, il faut maintenant le traiter. C'est-à-dire, qu'il faut localiser chaque bouffé et compter le nombre de franges (sinusoïde). Puis ensuite associer ces franges à un déplacement.

Organigramme du traitement du signal du signal :



Le programme se fini lorsque tout le signal a été lu.

Nous n'avons pas réussi à faire tout ce programme. En effet nous n'avons pas réussi la détection de franges. Cependant nous avons réalisé la détection de l'enveloppe en utilisant un filtre passe-bas. Comme je l'ai dit précédemment, nous n'avons pas réussi ce programme par manque de connaissance sur le logiciel, et par manque de temps.

III. Observations diverses

A. Détermination du sens de déplacement

Le système de mesure par retroinjection laser mis en œuvre lors de ce projet permet de mesurer des déplacements avec une résolution de l'ordre de la demi longueur d'onde soit environ 300nm mais qu'en est-il du sens de déplacement ?

Si on examine en détail les acquisitions faites avec la cale piézo-électrique on remarque que : temps de monté et temps de descente de chaque franges ne sont pas identiques, on observe alors des « dents de scie » caractéristiques du sens de déplacement

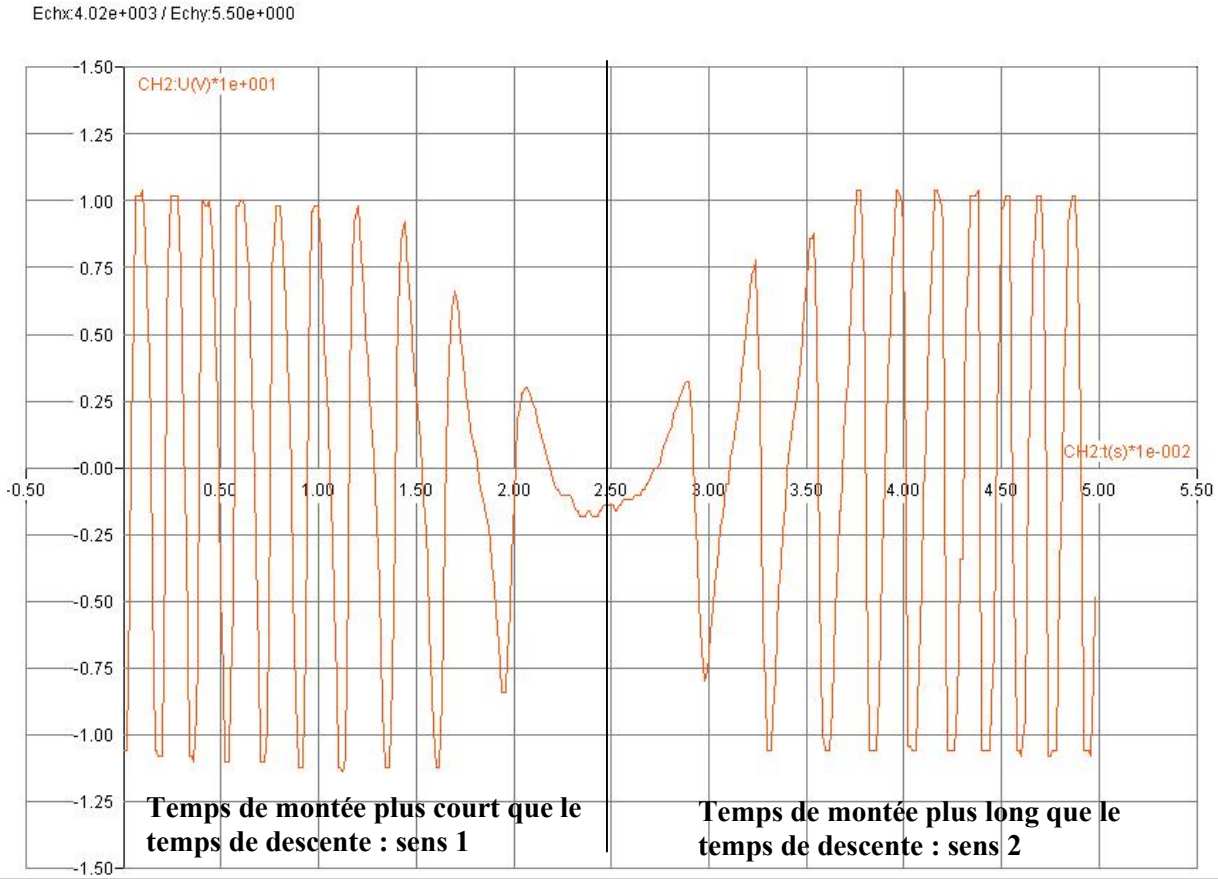


Figure28 : Etude du sens (premier exemple)

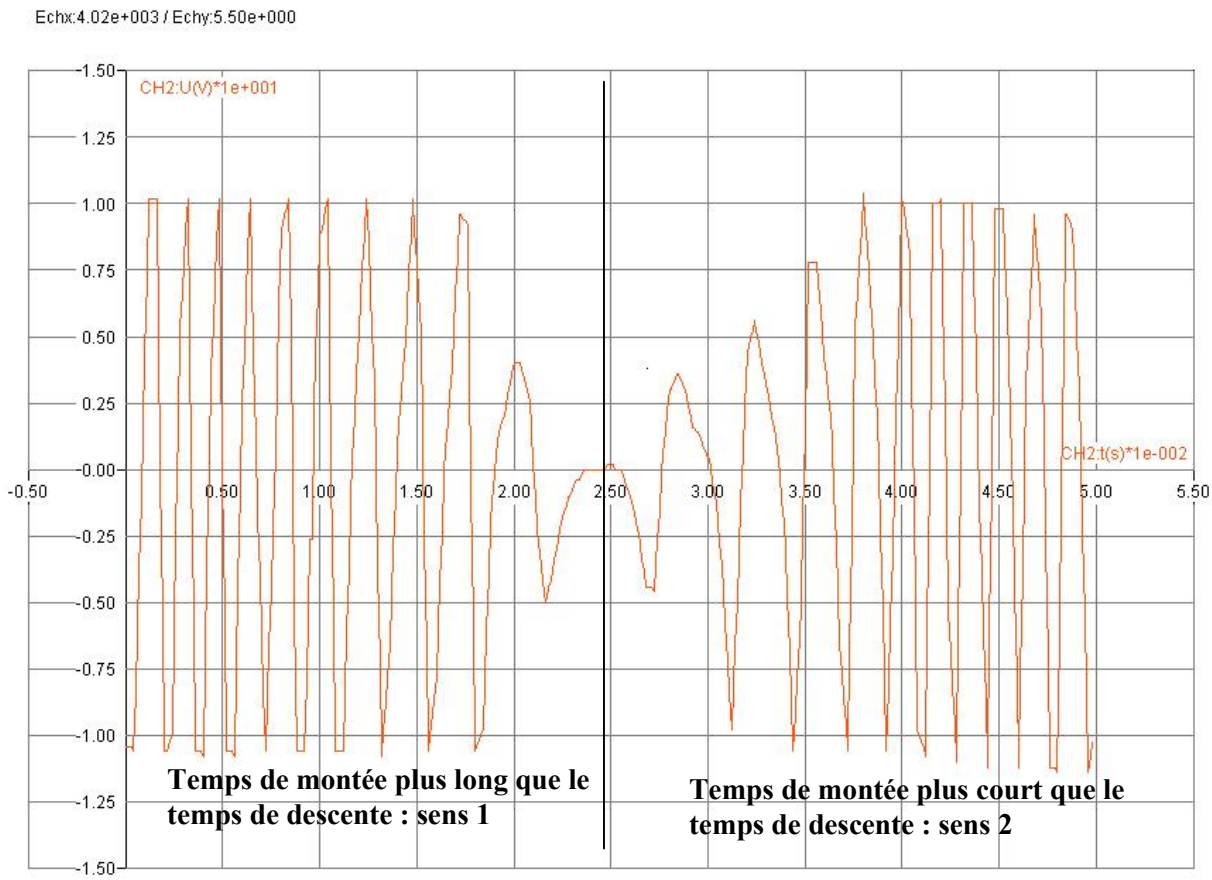


Figure29 : Etude du sens (second exemple)

Le problème qui se pose est de savoir à quel cas (rapprochement de la cible par rapport à la source ou éloignement) correspond telle inclinaison des « dents ». Des études ont déjà été faites dans ce domaine et des comparaisons entre déplacement réel de la cible et signal « dent de scie ont été faite:

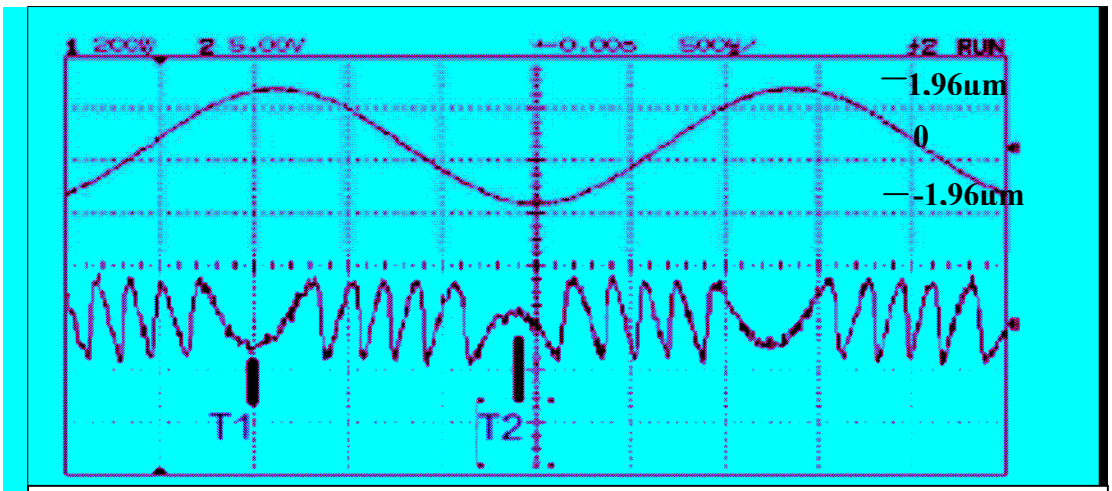


Figure30 : Courbe 1 : déplacement de la cible par rapport à la source
Courbe 2 : signal « self-mixing »

Entre T1 et T2 la cible se rapproche de la source donc dans notre étude :

-pour l'exemple1, le sens 1 correspond à un éloignement de la cible par rapport à la source et le sens 2 correspond à un rapprochement

-pour l'exemple 2, le sens 1 correspond à un rapprochement tandis que le sens 2 correspond à un éloignement

Pour approfondir l'étude, la création d'un programme donnant le sens de déplacement serait intéressante. On pourrait par exemple imaginer un programme dont le but est de calculer la dérivée des pentes. Ainsi la dérivée d'une pente dont le temps de monté est court est plus grande que la dérivée d'une pente dont le temps de montée est long (exemple la dérivé de f(x) = 3x est 3 tandis que la dérivée de f(x) = x est 1), ceci permettrait de connaître l'inclinaison des dents et de ce fait le sens de déplacement de la cible. Cependant nous n'avons pas eut le temps de réaliser un tel programme.

B. Influence d'une cible très réfléchissante

Nous avons remarqué à plusieurs reprises, lors de ce projet que le signal était de mauvaise qualité c'est-à-dire qu'il présentait des pics dédoublés, surtout lorsque la cible était très réfléchissante. Ceci s'expliquerait, selon la théorie, par la superposition de plusieurs retroinjections dues aux multiples réflexions entre la cible et la cavité lasers. Pour illustrer ce phénomène nous avons utilisé un miroir vibrant (piézoélectrique) comme cible puis nous avons réalisé deux acquisitions :

-une première acquisition avec un retroinjection optimale

-une seconde acquisition dans le cas ou le faisceau réfléchi ne rentre que partiellement dans la cavité

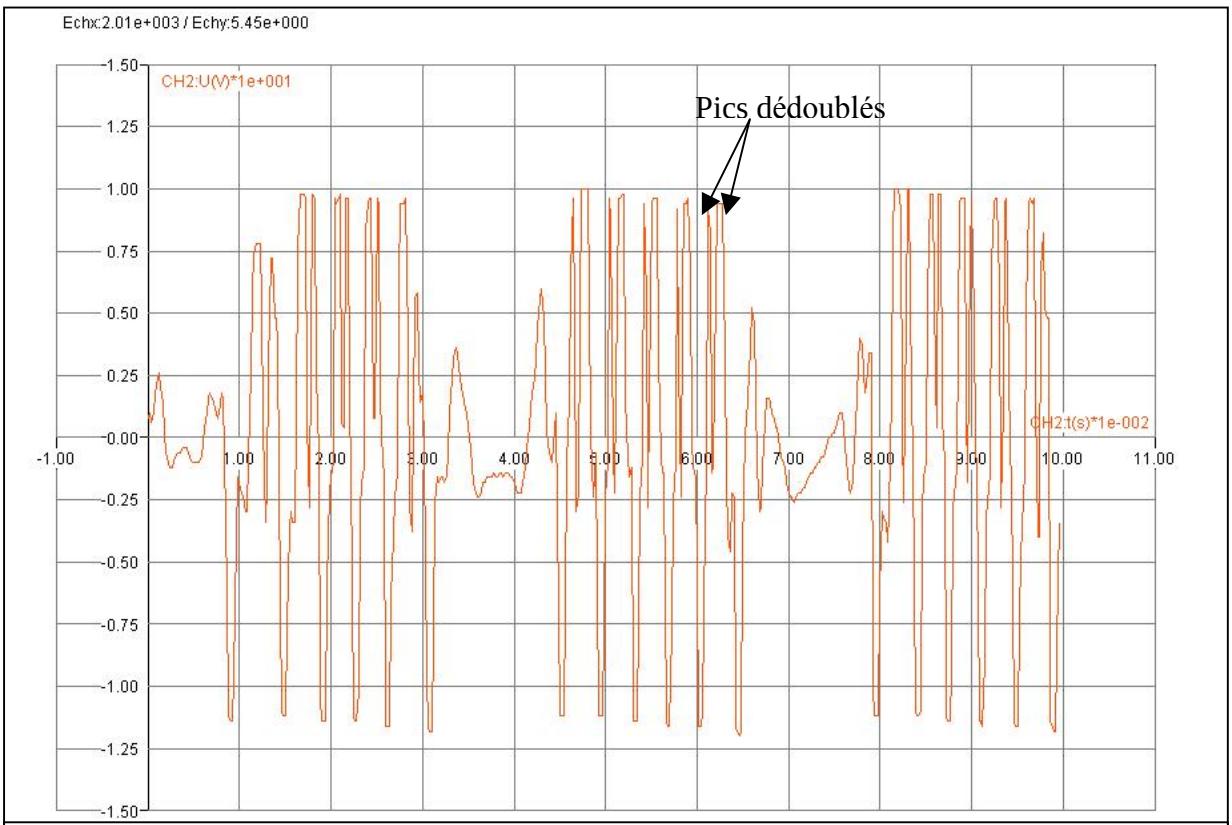


Figure31 : Cas d'une rétroinjection maximale

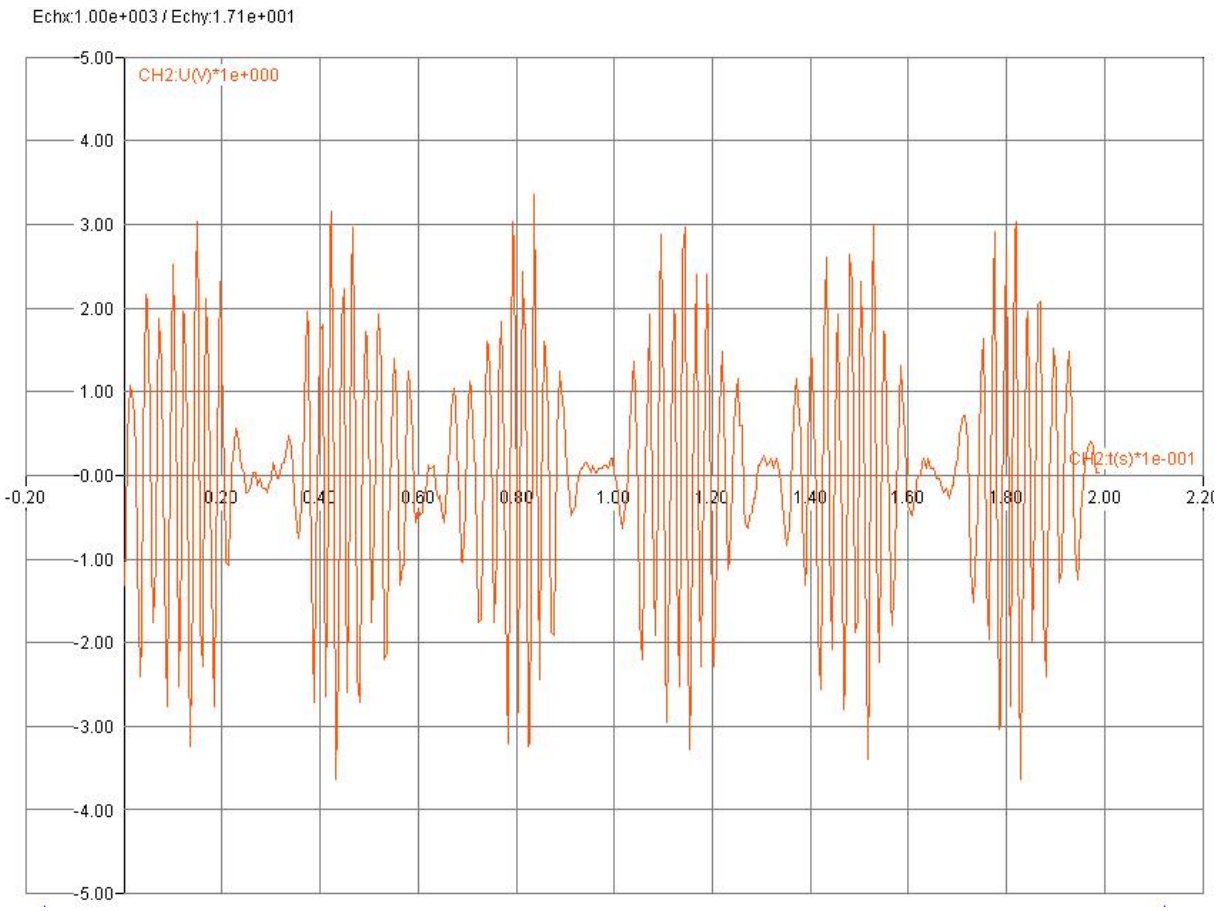
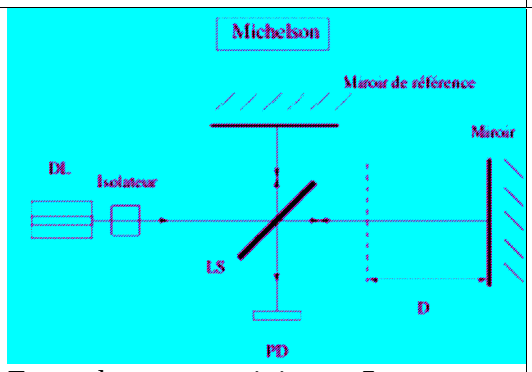
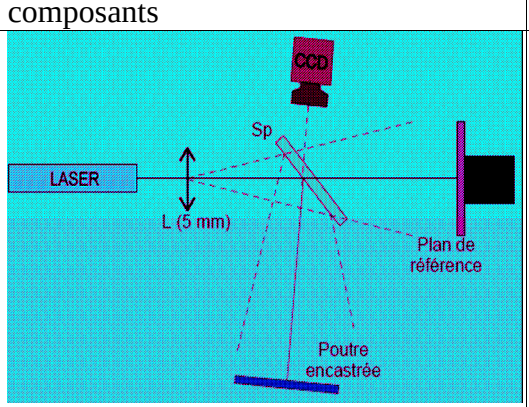
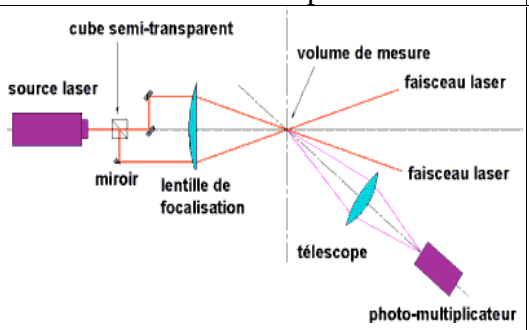
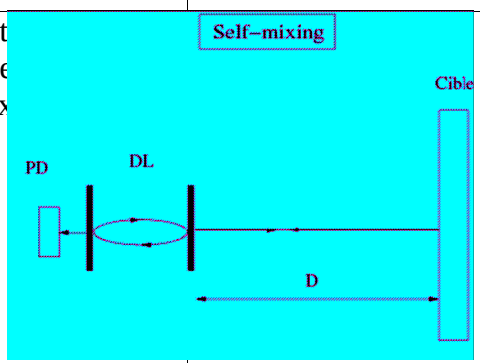


Figure32 : Cas d'une rétroinjection moindre

En conclusion, une trop « bonne » rétroinjection ne permet pas d'avoir un meilleur signal, au contraire elle peut fausser les mesures. De plus des études expliquent qu'une trop forte rétroinjection entraîne le passage du laser en régime « chaotique », le signal obtenu n'est alors plus un signal de self-mixing (absence du phénomène de battement).

IV. Conclusion : tableau comparatif

Nom du système de mesure	Schéma de principe (nombre de composant)	Résolution (mesure de déplacement)	Avantages et inconvénients principaux
Interférométrie de Michelson	 Encombrement : minimum 5 composants	.100nm soit la demi longueur d'onde	Avantage : système bien maîtrisé, possibilité de travailler en lumière blanche Inconvénient : très sensible, optique de précision
Interférométrie de Speckle	 Encombrement : 6 composants	.0,100µm également	Avantage : Mise en place aisée, obtention Speckle très facile Inconvénient : Système d'acquisition informatique
Vélocimétrie laser Doppler	 Encombrement : 5 minimums	.0,1 mm/s à 100m/s (gamme faible) .0,1m/s à 10km/s (gamme élevée) précision d'environ 1%	Avantage : mesure précise Inconvénient : mesure indirecte de la vitesse d'un objet
Ret lase mix	 Encombrement 3 composants	.résolution mesure de déplacement : ±λ/2 .gamme de vitesse : jusqu'à 90km/h (précision 1%)	Avantages : coût peu élevé, précision aussi élevée que les autres techniques Inconvénients : sensible au phénomène de Speckle et aux vibrations

En conclusion, le système de mesure par retroinjection présente l'avantage d'être composé de peu d'élément (donc d'être peu encombrant et peu coûteux) tout en présentant une aussi bonne résolution que les systèmes interférentielles couramment utilisés. De plus, à partir d'un principe simple à savoir la perturbation du signal émis par le signal rétrodiffusé, ce système permet de mesurer des déplacements, des vitesses ou encore des fréquences de vibrations. Cependant des phénomènes tel que l'effet Speckle perturbent fortement le signal et rendent certains types de mesures (ex : profilomètrie) difficile à réaliser.

Bibliographie et remerciements

Bibliographie :

Documents informatiques :
-www.afvl.ensma.fr/CD_Oleron_2005/Cours/Boutier/Oleron6_2005_Precision_L4.pdf
-www.enseeiht.fr/len7/gso/interf/interf.html
-www-rocq.inria.fr/who/Marc.Thiriet/Glosr/Meca/Flu/VLD.html
-www.holo3.com/interferometrie-speckl-afr16.html
ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00000387/01/bes.pdf

Documents papier:
-Rapport de projet de deuxième année de BTS photonique (année 2005-2006) de Kimmich Vincent intitulé : « vibromètrie par self mixing »
-Guide labview

Remerciements :

Nous tenons à remercier l'ensemble des professeurs pour leur aide tout au long du projet :
-M.Jehin qui nous a aidé pour comprendre la théorie (physique) lié au self-mixing
-M.Kempf qui nous a permis de faire les bons choix en informatique
-M.Siegrist qui nous a permis d'avancé dans la réalisation d'un programme d'acquisition
-M.Samso pour ses conseils sur l'oral de présentation
Nous remercions également Vincent Kimmich dont le rapport de projet nous a été très utile et Caroline Bés pour sa thèse très enrichissante.