VÉLOCIMÉTRIE LASER DOPPLER

U51. ANALYSE FONCTIONNELLE DU SYSTÈME

1.1. Éléments à votre disposition

1.1.1. Matériel

Voir *cadre 1.*

Liste du matériel	*U51*	*U52*	*U53*
Laser He-Ne		X	X
Miroir		X	X
Séparatrice 50/50 ou cube séparateur		X	X
Lentilles f1 = 150 mm,		X	X
f_2 = 150 mm et f = 10 mm		X	
Diaphragme à iris		X	
F.O. plastique		X	X
Carte électronique		X	X
Oscilloscope numérique		X	X
Micro-ordinateur et imprimante	X	X	X
Moteur - Disque transparent		X	X
GBF		X	
Carte interface LED		X	
Éléments élect. et méca. de liaison		X	X

cadre 1.

1.1.2. Documentation

Voir *cadre 2.*

1.1.3. Logiciels

Voir *cadre 3.*

Liste des logiciels	*U51*	*U52*	*U53*
Oscillo		X	X
Excel		X	X
Labview7		X	
Orcad 9			X

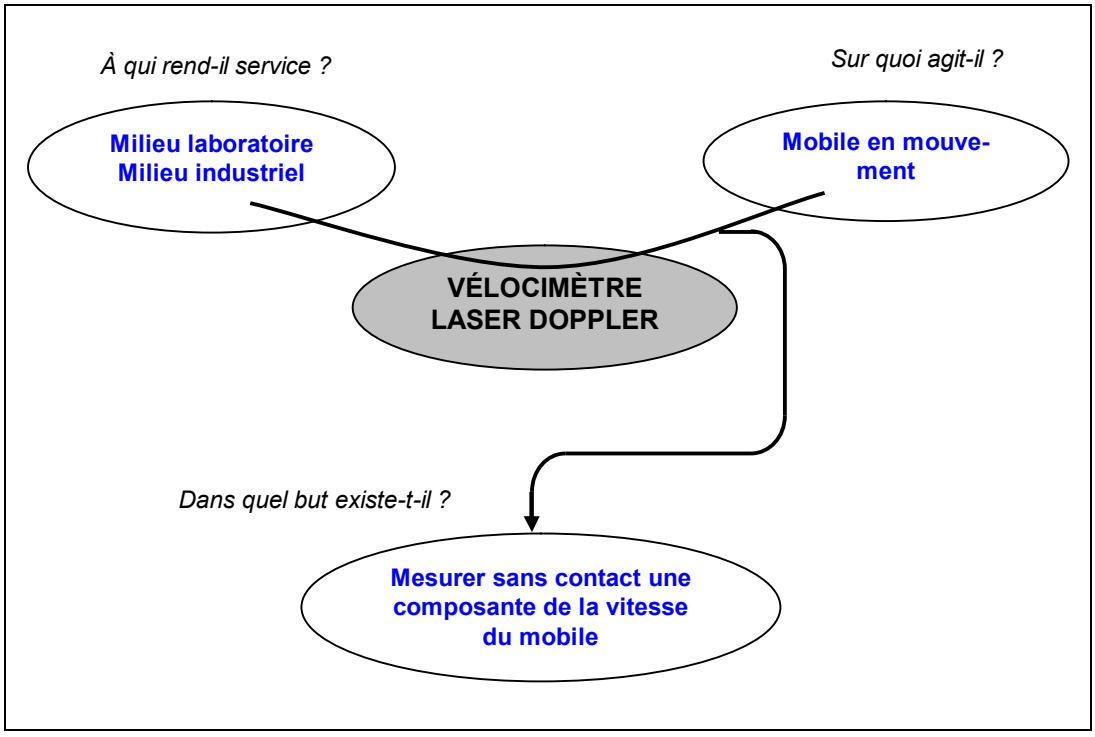
cadre 2.

Liste de la documentation	*U51*	*U52*	*U53*
Dossier technique	X	X	X

cadre 3.

1.2. Justification du besoin

Le produit que vous allez mettre en œuvre est défini par les données du **cahier des charges fonctionnel** (partiel) suivant :



Fonction principale

FP1	Déterminer la vitesse d'un point du mobile (une composante).

Fonctions contraintes

FC1	S'adapter à la géométrie et à la nature du mobile.
FC2	Fonctionner dans un milieu industriel.
FC3	Se conformer aux règles de sécurité.
FC4	Régler, entretenir.
FC5	Alimenter en énergie.

Rep.	Critères	Niveau	Flexibilité
FP1	• Détection des points du mobile • Vitesse des particules : • Précision : • Temps de détermination : • Indication : • Modes de fonctionnement :	• Sans contact, par la lumière diffusée par des particules de dimension 2 µm environ • De 0 à 2 m/s • Sans détermination de sens • 1% • 5 min • Affichage numérique • Automatique et semi-automatique	• ± 1 µm • Max 15 min
FC1	• Géométrie et position du mobile : • Accessibilité : • Distance maxi : • Zone de mesure :	• Déplacement dans un plan • Totale des deux côtés • 1 m • 1 à 3 cm²	 • Transparent • 2 m • 5 cm²

Exemples d'applications

Application 1 : Contrôle en ligne des coulées continues.

Un des principaux producteur d'acier en Allemagne a décidé d'utiliser le vélocimètre laser Polytec (LSV) après de nombreux tests.

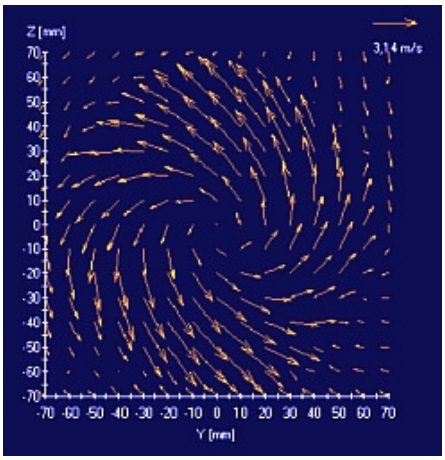
Le système LSV-6200 a remplacé les roues codeuses refroidies à l'eau. Le but de cet installation étant d'éliminer les erreurs de mesures dues à la corrosion, la pollution et les glissements de ces capteurs.

La coulée continue a une vitesse de 0,6 m/min.

La température de la surface est de 900°C.

L'épaisseur de la billette varie entre 160 mm et 270 mm.

Application 2 : Profil de la vitesse de l'air en sortie d'une turbine.



Pour étudier le flux d'air hautement turbulent en sortie d'un ventilateur, on utilise un ventilateur prolongé par un tube de diamètre 112 mm (diamètre du ventilateur) et 38 mm de longueur. La rotation des pales du ventilateur génère un flux turbulent.

Le profil des vitesses sont mesurés en différents plans parallèles. La figure montre cette distribution des vitesses à 25 mm de la sortie. On peut distinguer clairement les tourbillons et le contour circulaire du ventilateur dans le tracé vectoriel généré en utilisant le vélocimètre Dantec Dynamics FiberFlow.

Application 3 : Mesure des turbulences générées par un bateau.

L'étude du flux turbulent tridimensionnel autour de la maquette d'un navire dans une soufflerie a nécessité l'utilisation d'un système présentant une longue focale et une haute résolution.

Le dispositif expérimental utilise un tunnel de section 2 m par 1 m et une vitesse maximum de 15 m/s. En amont de la section de travail, une grille et un ensemble d'éléments de formes et d'états de surface variés permet de simuler différentes conditions de vent.

L'expérience permet de déterminer :

- la variation de la vitesse du vent en fonction de la hauteur par rapport à la surface de l'eau
- le degré de turbulence
- l'échelle des fluctuations de la turbulence.

Indiquer en complétant le tableau *cadre 4*, quelles doivent être les caractéristiques des systèmes de vélocimétrie laser Doppler utilisés pour chacune de ces trois applications.

Application n°	Nombres de composantes mesurables (1, 2 ou 3)	Détermination du sens de la vitesse (oui ou non)	Mesure par transmission (T) ou rétrodiffusion (R)
1			
2			
3			

cadre 4 : Caractéristiques des systèmes.

1.3. Introduction

La vélocimétrie laser Doppler est un système de mesure sans contact de la vitesse $\vec{v}$ de déplacement de particules traversant un volume de mesure (vm). Ces particules sont transportées par un solide, un liquide ou un gaz dont on pourra ainsi déterminer la vitesse.

En pratique, on peut considérer que les faisceaux concourants dans le volume de mesure interfèrent et forment un réseau de franges planes et parallèles d'interfrange (voir *cadre 5*) :

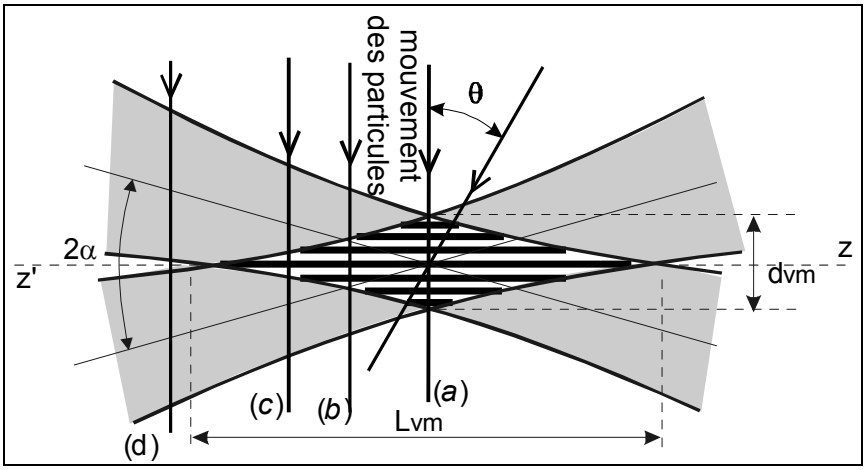
$$i = \frac{\lambda}{2\sin\alpha}$$

Quand une particule diffusante de vitesse uniforme $\vec{v}$ parcourt le volume de mesure le nombre de franges traversées par seconde est sa fréquence de diffusion :

$$\frac{v}{i} = \nu$$

Elle est assimilable à la fréquence Doppler.

On suppose ici la trajectoire normale aux franges
Voir aussi *Effet_Doppler.doc* et *VLD_html* dans le dossier technique.



cadre 5 : Trajectoires des particules – Volume de mesure.

1.3.1. Étude des principes mis en œuvre

On s'intéresse à l'importance de la trajectoire et de la taille des particules. Ces caractéristiques participent au choix des paramètres du montage.

Des particules de vitesse $\vec{v}$ parcourent la zone de franges d'interfrange $i \approx \frac{\lambda . f_1}{d}$ où d est l'écartement entre les faisceaux parallèles avant la lentille et f_1 la focale de la lentille (voir *cadre 7*). Elles diffusent une intensité lumineuse proportionnelle à l'éclairement de leur surface. On s'attend à ce qu'elles diffusent un signal de fréquence $\frac{v}{i} = \nu$ lorsqu'elles traversent le réseau de franges perpendiculairement aux franges.

- Comment varie la fréquence ν si les particules traversent les franges avec une certaine inclinaison θ par rapport à la normale aux franges ?
- Que se passe-t-il si elles sont trop grosses (de diamètre supérieur à i) ? Trop petites ?
- Comment varie la fréquence ν si on augmente f1 ? Si on augmente l'écart d entre les faisceaux ?

1.3.2. Bouffées Doppler

1.3.2.1. Signal Doppler

Suivant la trajectoire (a), (b) (c) ou (d), voir *cadre 5*, on doit s'attendre à un signal (bouffée Doppler) qui présentera l'une des formes (1), (2) (3) ou (4) du *cadre 11* (conditions idéales).

La recherche (par FFT) des fréquences de chaque signal donne les spectres (I), (II), (III), et (IV) du *cadre 12.*

Trajectoire	(a)	(b)	(c)	(d)
Signal (1), (2), (3) ou (4)				
Spectre (I), (II) (III) ou (IV)				

cadre 6 : Bouffées Doppler.

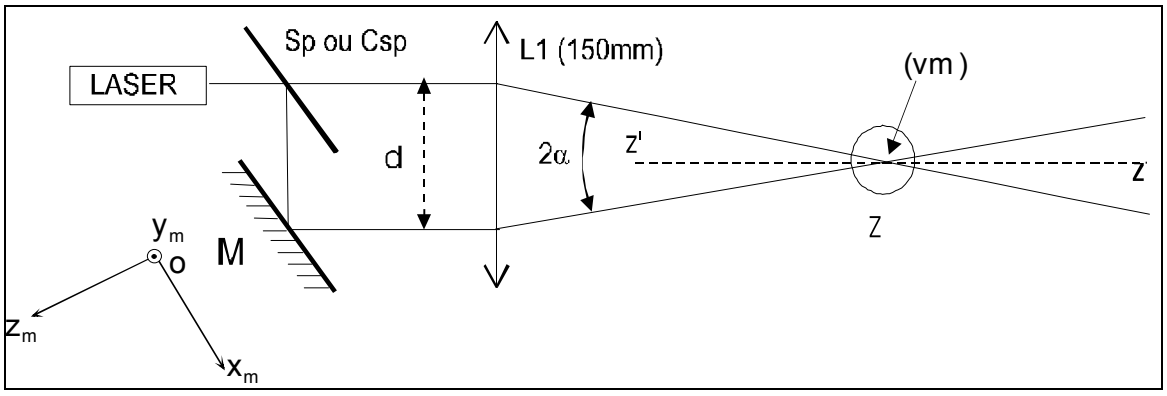
Étudier chaque situation, puis associer chaque trajectoire à son signal Doppler et à son spectre en complétant le tableau *cadre 6.*

1.3.2.2. Évaluation de la fréquence attendue

On cherche à connaître la fréquence Doppler fournie par les particules microscopiques (microbulles, défauts …) d'un disque en plexiglas en rotation à vitesse N = 0,45 tour.s^{-1}.

Les particules diffusantes, traversant les franges d'interfrange i, émettent un signal de fréquence $\nu = \frac{v}{i}$; v est la vitesse des particules : $v = 2\pi RN$ ($m.s^{-1}$).

- Évaluer la fréquence Doppler si R ≈ 4 cm et i ≈ 5 μm.
- Quelle doit être, sur l'oscilloscope, la base de temps choisie pour observer 50 oscillations du signal ?



cadre 7 : Réalisation du réseau de franges.

1.3.3. Étude de la carte électronique

En plus des fréquences apportées par la bouffée Doppler, le signal détecté comporte des bruits de basses et hautes fréquences d'origines diverses.

Un signal peut alors apparaître comme celui de la voie 2 du *cadre 10.* Correctement filtré, il doit avoir l'aspect représenté sur la voie 1 du *cadre 10.*

D'après le schéma structurel de la carte vélocimétrie (voir cadre 4 du dossier technique), compléter le *cadre 8* permettant de déterminer l'effet des différentes structures sur les signaux U1, U2, U3, U4.

Sachant que la maquette comporte un filtre passe-haut et un filtre passe-bas dont le but est d'isoler la bouffée Doppler, préciser comment doivent être choisies les fréquences de coupures de ces filtres par rapport au signal Doppler ?

	Continu	100 Hz	Bouffée Doppler	Bruit HF
U1				
U2				
U3				
U4				

Légende :

X : Présence du signal
A : Signal atténué
0 : Pas de signal

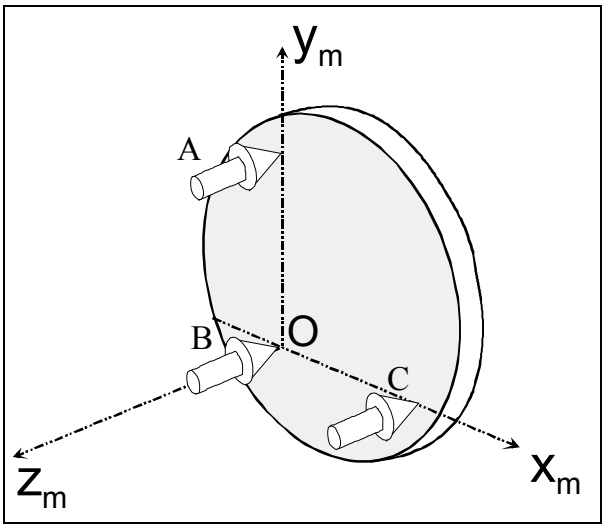
cadre 8 : Rôle de la carte électronique.

1.3.4. Réglage de la coplanéité des faisceaux

Le réseau de franges (voir *cadre 7*) sera obtenu si les deux faisceaux concourent dans la zone Z. Cette condition est satisfaite si les deux faisceaux issus de la séparatrice et du miroir M sont coplanaires, ou mieux, parallèles pour faciliter l'interprétation et les réglages.

Le diamètre des faisceaux en Z est estimé à 100 µm et doivent être sécants.

En première approximation, on peut admettre qu'un déplacement angulaire θ du miroir M provoque un déplacement linéaire $\varepsilon = 2f'_1\theta$, dans le plan de focalisation (parallèle au plan xOy à distance f'_1 de la lentille L_1). Voir *cadre 7.*



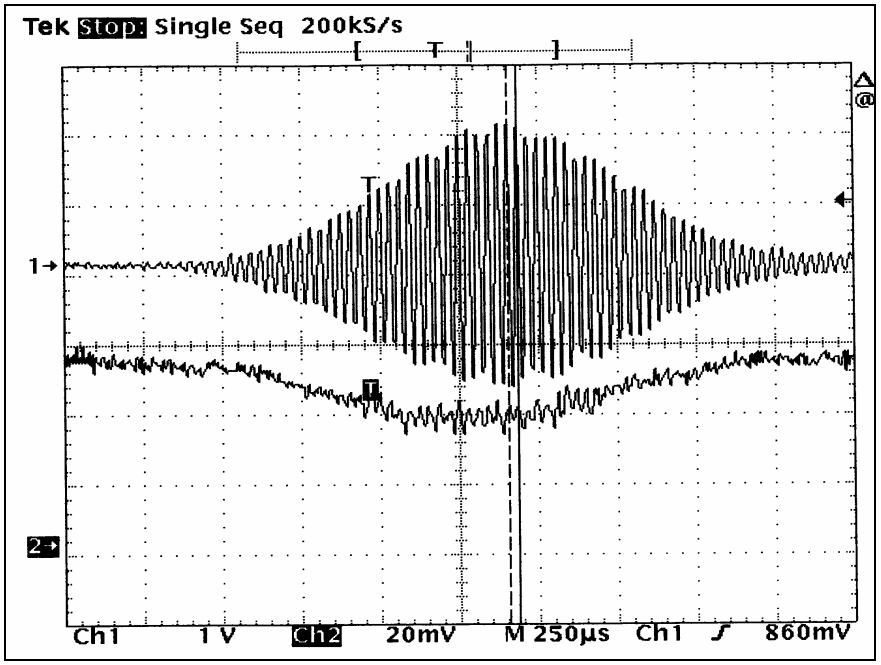
cadre 9.

Le miroir est défini dans le repère (O,x_m,y_m, z_m). Voir *cadre 9*.

- En tenant compte des paramètres du montage (voir données ci-dessous), calculer le déplacement du faisceau au point de concours des faisceaux lorsque la vis de réglage du miroir M tourne d'un tour.
- De combien de tours faut-il tourner la vis pour obtenir un déplacement des faisceaux de 160 µm (ordre de grandeur du diamètre des faisceaux au point de focalisation) ?
- Conclusion, le système est-il bien adapté ?

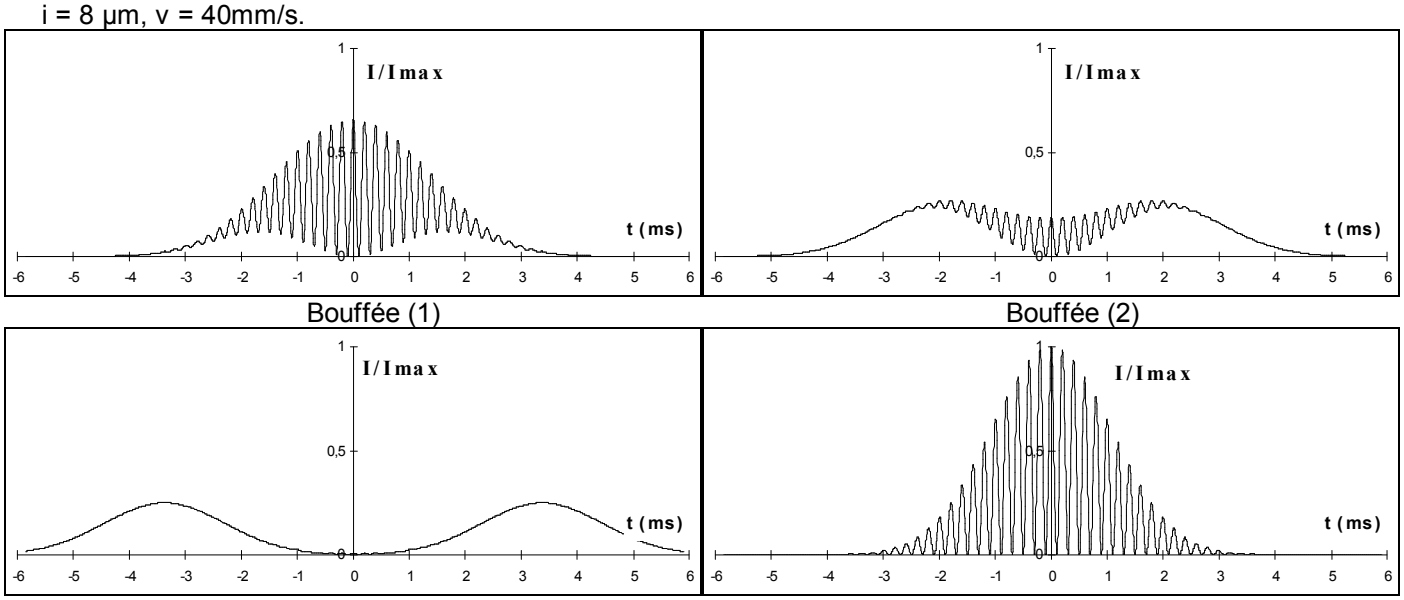
Données :

- OA = 30 mm ;
- Focale de L1 : f_1 ;
- Pas des vis : 0,80 mm.



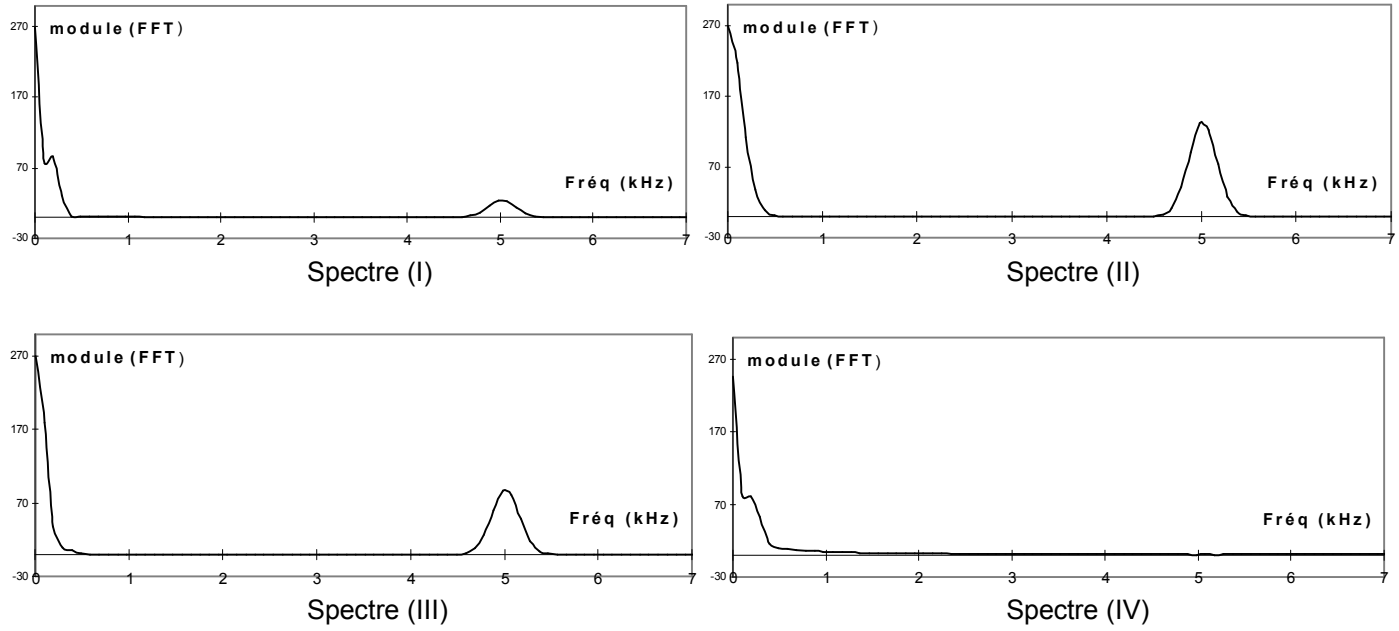
cadre 10 : Voie 2 : le signal après détection (20 mV/div).
Voie 1 : le signal symétrisé, amplifié et filtré (1 V/div).

i = 8 µm, v = 40mm/s.



Exemples de signaux optiques (1) (2) (3) et (4) fournies par les particules de trajectoires (a), (b) (c) ou (d).

cadre 11.



Spectres (I), (II), (III) et (IV) des bouffées Doppler (1), (2) (3) ou (4).

cadre 12.

VÉLOCIMÉTRIE LASER DOPPLER

U52. MISE EN ŒUVRE DU SYSTÈME

2.1. Éléments à votre disposition

2.1.1. Matériel

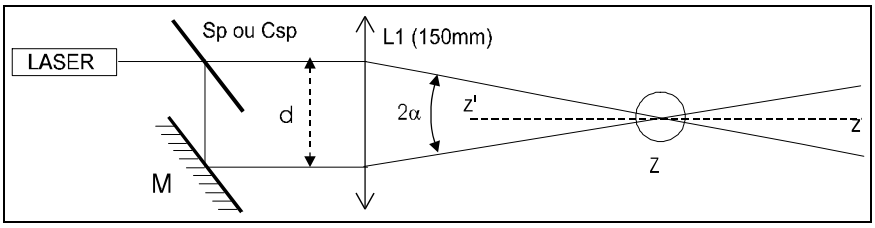
Voir *cadre 1*.

2.1.2. Documentation

Voir *cadre 2*.

2.1.3. Logiciels

Voir *cadre 3*.



cadre 13 : Réalisation des franges.

2.2. Travail demandé

2.2.1. Montage

Réaliser le montage optique du *cadre 13*.

La séparatrice Sp (ou le cube séparateur Csp) et le miroir M donnent deux faisceaux parallèles distants de d = 1 à 3 cm.

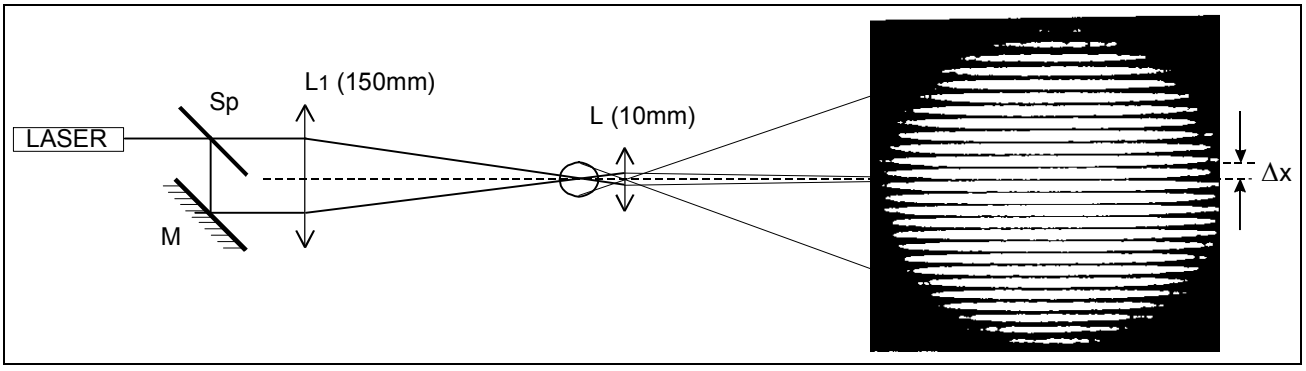
La lentille L_1 de focale 150 mm réalise volume de mesure au voisinage de son foyer.

2.2.2. Visualisation des franges – Mesure de l'interfrange

Faire l'image des franges d'interférences à une distance D du volume de mesure (grandissement $|\gamma| \approx \frac{D}{f}$, voir *cadre 14*). Mesurer D et l'interfrange Δx de l'image. En déduire la valeur de l'interfrange i.

Noter votre valeur de l'interfrange i.

Montrer le réglage à un professeur. Expliquer votre mesure de i.



cadre 14 : Visualisation des franges à l'aide d'une lentille L.

2.2.3. Montage de l'optique et de l'électronique de réception

La lumière diffusée par une particule passant dans le volume de mesure est reçue par une fibre plastique FO.

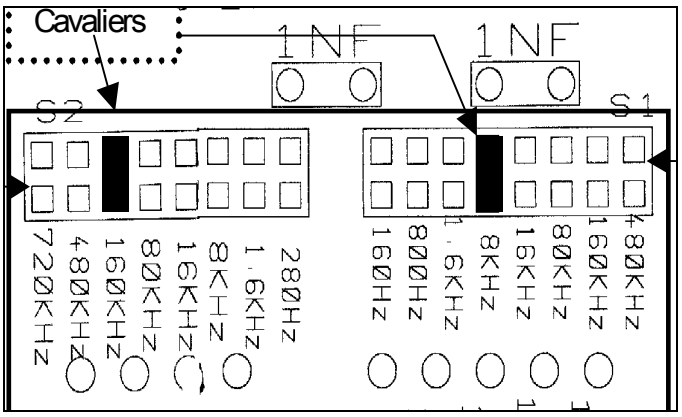
Le couplage est assuré par une lentille L_2 (f_2 = 150 mm). Voir *cadre 16*. L'iris supprime la lumière directe des faisceaux transmis.

L'autre extrémité de FO est insérée dans le corps de la photodiode de réception de la carte électronique.

Connecter la sortie BNC de la carte à l'entrée de l'oscilloscope.

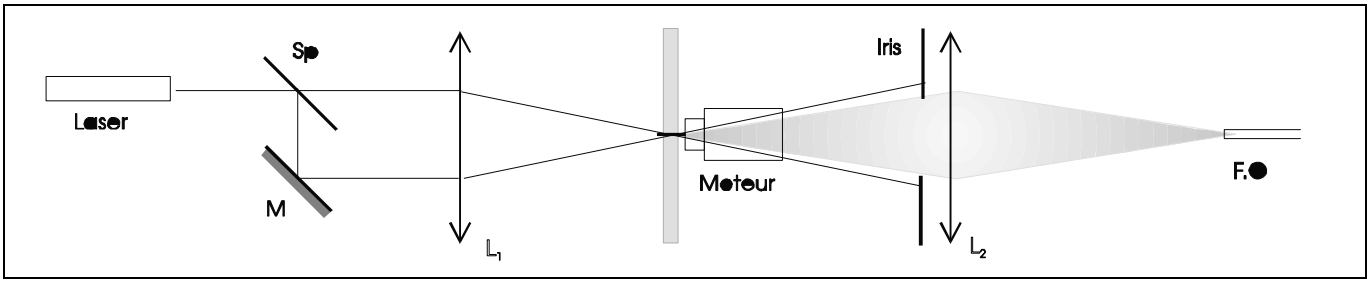
Les signaux à visualiser sont faibles et noyés dans les bruits continus et alternatifs, ils sont de plus très fugitifs. Leur traitement nécessite :

- des filtres électroniques passe-haut et passe-bas (choisis par des cavaliers sur la carte électronique *cadre 15*) ;
- un réglage du seuil de détection (trigger de l'oscilloscope) ;
- une mémorisation (fonction RUN-STOP de l'oscilloscope).



cadre 15 : Choix des filtres à l'aide des cavaliers.

Avant de sélectionner les filtres inférieur et supérieur, il faut avoir une idée de la fréquence à mesurer. Une évaluation de la fréquence attendue (U51 partie 1.3.2.2) permet de prévoir ν de l'ordre de 15 kHz.



cadre 16 : Montage vu du dessus.

2.2.4. Installation du disque transparent

- Placer le disque perpendiculairement à l'axe des faisceaux sur un support à déplacement micrométrique. Les faisceaux doivent converger dans le disque en un « point » de mesure M_1 voisin du bord du disque. M_1 est approximativement à une distance R_1 = 50 mm du centre du disque.
- Nous ferons des mesures en des points M_1, M_2, … équidistants, le long d'un rayon du disque.
- Les particules diffusantes du disque (micro bulles, défauts, ...) doivent traverser les franges perpendiculairement à celles-ci.
- Alimenter le moteur à partir de la carte électronique (sortie MOT+) sous une tension voisine de 5 à 7 V (réglage par potentiomètre 4,7 kΩ). Sa vitesse de rotation est alors N ≈ 0,4 ou 0,5 tour.s^{-1}).
- Mesurer (en chronométrant la durée de quelques tours du disque) la vitesse de rotation du disque. Noter le résultat :
- En déduire la fréquence attendue : $\nu = \dfrac{2\pi RN}{i}$

2.2.5. Mesure de fréquences Doppler

Rechercher le signal caractéristique du passage d'une particule diffusante dans le volume de mesure : une « bouffée Doppler ».

Réaliser la liaison oscilloscope-ordinateur avec le câble approprié (vers un port série disponible).
Le logiciel *Oscillo* permet de faire l'acquisition du signal par le micro-ordinateur.

Par Oscilloscope/Acquisition, acquérir et tracer le graphe U = f(t). Evaluer la durée Δt de la bouffée (cliquer sur le bouton gauche de la souris).**Enregistrer** le graphe sous veloUt.xls (sera utilisé en 2.2.7)

Sous Analyse/Vélocimétrie, (*voir cadre 18),* tracer le graphe FFT = f(Fréq.). Faire Options/Zoom, encadrant le pic gauche à l'aide d'un rectangle à la souris.
Repérer et noter la fréquence ν (FFT) du maximum.
Sauvegarder le graphe sous *velo.tek.*

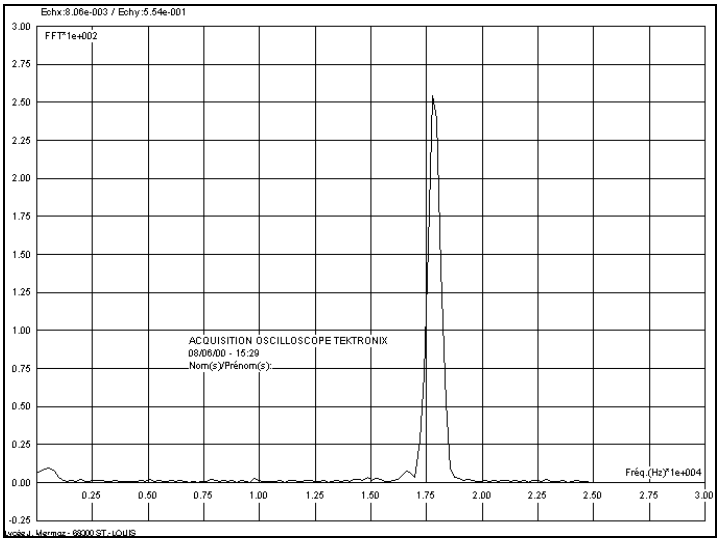
Sous Analyse/Vélocimétrie, cliquer sur le bouton Vélocimétrie. Cette commande permet le calcul de la vitesse v des particules ainsi que de la longueur ΔL de la bouffée.

Faire les mesures, dans les mêmes conditions (même interfrange, pour la même vitesse N du disque), en des points M1, M2, etc ... distants les uns des autres de 5 mm le long d'un rayon du disque. Présenter les résultats dans un tableau *Excel velo2.xls* (voir *cadre 17*).

Montrer votre montage à un professeur.

i = ….. µm						
Mesures	M1	M2	M3	M4	M5	…
R (mm)						
ν (kHz) FFT						
v (mm.s^{-1})						
Δt (ms)						
ΔL (µm)						

cadre 17 : *velo2.xls.*

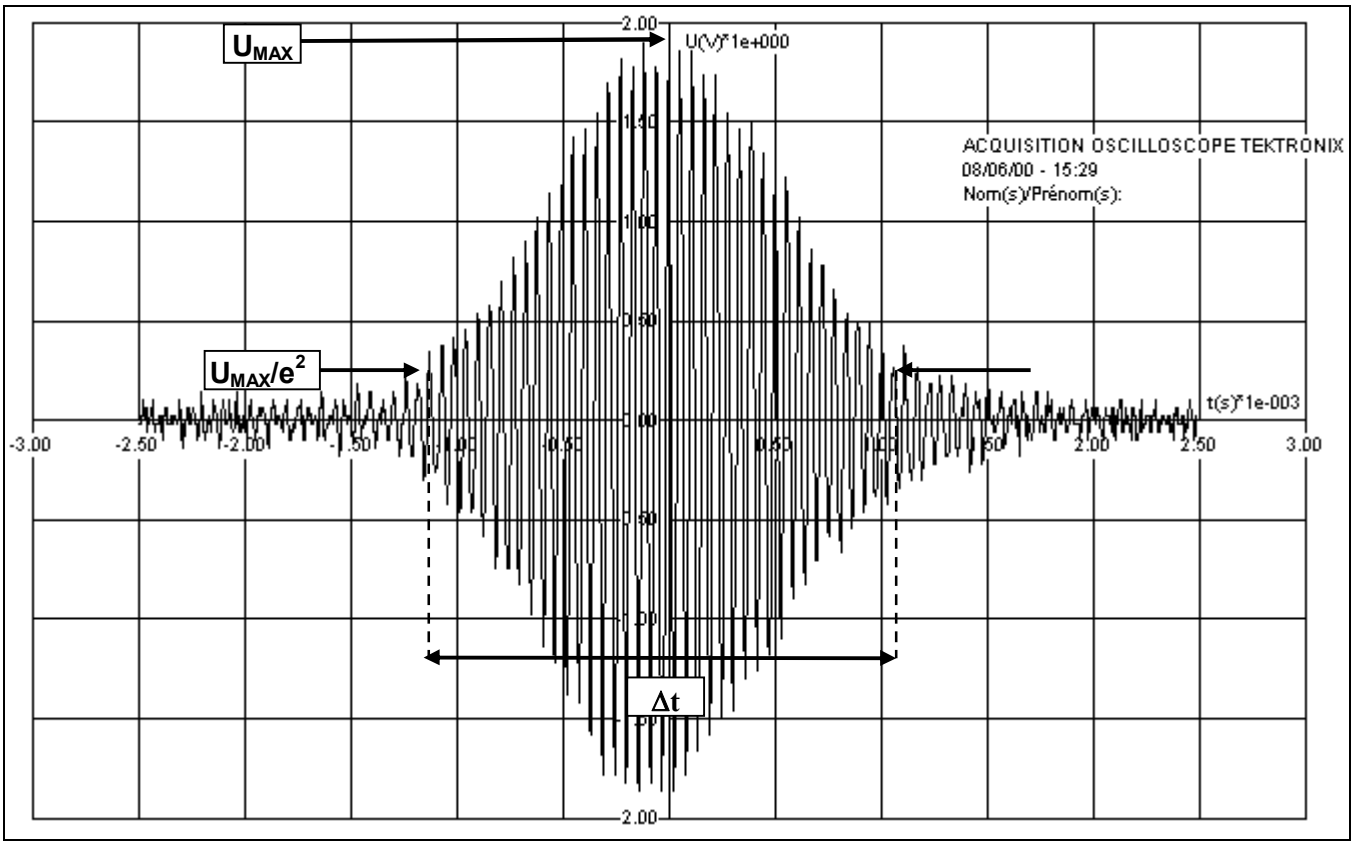


cadre 18 : Fréquence obtenue par FFT. (ν = 17,9 kHz).

2.2.6. Montage par rétrodiffusion

Placer l'extrémité de la fibre optique du récepteur entre les deux faisceaux incidents près du disque en rotation. On cherchera à capter les bouffées Doppler générées par le passage de particules par **rétrodiffusion**.

Montrer un exemple de bouffée à un professeur.



cadre 19 : Exemple d'une bouffée Doppler. Δt est la durée d'une bouffée. (R = 28 mm; i = 4,6 µm; $\Delta t \approx 2{,}2$ ms).

2.2.7. Partie informatique

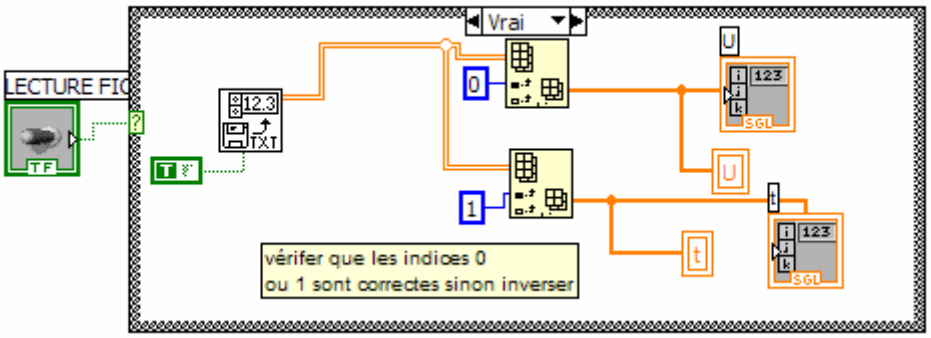
- Charger le logiciel labview7
- Charger le fichier

tele a compléter.vi

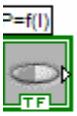
- Ce programme (incomplet pour l'instant) doit :

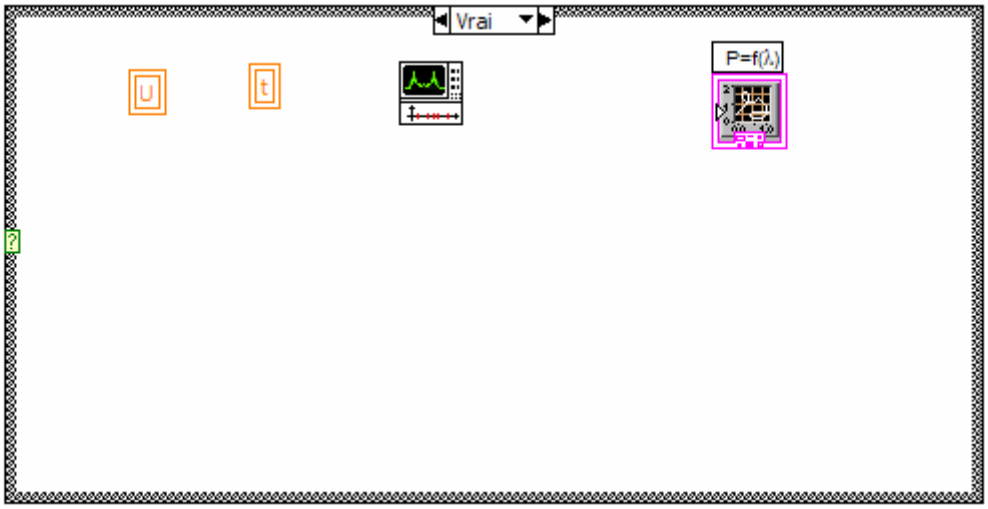
1. Lire le fichier excel que vous aviez précédemment enregistré du signal U=ft)
2. Afficher si demandé par l'action sur l'interrupteur le signal U=f(t)
3. Calculer et afficher sur demande la transformée de Fourier du signal U

Choisir correctement les indices dans la fonction lecture pour affecter correctement les tableaux U et t.



Compléter la face diagramme qui doit permettre le calcul et l'affichage de la transformée de fourier.





Faire valider votre programme par un professeur Enregistrer et joindre a votre compte-rendu la face diagramme.

VÉLOCIMÉTRIE LASER DOPPLER

U53. ANALYSE DES PERFORMANCES DU SYSTÈME

3.1. Éléments à votre disposition

3.1.1. Matériel

Voir *cadre 1*.

3.1.2. Documentation

Voir *cadre 2*.

3.1.3. Logiciels

Voir *cadre 3*.

3.2. Travail demandé

3.2.1. Partie optique

Fichier : *velo2.xls* ou *secours1.xls* donné.

3.2.1.1. Analyse des mesures

Le volume de mesure est dans la zone d'interférences au voisinage du foyer de la lentille L_1 de focale f_1 = 150 mm (*cadre 22*).

La largeur d_{vm} du volume de mesure est donnée par :

$$d_{vm} \approx 2\omega'_O = \frac{2\lambda f_1}{\pi\omega}$$ (voir *cadre 20*).

Prendre $\omega \approx 0{,}4$ mm (rayon de chaque faisceau à l'entrée de la lentille L_1).

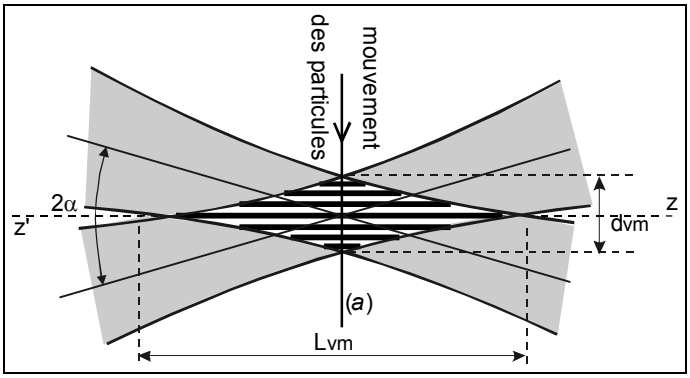
La profondeur L_{vm} du volume de mesure est donnée par :

$$L_{vm} \approx \frac{d_{vm}}{\tan\alpha}$$

La valeur de α est obtenue par :

$$i = \frac{\lambda}{2\sin\alpha}$$

Prendre pour i votre valeur trouvée en 2.2.2 (visualisation des franges à défaut prendre i ≈ 4,6 µm).

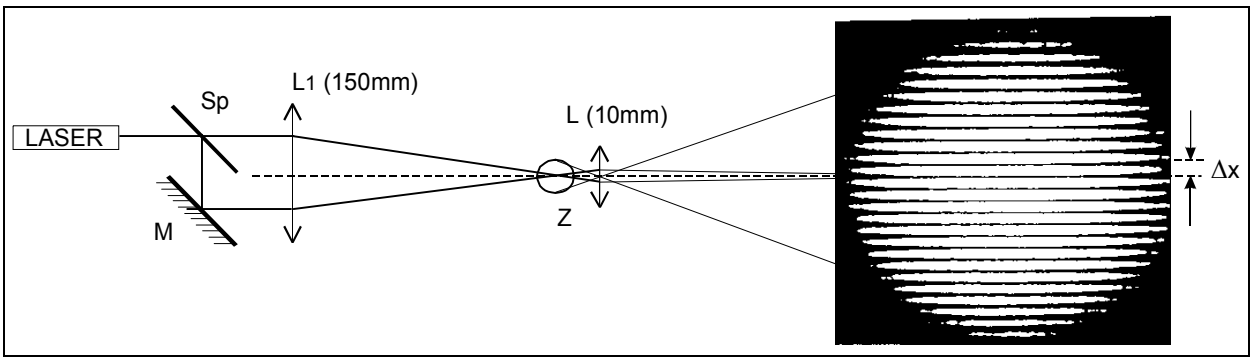


cadre 20 : Définition du volume de mesure.

i = 9,1 µm						
Mesures	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
ν (kHz) Oscillo	13,16	12,22	11,25	10,30	9,75	9,00
ν (kHz) FFT	13,67	12,10	11,20	10,35	9,55	9,00
v (mm.s^{-1}) = νi	124,4	110,1	101,9	94,2	86,9	81,9
Δt (ms)	1,47	1,22	1,6	1,74	1,77	1,8
ΔL (µm) = vΔt	178,4	134	155	162	163	145,5

cadre 21 : *secours1.xls*.

- Calculer d_{vm} ; calculer L_{vm}.
- Observer le tableau des résultats *velo2.xls* (à défaut, prendre les valeurs de *secours1.xls cadre 21*). Le logiciel *Oscillo* a calculé la vitesse v = νi des particules et la longueur ΔL = vΔt des bouffées Doppler.
- Comparer ΔL à d_{vm} : (largeur mesurée et calculée du domaine de mesure).
- Représenter ν en fonction de R ainsi que la DMC de pente 2πN/i. En déduire la vitesse de rotation du disque N en tours/s.

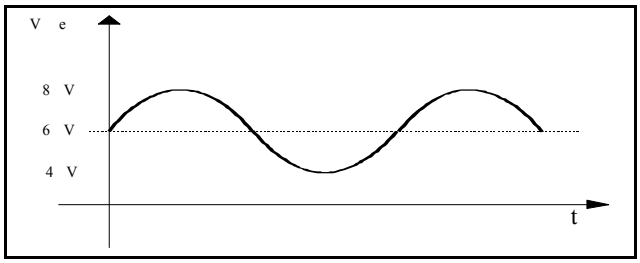


cadre 22 : Visualisation des franges à l'aide de la lentille L, coupe transversale du volume de mesure.

3.2.1.2. Domaine de mesure

Quel est le domaine des vitesses v mesurables par le système si les fréquences ν sont mesurées entre 1 kHz et 1 MHz et si les interfranges i sont choisies entre 3 µm et 30 µm ? (v = υi).

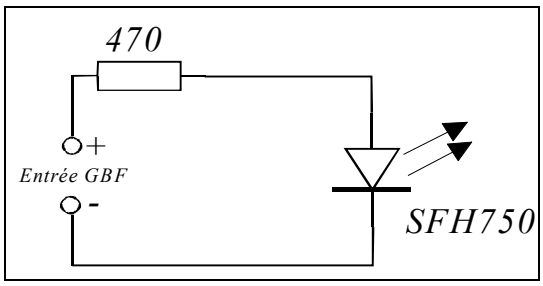
…… ≤ v ≤ …….



cadre 23 : Signal de sortie du GBF.

3.2.1.3. Montage par rétrodiffusion

Lire le document dans *VLD_ISL.doc :* "ANEMOMETRE LASER DOPPLER MINIATURE DE l'ISL" puis dire quels avantages présente le système utilisé en rétrodiffusion. Quel est selon vous son principal inconvénient ?

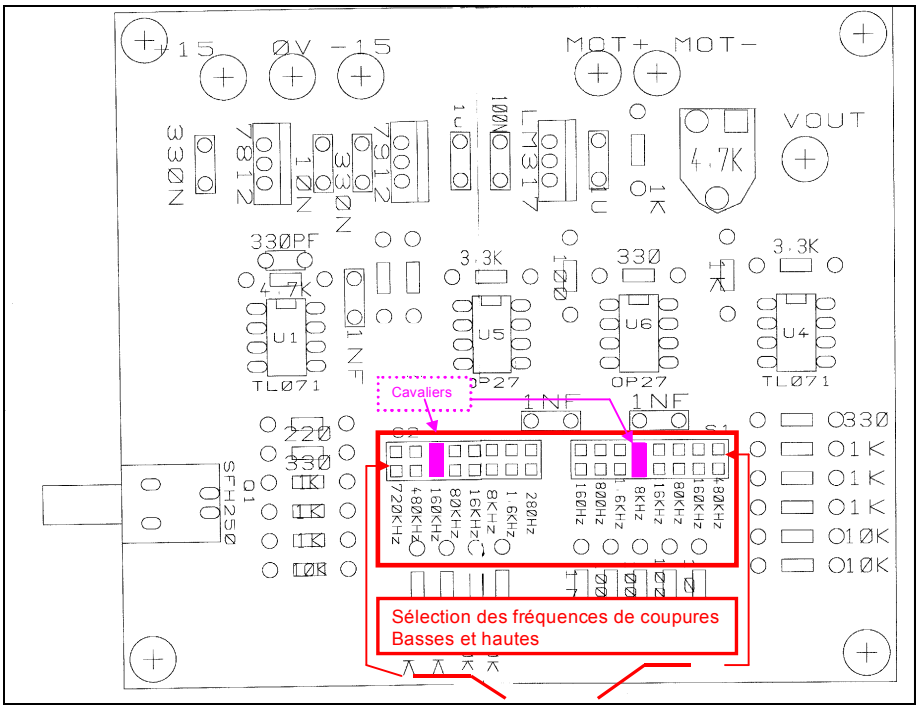


cadre 24 : carte interface LED.

3.2.2. Partie électronique

Dans le cadre d'une mesure de vélocimétrie appliquée à un écoulement gazeux, on est amené à détecter des bouffées de fréquences d'environ 160 kHz. On se propose de valider les performances de la carte électronique dans ces conditions.

- Proposer le réglage optimal des filtres (*cadre 25)* permettant la détection de ces bouffées.
- À l'aide d'une fibre optique plastique connecter la carte interface (*cadre 24*) à la carte électronique de vélocimétrie.
- Injecter un signal sinusoïdal avec une composante continue *cadre 23* (signal d'amplitude maximale 2 V et de composante continue 6 V).
- Visualiser à l'oscilloscope le signal de sortie (V_{OUT}) et la composante alternative du signal d'entrée issu du GBF.
- Relever sous Excel, en une dizaine de points, la caractéristique de Bode du gain. Faire apparaître sur le graphe les fréquences de coupures haute et basse . Sauvegarder le fichier.
- Conclure sur les performances de la carte.



cadre 25 : Schéma d'implantation de la carte électronique de vélocimétrie.