

## PROJET TELEMETRIE



Mesure de distance  
Télémètre laser

### Equipe du projet

Aurélie Belat-Porcher  
Jérôme Bontemps  
Christophe Capra  
Aurélie Coulon  
Anna Hochard  
Mathieu Rouillard  
Kevin Tribut

## Sommaire

Sommaire .....	2
Introduction.....	3
Travail théorique sur la télémétrie .....	4
Composition de l'équipe.....	6
Réflexions préalables à la conception du montage (séance 1 et 2).....	7
Détermination des paramètres du montage (séance 3 à 6) .....	10
Réalisation du montage (séance 3 à 10) .....	12
Conclusion .....	16

## Introduction

Durant cette deuxième année du cycle ingénieur en apprentissage de l'IFIPS, nous avons du choisir un sujet pour le projet coopératif. Nous avons donc choisi la télémétrie.

La télémétrie est utilisée pour effectuer des mesures de grandes distances, d'environ 0,1m à plusieurs kilomètres.

Son fonctionnement consiste à récupérer le signal envoyé par une diode laser via un photo détecteur. Par la mesure de l'écart de phase, entre signal émis et réceptionné, il va alors être possible de déduire la distance mesurée. Plusieurs grandeurs doivent donc être définies en fonction de la distance maximal à mesurée, de la précision souhaitée ainsi que des composants utilisés.

## Travail théorique sur la télémétrie

Le travail sur le calcul de distance peut se faire par différentes méthodes. Nous allons présenter pour chaque méthode, les performances, les avantages et les inconvénients.

### Technique de la simple mesure de temps de transit en régime impulsionnel

La mesure d'une distance par cette méthode consiste à déterminer l'intervalle de temps  $T_d$ , nécessaire à une impulsion laser pour effectuer un trajet aller-retour entre une source lumineuse et un photodétecteur, via une cible située à la distance  $D$ .

Connaissant l'indice de réfraction de groupe de l'atmosphère  $\mu$  et  $c$  la célérité de la lumière, la distance à la cible est donnée par la relation suivante.

$$D = c * T_d / \mu$$

Cette technique permet notamment de mesurer de grandes distances telles que la distance de la terre à la lune, mais aussi des distances de quelques mètres. Cependant, pour des distances aux alentours du mètre, le temps de transit de l'impulsion laser est particulièrement court, ce qui signifie que l'électronique associée au dispositif doit être par conséquent très rapide.

### Technique de la simple mesure de temps de transit en régime sinusoïdal (comparaison de phase)

La mesure de distance par temps de vol en régime sinusoïdal permanent est basée sur le fait que le déphasage du signal photoélectrique par rapport au signal incident est proportionnel au temps de vol. Ainsi, la mesure du déphasage entre le signal réfléchi par la cible et le signal de sortie de la source lumineuse permet d'accéder à la mesure de distance, via la relation suivante où  $f_m$  représente la fréquence de modulation en amplitude de la source lumineuse.

$$\Delta_\theta = (2D/c) * 2\pi f_m$$

Le déphasage est compris entre 0 et  $2\pi$ , donc la distance maximale mesurable est donnée par  $c/2f_m$ .

Il faut savoir que plus la fréquence de modulation sera faible, plus la gamme de distance mesurée sans ambiguïté sera grande. Par exemple, une fréquence de modulation de 15MHz permet d'effectuer des mesures jusqu'à 10 mètres.

La résolution de cette technique est égale à  $\Delta D = \Delta_\theta / 4\pi f_m$ . Choisir une faible fréquence de modulation permet de mesurer des grandes distances au détriment d'une bonne résolution.

Une méthode pour mesurer de grandes distances avec de bonnes résolutions consiste à utiliser deux fréquences de modulation, une première, faible, servant à estimer grossièrement la distance et une deuxième plus grande de sorte à obtenir une bonne résolution. Concrètement, cette technique est précise pour des cibles non coopératives jusqu'à quelques mètres et pour des cibles coopératives jusqu'à des centaines de mètres.

### Technique par triangulation

Le principe de cette technique consiste à projeter un faisceau laser sur une cible. Le faisceau est rétrodiffusé et détecté par un photorécepteur placé à une distance  $b$  de l'émetteur. En mesurant l'angle  $\theta$ , formé par l'axe optique incident (tête de l'émetteur – cible) et l'axe optique réfléchi (cible - tête du photorécepteur), la distance est déterminée par la relation suivante, où  $b$  représente l'écart entre l'émetteur et le récepteur.

$$D = b * \tan(\theta / 2) / 2$$

Cette méthode est surtout précise pour des distances inférieures au mètre.

Cependant, la méthode est limitée par des zones d'ombre dues à la non-colinéarité des faisceaux émetteur et récepteur. La partie droite de la Figure 1 met en évidence cette limitation : le faisceau incident pointe une zone d'ombre de la cible réfléchissante vis à vis de la tête du récepteur.

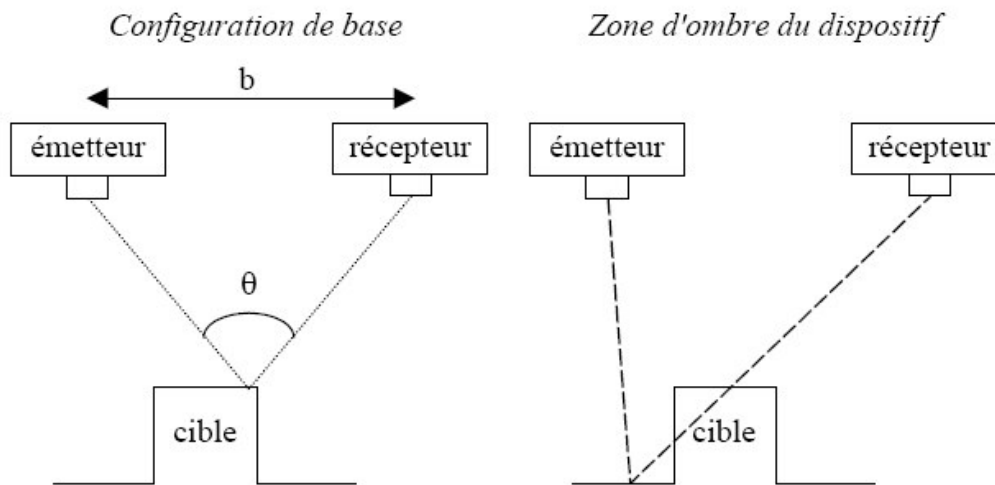


Figure 1 : principe de la méthode de triangulation par projection de faisceau lumineux et mise en évidence de sa principale limitation. La figure de droite montre que le faisceau incident arrive sur une zone d'ombre de la cible, vis à vis du récepteur.

La technique de triangulation reste cependant la plus simple et la moins coûteuse. Sa principale application est la vision tridimensionnelle destinée à la robotique.

Nous venons de présenter trois principes théoriques de calcul de distances grâce à un laser. Pour ce projet, nous allons mettre en application la technique de la simple mesure de temps de transit en régime sinusoïdal, c'est-à-dire la comparaison de phase. Nous verrons donc dans les prochaines parties comment nous avons procédé pour faire le montage et les résultats obtenus.

Nous pouvons cependant ajouter qu'il existe d'autres méthodes pour calculer des distances, avec notamment les méthodes par ultrasons.

---

## Composition de l'équipe

Lors de la première séance, l'intégralité du groupe B s'est répartie sur les deux sujets proposés. Voici l'équipe travaillant sur ce projet, avec les spécialités de chacun.

### **1 étudiant de l'option « Optronique » :**

Jérôme Bontemps

### **2 étudiantes de l'option « Informatique » :**

Anna Hochard  
Aurélie Belat-Porcher (Chef de projet)

### **4 étudiants de l'option « Génie Electrique » :**

Aurélie Coulon  
Christophe Capra  
Kévin Tribout  
Mathieu Rouillard

Grâce aux options de chacun, nous avons pu déterminer quelles tâches seraient attribuées à quel étudiant, pour les premières tâches. Dans la suite du projet, les options de chacun n'ont plus été prises en compte comme critère de sélection, nous avons tous travaillé ensemble sur le montage et la partie Labview.

Ainsi Jérôme, notre optronicien, s'est chargé dans un premier temps de l'étude du laser. Anna et Aurélie ont travaillé sur la conception du schéma sur Labview et enfin tous les génies électroniciens ont commencé par la conception du montage.

Cependant avant de travailler sur ces différentes tâches, nous avons eu une réflexion collective sur la façon dont nous voyions la réalisation de ce projet. Celle-ci a porté sur les mathématiques utilisées pour ce projet, ainsi qu'un certain nombre de schémas logiques et matériels.

En ce qui concerne la gestion de projet, étant donné le peu de séances et l'état du matériel (à plusieurs reprises notre laser était abîmé et nous n'avons pu avancer sur le montage), nous n'avons donc pas pu faire de planning prévisionnel sur les tâches à accomplir. Nous avons juste nommé, à chaque séance, une personne ayant pour rôle supplémentaire, la rédaction du compte rendu de séance.

Dans la suite de ce rapport, nous verrons de façon chronologique comment nous avons réalisé ce projet.

## Réflexions préalables à la conception du montage (séance 1 et 2)

Lors de la première séance, nous avons commencé par la partie théorique de notre projet. Nous avons donc déterminé un premier schéma (Figure 2) où nous faisons apparaître les formules de nos signaux afin de déterminer le signal de sortie  $s$ .

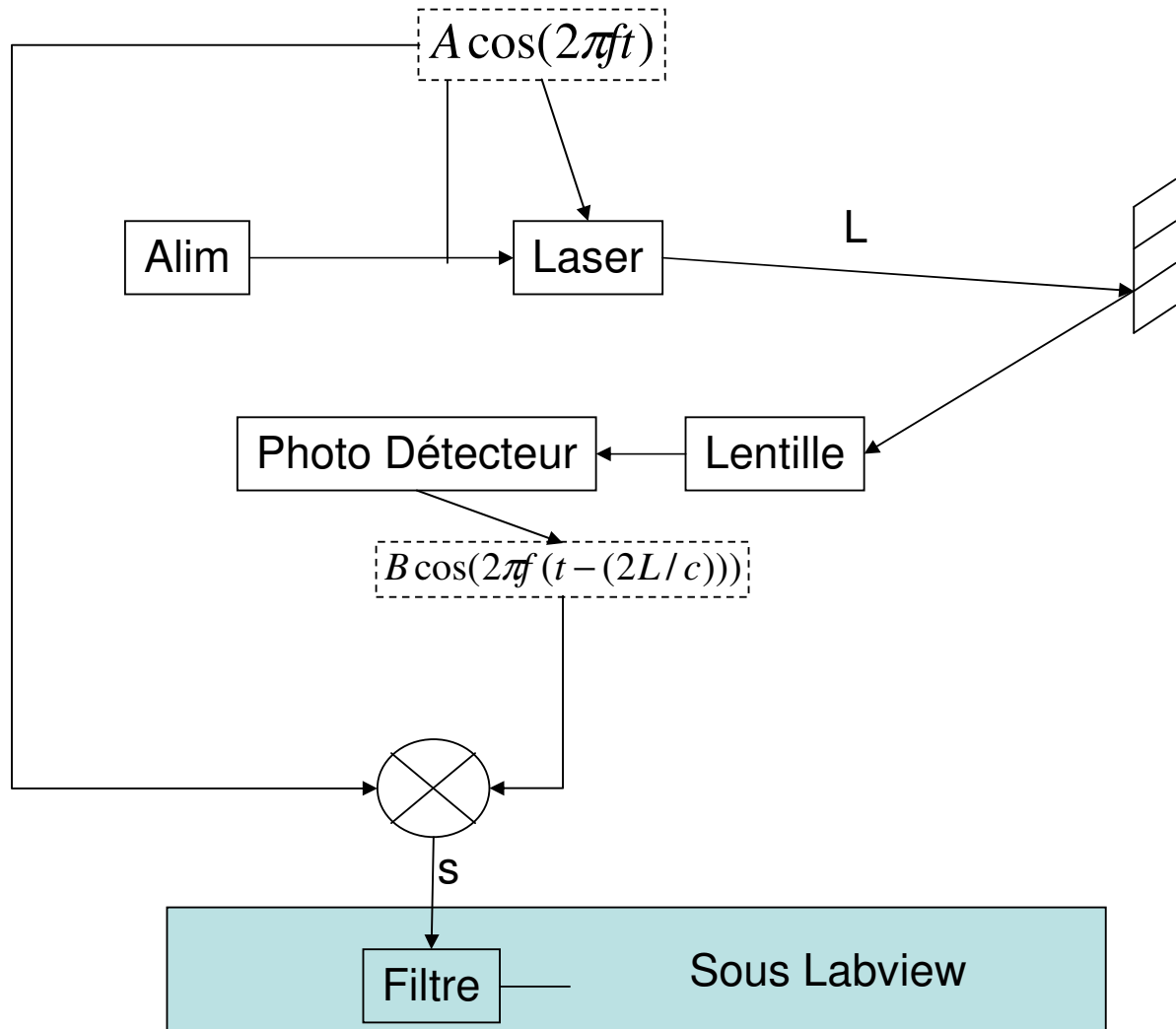


Figure 2 : premier schéma proposé pour le montage

Nous avons donc trouvé la formule suivante pour le signal S :

$$S = AB \cos 2\pi ft \times \cos\left(2\pi f\left(t - \frac{2L}{c}\right)\right)$$

$$S = \underbrace{AB \cos \frac{4\pi fL}{c}}_{\text{Signal continu}} \times \underbrace{\cos\left(4\pi ft - \frac{4\pi fL}{c}\right)}_{\text{Signal à } 2f \Rightarrow 10\text{Mhz}}$$

$\underbrace{AB \cos \Delta\varphi}_{\text{Signal continu}}$      $\underbrace{\cos\left(4\pi ft - \frac{4\pi fL}{c}\right)}_{\text{Signal à } 2f \Rightarrow 10\text{Mhz}}$   
 Valeur moyenne  
 du signal

Le rôle du filtre à la sortie du démodulateur est de filtrer le signal à 2f pour ne garder que la valeur moyenne du signal continu.

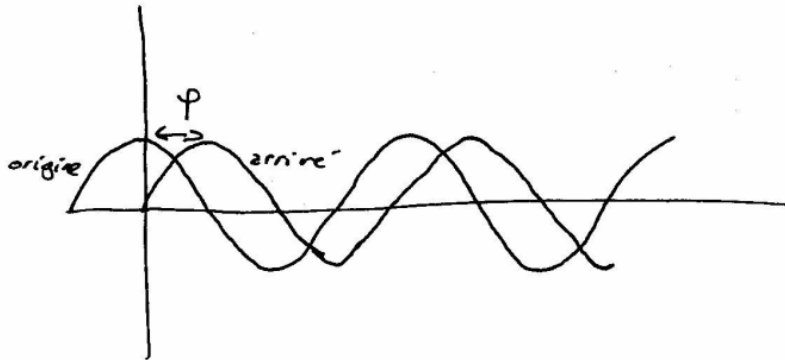


Figure 3 : schéma représentant les deux signaux et leur déphasage

$\varphi$  : Le déphasage entre les deux signaux est proportionnel à la distance. Il ne peut pas dépasser  $2\pi$ . Ainsi nous pourrions retrouver la longueur grâce au calcul du déphasage.

On modifie la fréquence de modulation selon la distance que l'on veut mesurer. Il faut que celle-ci soit plus faible pour augmenter la distance mesurable.

Nous avons ensuite étudié le matériel à notre disposition afin de trouver la modulation appropriée à ce que nous cherchons. Nous avons donc vu que :

### La Diode Laser

La diode laser à notre disposition émet sur une plage de fréquence de 100 Hz à 100 Mhz. Nous pouvons donc travailler sur des périodes allant de 10 ms à  $1 \cdot 10^{-8}$  s. Nous pouvons donc mesurer une distance de  $3 \cdot 10^6$  m à 3m, ceci représentant un aller-retour.

La diode Laser (émetteur) dispose d'une longueur d'onde de 670 nm et d'une puissance maximum en sortie de 3mW.



## Le GBF

Nous avons deux types de GBF à notre disposition :

- un dont la fréquence maximum est de 2MHz (correspond à une mesure maximum de 150m aller-retour)
- un dont la fréquence maximum est de 5MHz (correspond à une mesure maximum de 60m aller-retour)

Le GBF retenue dispose d'une fréquence de 5 Mhz pour une distance mesurable de 30 m maximum.

Suite à cette étude, nous avons fait le schéma « matériel » de notre montage (Figure 3).

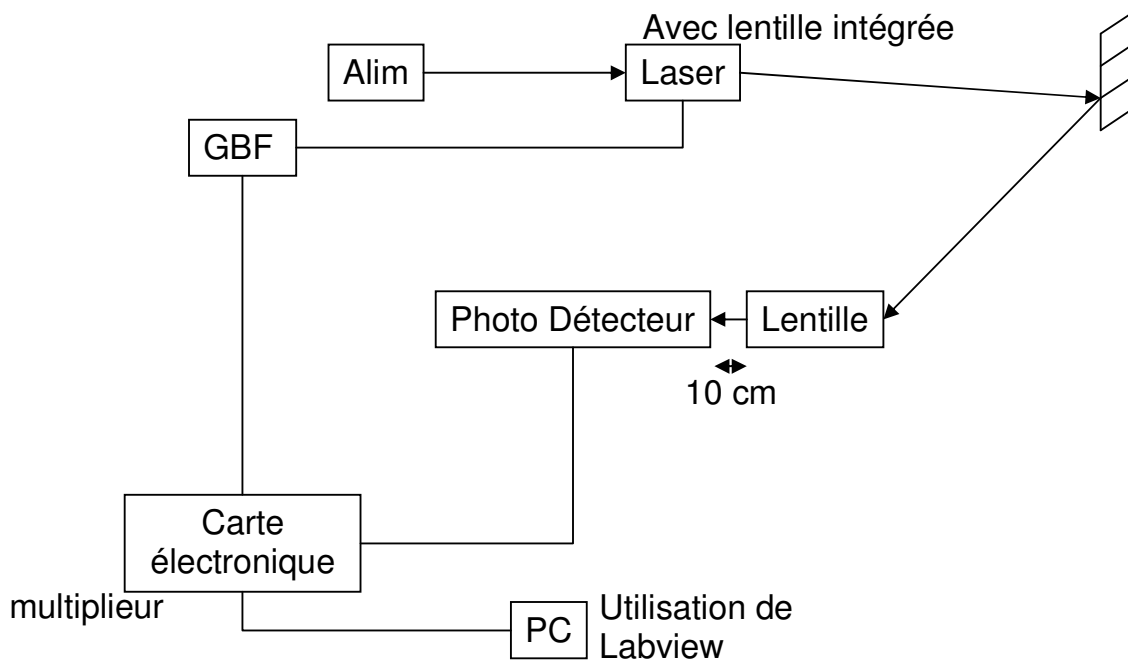


Figure 4 : premier schéma « matériel » proposé pour le montage

A la fin de cette première séance, nous avons émis une liste d'achat du matériel nécessaire au montage, donc voici le récapitulatif.

Matériel	Référence	dimension	Prix (euros)
Photodétecteur (DET10A_M)	121 - 2745		1.18
Lentille	01LPX569	Diamètre : 50.8 m	30
Support Lentille	LH - 2	Diamètre : 50.8 m	24
Pieds (Lentille, laser et carte (x2))			
Laser			Déjà en stock

Figure 5 : récapitulatif du matériel nécessaire au montage

## Détermination des paramètres du montage (séance 3 à 6)

Suite à la réception du matériel, nous avons déterminé les composants à ajouter au montage. Notamment au niveau du photodétecteur, auquel il convient d'ajouter une résistance (Rload) déterminée en fonction des caractéristiques du signal réceptionné.

### Calcul du Rload du photodétecteur:

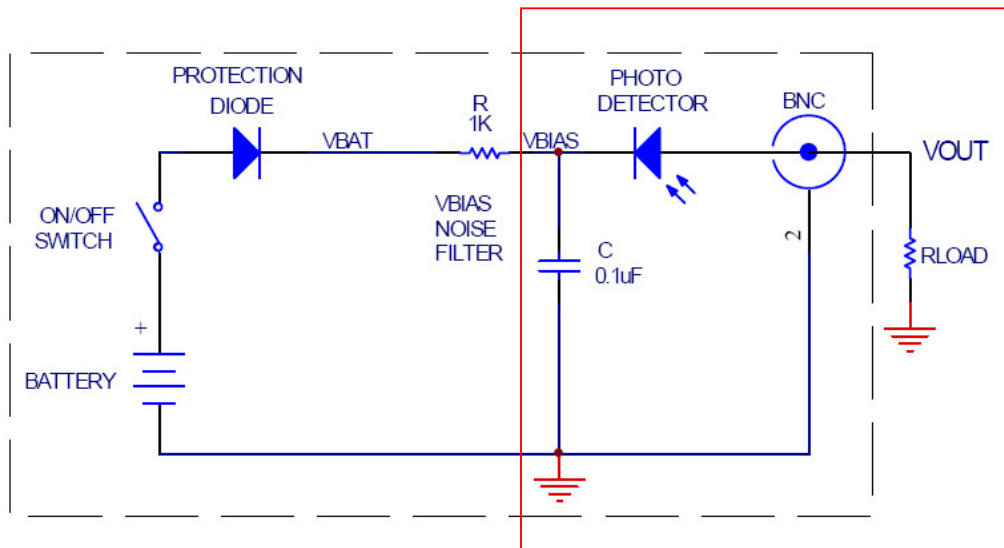


Figure 6 : Schéma du photodétecteur

Selon la datasheet du photodétecteur DET10A\_M on sait que l'on a:

$$f_c = \frac{1}{(2 * \pi * R_{Load} * C_j)}$$

Il faut que  $f_c$  (fréquence de coupure) soit supérieure à la fréquence du signal soit

$$f < f_c \text{ (avec } f = 5\text{MHz)}$$

$$f < \frac{1}{(2 * \pi * R_{Load} * C_j)}$$

$$R_{Load} < \frac{1}{(2 * \pi * f * C_j)}$$

avec  $C_j$  la capacité de la diode  $C_j = 6 \text{ pF}$  donc :  $R_{Load} < 5,3\text{k}\Omega$

Rload vaut  $50\Omega$  minimum, pour cette valeur on obtient la plus grande bande passante mais un signal très atténué. Il faut donc prendre une valeur proche de  $5,3k\Omega$  pour avoir une bande passante adaptée et une amplitude plus grande. Nous avons choisi une résistance avec la valeur  $5,1k\Omega$ .

En ce qui concerne le multiplieur et l'amplificateur, nous les avons tous deux trouver sur une carte créée par M. Poujouly. Nous avons donc étudié cette carte, la AD835 et nous l'avons testé. Cette carte est donc composée de différents composants, ayant chacun un but :

- Le multiplieur, qui va nous permettre de récupérer une tension continue, après un filtrage, représentatif de l'image du déphasage observé. Il faut cependant, pour obtenir une image correcte, connaître différentes valeur comme celle de l'amplitude avant la modulation et après.
- L'amplificateur, qui va nous permettre d'obtenir un gain si le signal s'avère trop faible pour une utilisation par Labview.
- Un filtre passe-bas, qui permet de récupérer la valeur moyenne du signal.

Après avoir déterminé ces différents composants, nous nous sommes penchés sur le calcul pour récupérer la distance.

Sous Labview on veut à partir du signal reçu obtenir la distance. Le signal reçu est un signal continu représentant la valeur moyenne du signal. Il a pour formule:

$$S = A * B * \cos(\varphi)$$

$$\varphi = \arccos\left(\frac{S}{A * B}\right)$$

On sait que  $\varphi = \frac{4 * \pi * f * L}{c}$  avec  $f = 5\text{MHz}$  (correspondant à une mesure maximum de 30m) et  $c$  étant la célérité ( $3.10^8$ )

Donc on a :

$$L = \frac{c * \varphi}{(4 * \pi * f)}$$

'A' est connu et fixe il faut donc récupérer le signal S et la valeur de 'B' pour obtenir notre distance.

## Réalisation du montage (séance 3 à 10)

Suite à la détermination des composants ainsi que des valeurs des résistances à ajouter, nous avons commencé le montage.

Dans un premier temps, nous avons récupéré un laser neuf qu'il nous a fallu câbler.

Voici le schéma final de notre montage :

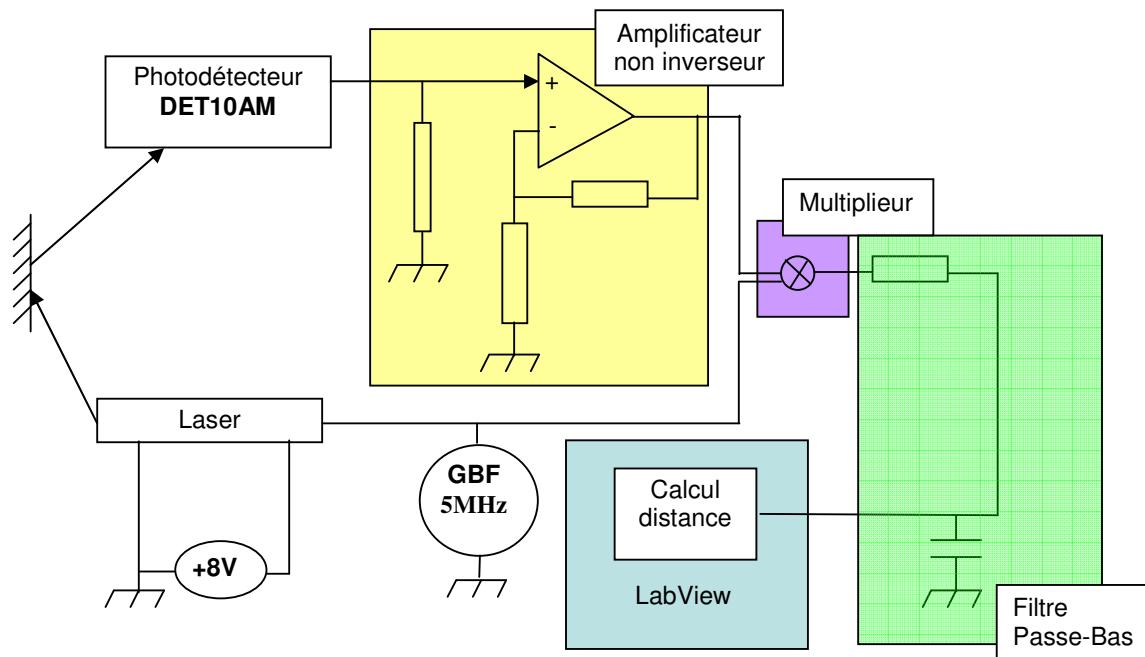
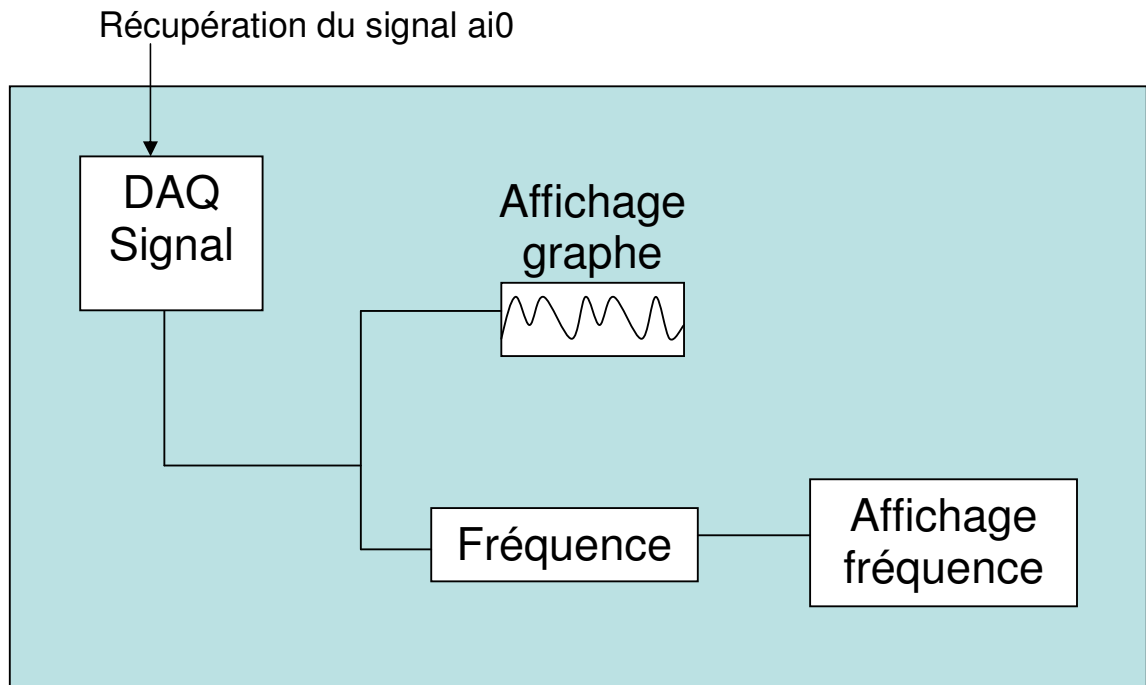


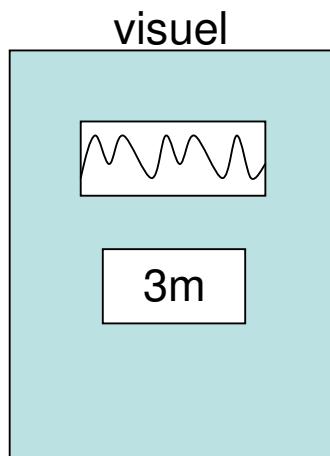
Figure 7 : schéma final du montage

Dans ce montage, nous retrouvons donc les composants principaux (laser, photodétecteur, GBF), la carte AD835, contenant entre autre le multiplieur et l'amplificateur et la connexion à Labview

Nous avons ensuite testé la récupération du signal sous Labview, représentée par le schéma ci-dessous :



Dont voici le visuel que nous attendons :



Nous avons bien entendu décidé que le calcul de la longueur se ferait sous Labview. Cependant nous avons émis l'hypothèse de faire l'amplification, la multiplication et le filtre sous Labview également.

Cependant après différents tests, nous nous sommes aperçus que nous ne pouvons injecter dans la carte d'acquisition un signal de fréquence supérieur à 24kHz car nous ne pouvons pas échantillonner le signal à plus de 48kHz (théorème de Nyquist-Shannon). Or nous allons travailler avec un signal de fréquence 5MHz, nous sommes donc obligé de réaliser cette partie analogiquement afin d'obtenir pour notre cas un signal continu alors aisément traitable par la carte d'acquisition.

Le nouveau matériel nous a permis de mettre en place un système plus aisément réglable et plus fonctionnel. Le miroir étant disposé sur un "chariot" coulissant, la longueur mesuré peut-être changé rapidement sans avoir à modifier l'intégralité de l'alignement.

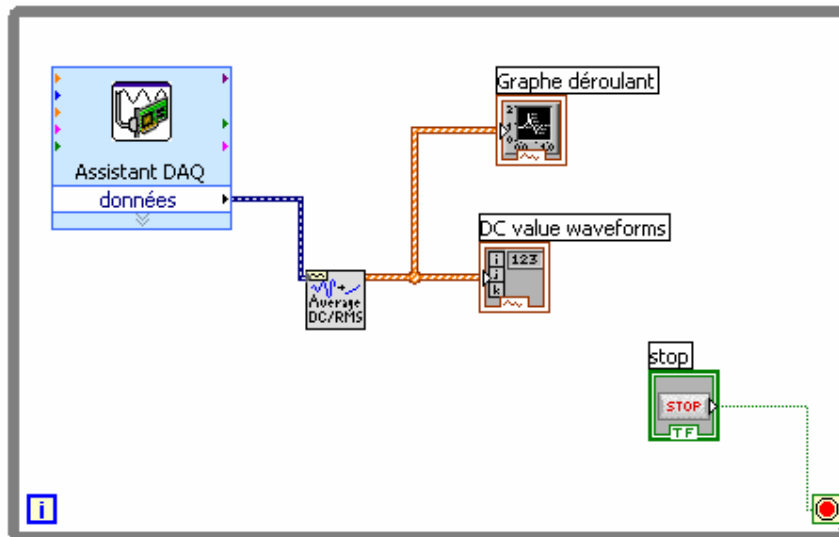
On utilise également un GBF avec deux sorties en phase (déphasage nul) une pour moduler le signal lumineux du laser, l'autre pour permettre d'effectuer la multiplication et ainsi d'en régler le niveaux indépendamment l'une de l'autre.

Le signal reçu après la photodiode est de bonne amplitude crête à crête de +2V, par conséquent aucune amplification n'est nécessaire.

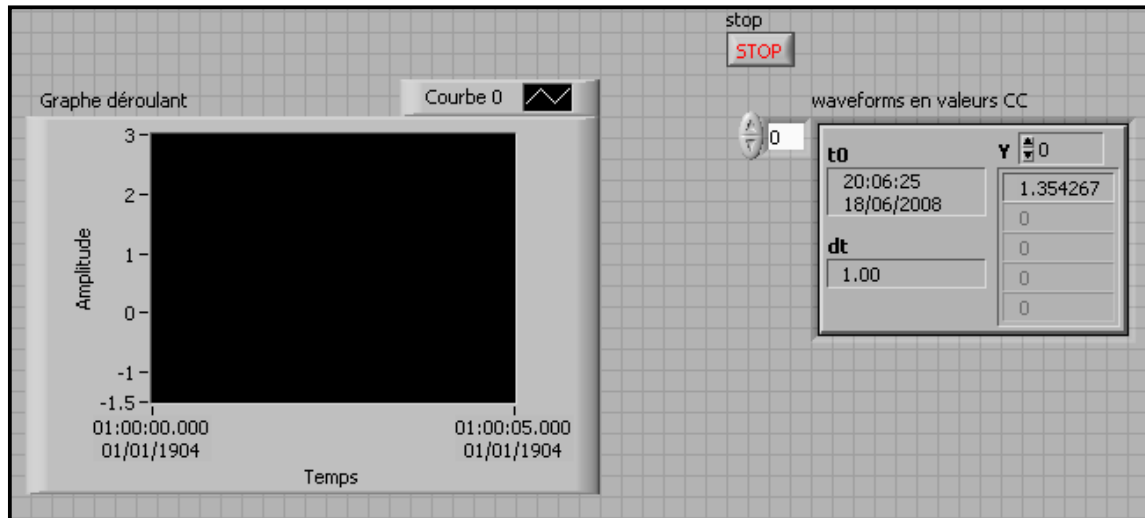
Dans ce système 'B' varie en fonction de la distance, hors en sortie nous souhaitons que la distance ne varie qu'avec la phase. Sous LabView nous allons donc diviser le signal de sortie du filtre :  $S = AB \cos(\varphi)$  par B, soit la valeur moyenne du signal reçu par le photo-détecteur. On cherche donc à filtrer la composante continue.

On souhaite par la suite récupérer les signaux S et B dans afin d'en déduire  $\varphi$  puis la longueur L. On utilise "l'Assistant DAQ" sous LabView pour effectuer l'acquisition des données. On calcul par la suite la valeur moyenne du signal acquis via une fonction spécifique.

Diagramme



Face Avant



Le VI créé doit donc nous permettre d'effectuer facilement la mise en forme des données collectées et ainsi tirer rapidement la distance mesurée en fonction du déphasage du signal.

## Conclusion

La création d'un télémètre nous a permis de travailler sur un projet réunissant plusieurs compétences diverses. La réalisation du télémètre nécessite de réunir des compétences en électronique, optronique et enfin informatique. De plus nous avons travaillé en équipe au cours de plusieurs demi-journées, ou nous avons pu avancer en partageant nos acquis avec les autres membres.

Ce projet nous a d'abord permis d'approfondir nos connaissances en traitement du signal et en électronique en général. Ainsi qu'en informatique industrielle par l'utilisation de LabView.