



UNIVERSITÉ DE NICE SOPHIA ANTIPOLIS  
PROJET TUTEURÉ DE LICENCE DE PHYSIQUE

ANNÉE 2018

---

# Étude expérimentale de la nage d'un robot

---

*Auteurs:*

Cedric BARAT  
Marc MATOSEVIC  
Ziad BEN MAMIA

*Encadrants:*

Mederic ARGENTINA  
Yann BOURET

Projet réalisé au laboratoire *inphyni de Sophia Antipolis*



March 29, 2018



# Sommaire

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
1.1	Présentation du sujet. . . . .	1
1.2	Environnement d'étude. . . . .	1
<b>2</b>	<b>Première approche et montage</b>	<b>2</b>
2.1	Matériels utilisés. . . . .	2
2.2	Montage . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Expériences et mesures réalisées</b>	<b>5</b>
3.1	Mesure du champ de vitesse dans la veine sans poisson . . . . .	5
3.1.1	À l'aide du colorant . . . . .	5
3.1.2	À l'aide de la méthode P.I.V . . . . .	5
3.2	Mesure du champ de vitesse dans la veine avec le poisson et mise en évidence de vortex. . . . .	6
3.2.1	Avec la queue immobile et différent angle par rapport à l'axe du poisson. . . . .	6
3.2.2	Avec la queue en mouvement. . . . .	6
3.3	Mesure des Forces T et N exercées sur le poisson. . . . .	6
<b>4</b>	<b>Problèmes rencontrés et leurs solutions</b>	<b>7</b>
4.1	Effacement du disque dur. . . . .	7
4.2	Problèmes liés à la méthode P.I.V. . . . .	7
4.3	Capteurs défaillants, mise en évidence de l'hystérésis . . . . .	7
4.4	Conversion des forces du Volt au Newton. . . . .	8
4.5	Lien entre l'angle réalisé par le servomoteur et la nageoire caudale. . . . .	8
<b>5</b>	<b>Analyse des données</b>	<b>9</b>
5.1	Mesure du champ de vitesse dans la veine. . . . .	9
5.1.1	À l'aide de la méthode P.I.V sans poisson. . . . .	9
5.1.2	À l'aide de la méthode P.I.V avec poisson. . . . .	9
5.2	Mesure du champ de vitesse dans la veine avec le poisson en mouvement. . . . .	10
5.2.1	Mise en évidence des vortex . . . . .	10
5.3	Mesure des Forces T et N exercées sur le poisson. . . . .	10
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>12</b>
	<b>Annexes</b>	<b>2</b>
	<b>Annexe 1</b>	<b>2</b>
1	Utilisation de PIVlab . . . . .	2
2	Utilisation du logiciel ImageJ . . . . .	2
3	Notice préparation de solution de particule. . . . .	2
4	Codage . . . . .	3
4.1	Code python . . . . .	3
4.2	Code arduino . . . . .	3



# Chapitre 1

## Introduction

### 1.1 Présentation du sujet.

Le projet a pour but d'obtenir une approche sur la mécanique de la nage des organismes aquatiques et en découler une loi universelle. Pour cela on fait l'étude cinématique d'un robot ,modélisé de manière à avoir la forme d'un poisson, à l'intérieur d'un tunnel hydrodynamique(figure 1.1).

Au cours des semaines nous avons alors taché de mesurer diverses quantités importantes (champ de vitesse, forces,..) tout en faisant varier les paramètres du système. Nous consacrerons aussi une place aux problèmes que nous avons pu rencontrer tout en expliquant les solutions trouvées. Bien sur ce rapport ne présentera pas l'intégralité de notre projet mais rendra bien compte des travaux effectués jusqu'à maintenant.

### 1.2 Environnement d'étude.

On effectue l'intégralité de nos expériences dans une pièce dédiée a cette usage au rez de chaussée du bâtiment INPHYNI de Sophia Antipolis, et nous avons à l'étage le bureau de Méderic ARGENTINA en cas de besoin.

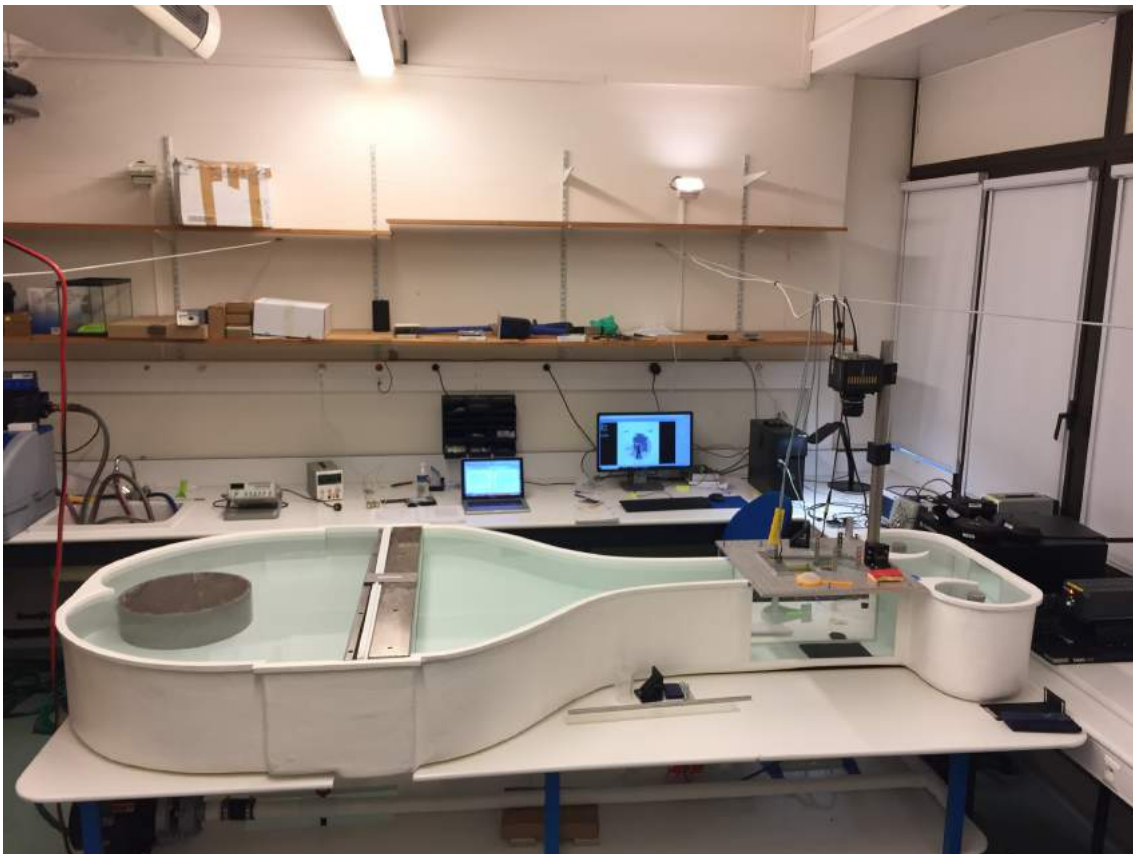


Figure 1.1: tunnel hydrodynamique.

# Chapitre 2

## Première approche et montage

Nous réalisons toutes nos expériences et mesures dans une veine hydrodynamique: c'est une coque faite de résine et de fibres de verres ayant une forme similaire à un poisson. (Rolling Hills Research : Eidetics Flow Visualization Water Tunnel, MODEL 0710). C'est l'élément central de notre projet avec le poisson robotisé. À l'intérieur de celle-ci se trouve une zone particulièrement importante dans laquelle nous relevons la quasi intégralité de nos mesures : nous appelons cette section la zone de traitement.

### 2.1 Matériels utilisés.

On retrouve plusieurs structures additionnelles à la cuve :

- Une pompe de fréquence variable (0-50Hz) située en dessous de la coque;
- Un injecteur (tête de coque) et deux vidanges (arrière de la coque).;
- Deux filtres et une structure nid d'abeille situés à la tête de la coque juste après l'injecteur;

L'ensemble forme notre environnement d'étude. En effet l'injecteur et les vidanges fonctionnent en même temps et permettent de simuler un écoulement de l'eau dans la cuve. Nous pouvons évidemment changer la fréquence de la pompe afin de varier la vitesse d'écoulement. Les filtres ainsi que la structure nid d'abeille nous permettent de passer d'un écoulement turbulent à un écoulement laminaire. Il est important de noter que cette cuve nous permet d'obtenir un écoulement laminaire sans gradient de vitesse (la vitesse ne dépend pas de la position à l'exception des parois) dans la zone de traitement zone étroite où on effectue nos mesures dans la cuve), nous l'avons vérifié expérimentalement. Pour les expériences on utilisera le matériel suivant:

- Un Laser, de marque COHERENT Verdi-V8, vert de longueur d'onde 532nm et de puissance maximale égale à 8 W. Pour des mesures de sécurité nous n'allons pas au dessus de 0,4 W.<sup>1</sup>
- Un générateur de nappe.
- Une caméra Photron suspendu grâce à une tige au dessus de la veine.
- Un disque de verre (pour que la surface de l'eau soit lisse et sans aspérité en dessous de la caméra) ainsi qu'une plaque noire opaque (pour avoir un fond noir sur les images).
- Un ordinateur DELL Précision T1700.
- Le logiciel d'acquisition d'image : Photron FASTCAM Viewer.
- Deux logiciels de traitement d'image : PIVlab et ImageJ
- Un poisson robotisé muni d'un servomoteur.
- Une carte ArduinoMEGA : relais entre le programme (ordinateur) et le poisson.
- Un capteur de force.
- Deux blocs d'alimentation BaseTech BT-305 et BT-153.
- Deux Tensiotrons TS621 : sert à amplifier les signaux issus du capteur de force.

---

<sup>1</sup>le laser sert principalement de source lumineuse au cours de nos expériences

- Un Oscilloscope : lien entre la tension en volt et les forces exercées sur notre poisson.
- Deux logiciels : TestMédéric(arduino.ino) pour contrôler le poisson et readDataSimple.py un programme Python que nous avons créé pour calculer les valeurs moyennes de nos forces obtenues pour un nombre de mesure donné.
- Un support métallique.
- Un kit de création de particule: surfactant + PSP (Polyamid Seeding Particles  $d=50 \mu\text{m}$ ).
- Un gobelet en plastique + du fil de pêche + une seringue (1,0 mL) + colorant rouge+ un scalpel.
- Un kit d'entretien : raclette, jeu de tuyau (aspirateur aquatique) + éponge.

## 2.2 Montage

Le montage suivant est réalisé pour effectuer nos expériences (voir schéma 2.1 et 2.2)

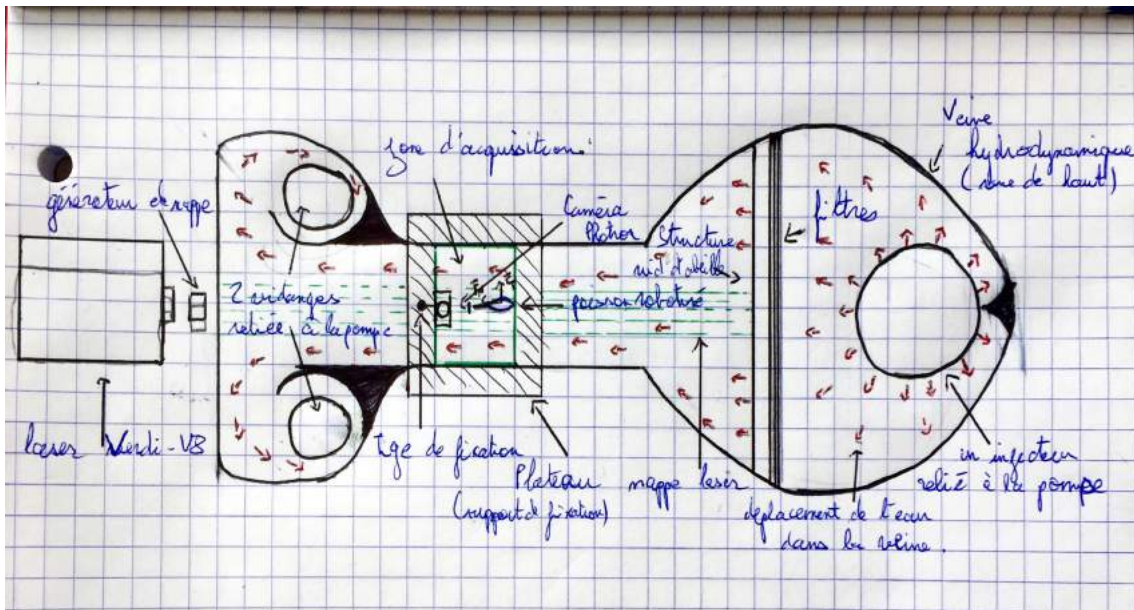


Figure 2.1: schéma du tunnel hydrodynamique vue de dessus.

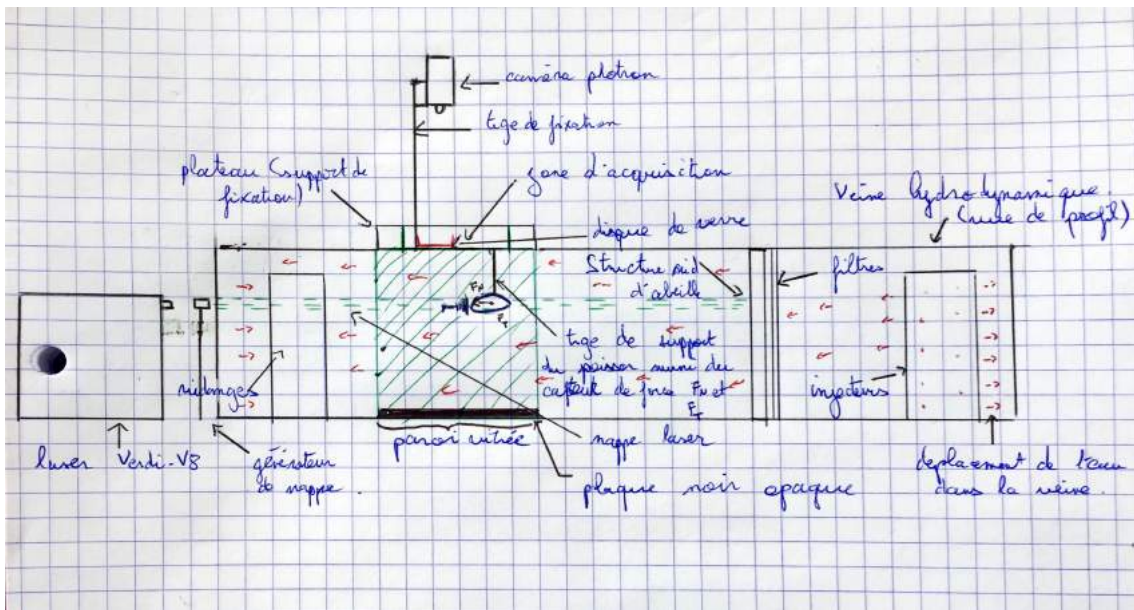


Figure 2.2: schéma du tunnel hydrodynamique vue de profil.



# Chapitre 3

## Expériences et mesures réalisées

### 3.1 Mesure du champ de vitesse dans la veine sans poisson

Notre première mission a d'abord été de nous familiariser avec les notions et le matériel mis à disposition. Pour cela nos encadrants nous ont demandé de mesurer le champ de vitesse à l'intérieur de la cuve. Pour cela deux méthodes nous ont été présentées. Le pilotage de la vitesse imposée par la pompe se fait par la sélection d'une fréquence de pompage. Il faut donc relier cette fréquence à la vitesse mesurée dans la veine.

#### 3.1.1 À l'aide du colorant

La première méthode consistait à mesurer le champ de vitesse d'un point de vue très grossier. Pour cela nous positionnons une feuille de papier millimétrée sur la paroi vitrée de la cuve située vers la queue de celle-ci. Puis à l'aide d'une seringue on dépose du colorant rouge juste après la structure nid d'abeille. On attend que ces gouttes atteignent la paroi vitrée et à l'aide de nos smartphones nous lançons un film entre le moment où la goutte apparaît sur la feuille millimétrée et on l'arrête lorsqu'elle la quitte. On connaît alors la distance parcourue grâce à la feuille, le temps de parcours à l'aide de la vidéo et on en déduit alors le champ de vitesse. On réédite en faisant varier la fréquence de la pompe entre 0 et 50 Hz. Cette série de mesure nous permet d'obtenir un ordre de grandeur pour la suite. Les taches de colorant ne se déformaient pas lors de leur translation, ce qui laisse supposer que les effets de cisaillement sont négligeables.

#### 3.1.2 À l'aide de la méthode P.I.V

Cette deuxième méthode consiste à rééditer les mêmes mesures mais avec cette fois-ci un gain considérable en précision. Cette méthode se prénomme P.I.V.<sup>1</sup> (Particle Image Velocimetry). Pour cela on utilisera le laser vert, une caméra rapide, le disque de verre, la plaque noire ainsi que le kit de préparation de particule (une notice de préparation est disponible en annexe). L'intérêt du disque de verre et de la plaque opaque noire est très simple. Le disque de verre, situé en dessous de la caméra et à fleur d'eau, nous permettra d'obtenir une surface lisse et sans aspérité tandis que la plaque opaque, située en dessous de la caméra au fond de la cuve, nous permettra d'avoir un fond homogène afin de bien observer les nuances de couleurs lors des acquisitions. Le laser nous servira à éclairer les particules diffusées dans la veine et on s'assurera avant chaque expérience que :

- La cuve soit bien propre et qu'il n'y ait pas de dépôt ou résidu de particule des anciennes manipulations au fond.
- Le nombre de particule soit suffisant.
- La nappe du laser soit bien horizontale.

ATTENTION: pour effectuer ces deux dernières mesures sans utiliser les lunettes (car sinon on ne voit pas les rayons) il est impératif de régler la puissance du Laser à son minimum, c'est à dire 0,01W. Pour la suite nous réglerons le laser à 0,4W pour nos acquisitions et lorsqu'on en aura plus besoin nous le mettrons en position standby et/ou on activera le shutter (obturateur de sécurité). On utilisera aussi deux logiciels informatiques. Le premier logiciel, Photron FASTCAM Viewer (P.F.V.), est nécessaire pour enregistrer les séquences d'images à étudier. Avec celui-ci, nous pouvons ajuster certains paramètres comme le frame rate (le nombre d'image par seconde) ou bien encore sur l'ouverture de l'objectif (ajustement de la netteté et de l'éclaircissement de la zone étudiée). Nous montrerons d'ailleurs qu'un bon ajustement de ces paramètres permettra de gagner en précision.

---

<sup>1</sup>une explication de la méthode P.I.V est mis à disposition dans l'annexe

Le deuxième logiciel, PIVlab, sera utilisé pour traiter les images acquises. Une petite notice d'utilisation sera disponible en annexe.

Le principe P.I.V. est très simple, grâce au déplacement des particules dans la veine, mis en évidence par le laser, nous pourrions suivre leurs trajectoires(rectiligne) et ainsi en déduire une vitesse associée. On effectue alors la même série de mesure que lorsqu'on utilisait le colorant, c'est à dire qu'on fait varier la fréquence de la veine de 0 à 50 Hz. On obtient alors les valeurs présentes dans le chapitre 5.

## 3.2 Mesure du champ de vitesse dans la veine avec le poisson et mise en évidence de vortex.

Cette fois ci le principe reste le même et nous allons essayer de mesurer l'influence du poisson sur le champ de vitesse de la veine. Le poisson ici va alors être considéré comme un obstacle et nous verrons les deux cas possibles, celui où la queue du poisson est immobile et celui où elle ne l'est pas. Pour cela nous allons placer le poisson, à l'aide d'une tige fixée au support métallique, juste devant la zone étudiée par la caméra en faisant bien attention à ce que la queue du poisson n'apparaisse pas dans les images. En effet seuls les perturbations nous intéressent et si nous voulons les mesurer convenablement il ne faut pas que la queue (en mouvement ou non) interagissent dans les calculs du logiciel PIVlab.

### 3.2.1 Avec la queue immobile et différent angle par rapport à l'axe du poisson.

Pour la première série de mesure nous allons donc faire varier l'angle de la queue et mesurer son incidence. Pour cela nous devons utiliser un poisson, muni d'un servomoteur à l'intérieur, que l'on fixe à une tige. L'ensemble est relié à l'ordinateur à l'aide d'une carte ArduinoMEGA. On utilise alors le logiciel *arduino.ino* et grâce au programme intitulé *TestMédéric.ino*, conçu par messieurs ARGENTINA et BOURET, nous pourrions contrôler l'angle du servomoteur et ainsi l'angle de la queue du poisson. Une partie du code est disponible en annexe. Nous ferons alors varier cet angle entre 0 et 40° par rapport à la position au repos. On mesurera alors le champ de vitesse de la veine en fonction de deux paramètres : l'angle de la nageoire caudale et l'excitation de la veine (entre 0 et 50Hz). Cependant on s'efforcera de ne faire varier qu'un paramètre à la fois. On obtient alors les valeurs présentes dans le chapitre 5.

### 3.2.2 Avec la queue en mouvement.

À présent, nous souhaitons que la queue soit en mouvement lors de nos acquisitions et ainsi évaluer l'incidence sur le champ de vitesse en comparaison avec un obstacle immobile. On décide alors de faire bouger la queue avec un battement d'amplitude +20°/-20° et de s'intéresser seulement à une excitation de la veine à 30Hz. On constate notamment l'apparition de vortex due au mouvement de la queue du poisson et nous sommes parvenus à les mettre en évidence au travers d'une petite animation.

## 3.3 Mesure des Forces T et N exercées sur le poisson.

Maintenant nous souhaitons réaliser une série de mesure qui représente les forces normales et tangentielles exercées par le fluide sur le poisson. Pour cela nous plaçons le poisson dans la cuve et nous allumons les différents appareils nécessaires pour effectuer les mesures (amplificateur, oscilloscope, tensiotron, carte ArduinoMEGA), nous ouvrons le programme *TestMédéric (arduino.ino)* pour dans un premier temps faire des mesures avec la queue non inclinée (0°). Pour cela, nous rentrons « angle =100 » dans le programme pour que la tête du poisson soit alignée avec la queue. En effet l'angle initial aurait dû être 90° mais nous avons constaté qu'il existait un petit décalage entre l'alignement de la queue et l'axe de référence. Puis nous réglons le capteur de sorte à ce que le point rouge (capteur de force tangentielle) sur la bague métallique, de la tige de fixation du poisson, soit alignée avec sa tête. Ensuite nous ouvrons le script python *readDataSimple.py* qui une fois exécuté nous donne les valeurs moyennes, sur 1000 mesures, des forces Ft et Fn (capteur de couleur bleue orienté à 90° de Ft). Une partie de ce code est disponible en Annexe.

Nous faisons différentes séries de mesures pour différentes fréquences (0Hz,10Hz,20Hz,30Hz,40Hz,50Hz) et pour différents angles d'inclinaison de la queue du poisson. Nous relevons ces valeurs sur Libre Office et nous traçons les courbes correspondantes à Fn et Ft en fonction de la fréquence, et nous répétons cette opération pour chaque angle (0°,10°,20°, 30°,40°). Si nous avons effectué correctement nos mesures plus la fréquence sera élevée plus les forces exercées par le fluide sur le poisson devront être élevées (valeurs de Ft et Fn).

# Chapitre 4

## Problèmes rencontrés et leurs solutions

Durant une expérience il n'est pas étrange de rencontrer des difficultés ou des écarts entre les résultats attendus et les résultats obtenues dans cette partie nous discuterons des problèmes que nous avons rencontrés au cours des derniers mois.

### 4.1 Effacement du disque dur.

Lors de l'installation de la mise à jour Windows 10 sur notre station de travail le disque dur interne a cessé de fonctionner. Nous avons donc perdu l'intégralité de nos séries de mesures des séances du jeudi 1 et 8 Février. Malgré les tentatives de l'ingénieur informatique pour récupérer nos données, nous avons été contraint de rééditer les expériences afin de réobtenir nos valeurs. Cette partie concernait les mesures de champ de vitesse dans la veine sans ou avec le poisson dont la queue était en mouvement. Le seul point positif que nous pourrions retenir de cette mésaventure est que nous étions beaucoup plus rapide et plus précis lors de cette nouvelle série d'acquisition car à présent nous connaissons mieux le principe ainsi que les sources d'erreurs possible à éviter.

### 4.2 Problèmes liés à la méthode P.I.V.

Nous avons, au cours de ces premières semaines de projet, effectué une grande série de mesure P.I.V. Comme cité précédemment nous avons du parfois rééditer certaines mesures que nous avons déjà faites car elles avaient été effacé (à cause du disque dur). De ce fait nous avons pu constater diverses possibilités d'erreurs lors de telles acquisitions. Nous avons notamment remarqué 3 paramètres majeurs qui pouvaient totalement changer les résultats d'une expérience à l'autre.

Pour la première, il s'agissait tout simplement du nombre de particule présent dans la cuve. Parfois il nous est arrivé qu'il n'y en ait pas assez, parfois trop. Certains jours il nous était même arrivé d'avoir mis trop de surfactant dans le mélange ce qui avait pour conséquence de créer de la mousse dans la cuve. Au fur et à mesure des expériences on s'est alors concentré à trouver la proportion adéquate. (Notre astuce est de simuler un petit carré de 1cm de côté sur l'écran dans lequel on doit compter environ une bonne dizaine de particule).

Pour le deuxième paramètre, il s'agit de l'éclairage de la veine. En effet nous avons remarqué parfois que les particules scintillaient ou n'étaient pas du tout éclairées. Pour palier à ce problème il nous suffisait d'interagir sur l'une des deux molettes du générateur de nappe situé en sortie de laser. En effet il était très important que la nappe du laser soit bien horizontale ou que les zones de brillances ne soient pas sur la zone étudiée. De plus il nous fallait aussi nous assurer que le rayon lumineux soit bien centré par rapport à la veine; pour cela il s'agissait juste d'aligner convenablement l'objectif du polarisateur par rapport au laser. Enfin le troisième paramètre porte sur l'intérêt de marquer une courte pause lors d'un changement de fréquence de la pompe. En effet on a remarqué qu'il fallait laisser un certains temps pour que l'écoulement dans la veine redeviennent homogène.

### 4.3 Capteurs défaillants, mise en évidence de l'hystérésis

Lors de notre première semaine de mesure des forces les deux capteurs étaient opérationnels. Cependant lors de la deuxième semaine le capteur de force tangentielle (rouge) ne marchait plus et nous avons donc été contraint d'utiliser uniquement le capteur de force normale (bleu) pour mesurer les forces tangentielles. Nous avons donc effectué une rotation de 90° de la tige du capteur. De plus nous avons remarqué un phénomène étrange lors de nos acquisitions des forces. Cela s'appelle l'hystérésis : propriété d'un système dont l'évolution ne suit pas le même chemin selon qu'une cause extérieure augmente ou diminue. Le souci est que les tensiostats s'étalonnaient

en fonction de l'expérience précédente, autrement dit, la valeur référence était modifiée. En effet, nous faisons varier la fréquence ainsi que l'angle de la queue du poisson entre différentes mesures. De cela, nous avons donc réfléchi à une solution adaptée. Nous avons effectué de nouvelles mesures des forces en ne faisant varier seulement la fréquence pour une incidence de queue fixe (par exemple  $20^\circ$ ). Entre chaque nouvelle fréquence nous faisons un retour à une excitation de 0Hz afin de noter la nouvelle valeur référence et calibrer les tensiostons sur celle ci. À la différence des méthodes précédentes nous disposons maintenant de plusieurs valeurs référence au lieu d'une, et nous les retranchons à chaque fois à la valeur mesurée par les capteurs.

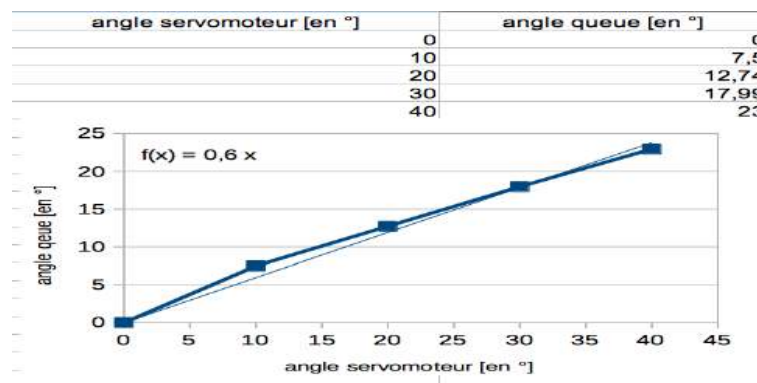
#### 4.4 Conversion des forces du Volt au Newton.

Lors de nos acquisitions des forces nous obtenions des valeurs en Volt à l'aide de notre oscilloscope. Cependant il est difficile d'interpréter un résultat dont l'unité n'est pas homogène à une force [Newton]. On décide de procéder à l'étalonnage des capteurs de force. On fixe alors le poisson au support métallique, la tête dirigée vers le bas, et on branche le capteur de force. À l'aide d'un fil de pêche et d'un scalpel on fixe un récipient (gobelet en plastique) au poisson en s'assurant que le tout soit bien équilibré. Ensuite à l'aide d'une seringue de 1,0mL on injecte de l'eau dans le gobelet et on relève les valeurs de la force tangentielle obtenues. Le principe est simple, grâce à la seringue nous savons donc précisément le volume d'eau que nous ajoutons et à chaque injection de liquide nous lisons la nouvelle valeur obtenue. On obtient alors une différence de force de 0,1V pour 10mL d'eau dans le gobelet.

Sachant que la masse volumique de l'eau  $\rho = 1000kg.m^{-3} = 1kg.L^{-1}$ . Dans ce cas on sait que 1mL d'eau vaut 1mg. Nous avons donc alors 10mL d'eau dans le gobelet ce qui correspond à une masse de 10mg et en multipliant cette valeur par la constante d'accélération de pesanteur g nous obtiendrons un poids exprimé en N. Ainsi  $P_{eau} = m_{eau} * g = 10 * (10)^{-3} * 9,81 = 0,0981N$ . On obtient donc le lien suivant :  $0,1V \longleftrightarrow 0,0981N$  i.e.  $1V \longleftrightarrow 0,981N$ . On est alors à présent capable d'exprimer toutes nos forces obtenues précédemment en Volt en Newton.

#### 4.5 Lien entre l'angle réalisé par le servomoteur et la nageoire caudale.

En comparaison avec le paragraphe précédent, cette fois ci, il s'agissait d'une nuance que nous ignorions. En effet monsieur ARGENTINA nous a communiqué que nous devons faire attention à la valeur de l'angle qu'effectuait la queue du poisson. En réalité l'angle que nous entrions dans la console de contrôle, c'est à dire dans le programme *TestMédéric.ino*, correspondait en faite à l'angle effectuée par le servomoteur et non la nageoire caudale. De ce fait, lorsque nous écrivions antérieurement dans le rapport que la queue du poisson faisait un angle de x degré c'était faux. Bien que la queue du poisson soit reliée au servomoteur par deux fils, rien ne nous assurait que l'angle effectuait par les deux composants était identique. De ce fait nous avons décidé de lancer une série de mesure pour pouvoir faire une étude sur le lien existant entre les deux angles. Pour cela on utilise les logiciels Photron FASTCAM Viewer et ImageJ<sup>1</sup>. On place alors le poisson de sorte que l'intégralité de la queue soit visible dans l'objectif de la camera. On enregistre alors des vidéos ou on fait varier l'angle entre la position initiale et la position demandée au servomoteur puis on sélectionne et garde seulement les deux photos qui nous intéressent : celle où la queue est à son point d'origine est celle où elle est à sa nouvelle position. On superpose ainsi les deux images sur le logiciel ImageJ et on les traite pour mesurer l'angle. Nous trouvons un facteur de 0,6 entre l'angle du servomoteur et celui de la nageoire caudale.



<sup>1</sup>Une notice d'utilisation de ImageJ est disponible en annexe

# Chapitre 5

## Analyse des données

Dans ce chapitre nous allons poser les résultats des expériences présentées dans le chapitre précédent.

### 5.1 Mesure du champ de vitesse dans la veine.

#### 5.1.1 À l'aide de la méthode P.I.V sans poisson.

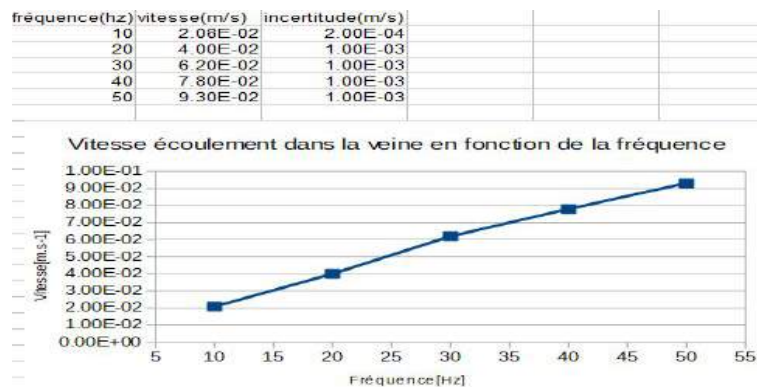


Figure 5.1: Vitesse de l'écoulement à l'intérieur de la veine.

#### 5.1.2 À l'aide de la méthode P.I.V avec poisson.

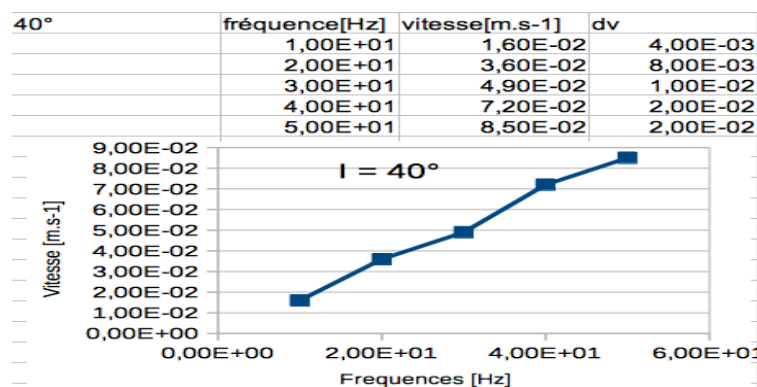


Figure 5.2: Vitesse de l'écoulement à l'intérieur de la veine avec le poisson incliné à  $40^\circ$ .

## 5.2 Mesure du champ de vitesse dans la veine avec le poisson en mouvement.

### 5.2.1 Mise en évidence des vortex

Suite à l'acquisition de données faite sur Photron FASTCAM viewer on étudie la séquence obtenue sur PIVlab avec l'outil de mesure de vorticité on obtient ainsi un petit film montrant l'apparition de vortex a l'intérieur de la zone d'étude, juste après le poisson comme on peut le voir sur les images suivante: (voir figure 5.3).

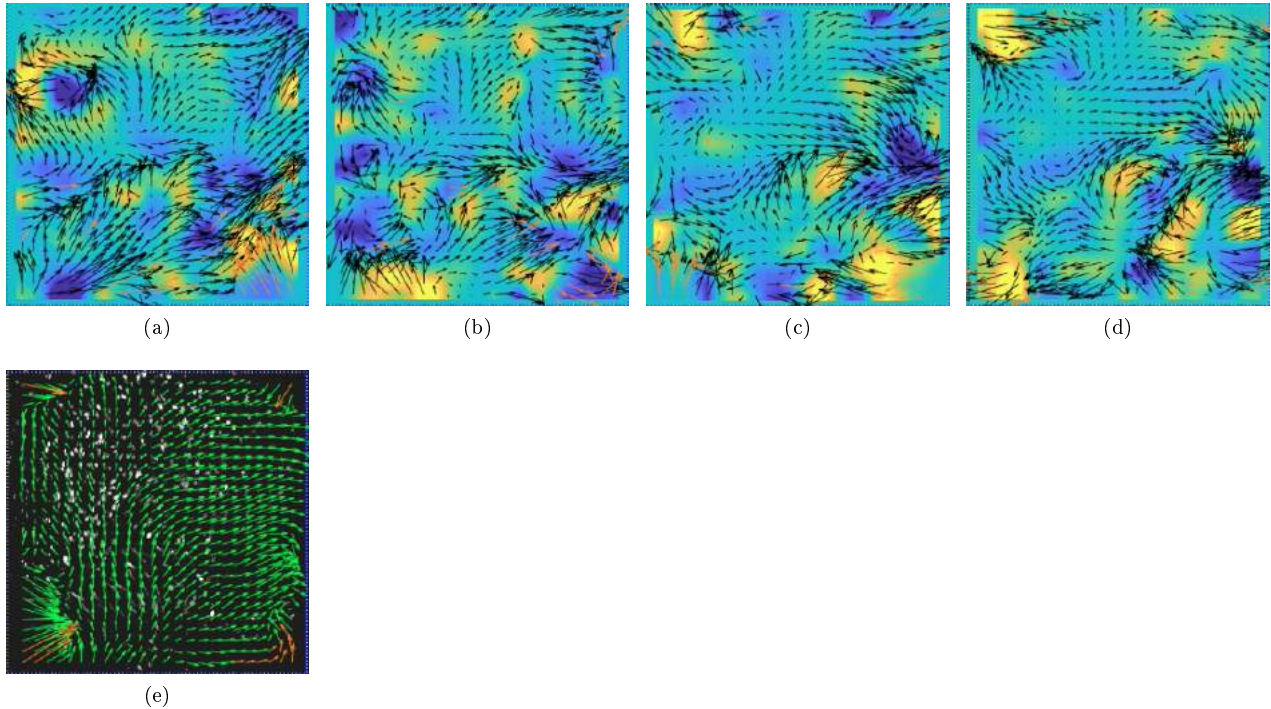


Figure 5.3: Rendu graphique du calcul des vitesses d'écoulement du fluide dans la zone d'étude.

## 5.3 Mesure des Forces T et N exercées sur le poisson.

Les 5 premiers tableau représente les valeurs obtenues lorsque nous utilisons les deux capteurs, tandis que la deuxième série de graphe, elle, comporte les nouvelles valeurs acquises sans hysteresis. (figure 5.4)

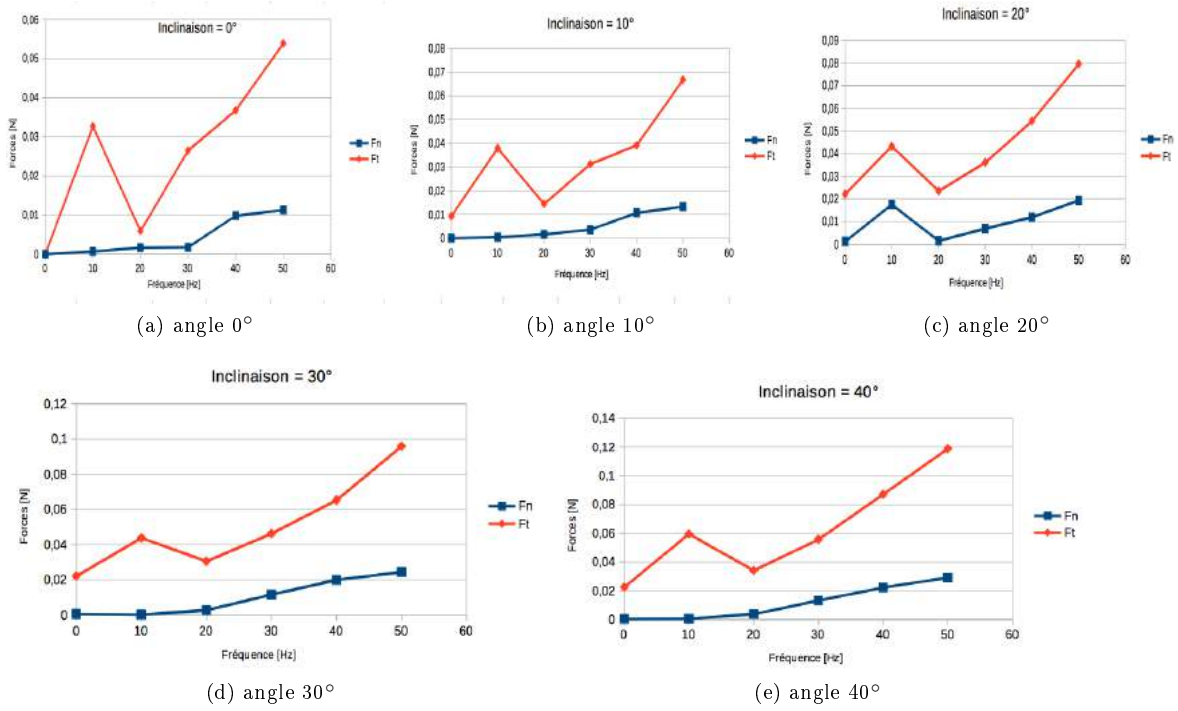
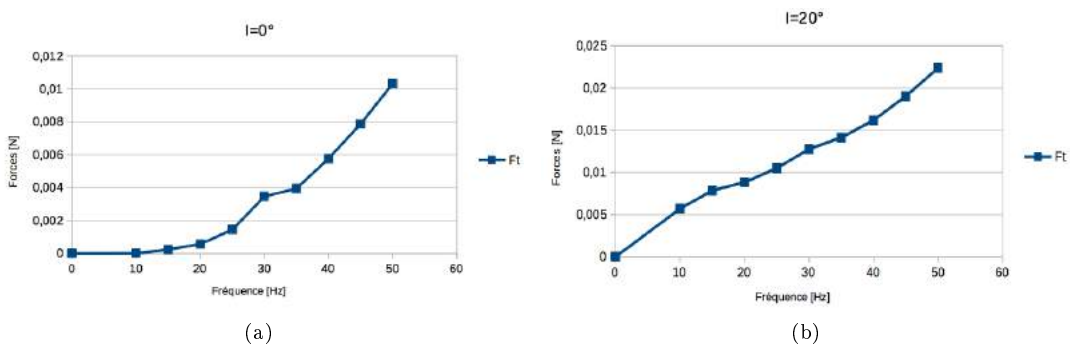


Figure 5.4: Force normale et tangentielle selon l'angle de la queue du poisson.



# Chapitre 6

## Conclusion

Notre projet a pour but d'étudier expérimentalement la nage d'un poisson imprimé en 3D et muni d'un servomoteur. Pour mener à bien cette étude il est nécessaire de comprendre et de bien utiliser le matériel et les données mis à disposition. C'est pour cela que nous avons commencé par faire des mesures du champ de vitesse de l'eau dans le tunnel hydrodynamique à travers deux différentes méthodes, qui ont chacune leur avantage, afin de l'exprimer en fonction de la fréquence de la pompe. Après avoir compris l'intérêt de chacune des méthodes (plus courte mais moins précise avec le colorant), nous avons commencé à travailler avec l'objet d'étude de notre projet : le poisson robotisé. Nous avons effectué des mesures du champ de vitesse, avec le poisson, immobile ou non, dans le tunnel hydrodynamique ainsi qu'une mesure des forces tangentielles et normales qui agissent sur lui pour différents angles d'inclinaison de la queue. Au cours de notre étude nous nous sommes rendus compte qu'il nous fallait du temps pour pouvoir bien se servir du matériel et optimiser notre rendement sur chaque expérience. Certaines erreurs commises ont été repérées au cours des différentes séances et nous sommes parvenus à les corriger. Ceci a été bénéfique car elles nous ont permis de progresser et d'aller plus vite dans nos travaux, notamment lorsque nous avons perdus nos données du disque dur. À ce stade de notre projet, nous serons peut-être amenés à imprimer notre propre poisson robotisé à l'aide de l'imprimante 3D et nous pourrions alors nous questionner sur de nouveaux paramètres à faire varier comme par exemple la taille de la queue ou bien encore la forme du poisson.



## Remerciements

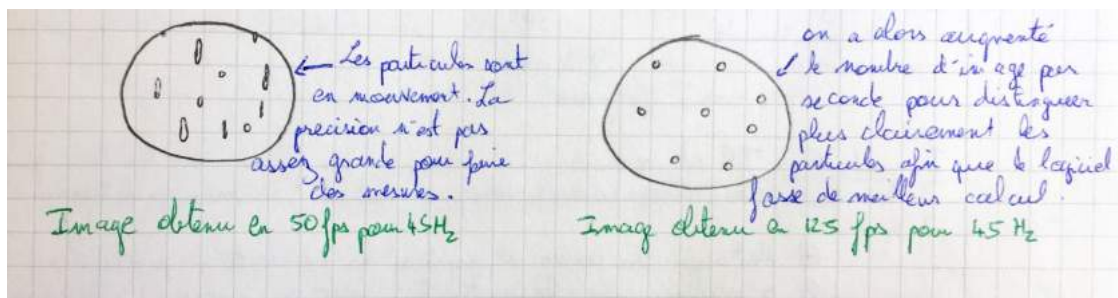
Nous tenons tout particulièrement à remercier nos encadrants pour les aides et conseils qu'ils nous ont apporté tout du long de ces premières semaines de projet. Ainsi qu'une pensée particulière à l'intention de monsieur ARGENTINA pour avoir pris le temps de relire et corriger notre rapport.

# Annexes

# Annexe 1

## 1 Utilisation de PIVlab

- Prendre une vidéo de la zone a étudiée en 50 ou 125 fps (image par seconde). Nous avons utilisé le 125 fps lorsqu'on utilisait les hautes fréquences (40, 45, 50Hz), car l'écoulement de l'eau était trop rapide comparé à ce que la camera acceptait en 50 fps. Les particules sur les images étaient allongées, on ne pouvait donc pas traiter optimalement.



- Exporter les images obtenues, par la vidéo, dans le logiciel Matlab : *PIVlabGUI*. Nous utilisons une cinquantaine d'image. Le logiciel quand à lui effectue des mesures entre deux images : il se sert de la différence de position des particules entre 2 images pour effectuer ces calculs.
- Puis on effectue les demandes suivantes au logiciel : load images/Import et
- analyse settings/exclusion roi/select roi puis apply current mask to frame : définir une zone d'étude.
- calibration/calibrating using current/load calibration image/select reference distance/ apply calibration : définir une calibration d'échelle et de temps sur notre image grâce à une règle préalablement prise en photo par la caméra dans la zone étudiée.
- analysis/analyse!/analyse all frames : mesure.
- post processing/vector validation/selects velocity limits (faire son choix)/apply to all frames : correction des erreurs.
- plot/derive parameter modify data puis choisir les grandeur qui nous interesse (par exemple vector [m.s-1]) /apply to all frame. Si on veut les vortex on selectionne Vorticity. Pour le reste il nous suffit juste de lire les données.

## 2 Utilisation du logiciel ImageJ

- Importer les photos. (File/Import/Image Sequence)
- Sélectionner l'outil angle.
- Tracer l'angle à mesurer à l'aide des photos sélectionnées.

## 3 Notice préparation de solution de particule.

- Placer un gobelet rempli, à l'intérieur du quel se trouve un barreau aimanté, sur un agitateur magnétique.

- Mettre en marche le système et ajouter une partie infime de particule de diamètre  $50\mu\text{m}$ . La proportion a respecté est d'utiliser seulement le bout de la cuillère à café (environ  $\frac{1}{2}$  cm).
- Ajouter autant d'agent surfactant afin que les particules et l'eau se mélange bien. Laisser agiter encore une bonne minute.
- Une fois fini, repartir le plus homogènement possible la solution obtenue entre la structure nid d'abeille et l'injecteur.

## 4 Codage

Dans cette section on met à disposition une capture d'écrans des différents code utiliser pour l'expérimentation.

### 4.1 Code python

Une partie de code du programme "readDataSimple.py"(6.1) qui nous permet d'obtenir Ft et Fn.



```

readDataSimple.py - C:\Users\med\Desktop\TestMederic\readDataSimple.py (2,7:13)
File Edit Format Run Options Window Help
# -*- coding: cp1252 -*-
import serial
import time
from math import sqrt

ser = serial.Serial('COM4',115200);

# Wait for 2 seconds
time.sleep(2)

averageFn=0.0;
averageFt=0.0;
ecarttypeFn=0.0;
moyennecarré=0.0;

n=100;
for i in range(0,n):
    line = ser.readline();
    stringline = str(line);
    tab = stringline.split();
    fn=float(tab[2].replace("Fn=", ""));
    ft=float(tab[3].replace("Ft=", ""));
    averageFn=averageFn+(fn);
    averageFt=averageFt+(ft);
    moyennecarré=moyennecarré+(fn*fn);

averageFn=averageFn/n;
averageFt=averageFt/n;
moyennecarré=moyennecarré/n;
ecarttypeFn=sqrt(moyennecarré-(averageFn*averageFn));
print averageFn;
print averageFt;
print ecarttypeFn;

```

Figure 6.1: extrait de "readDataSimple.py"

### 4.2 Code arduino

Une partie du code du programme "testMederic.ino"(6.2) qui nous permet d'orienter la queue de notre poisson lors de l'expérience.



```

99 void loop() {
100 // put your main code here, to run repeatedly:
101 const float sweep_deg = 500.0f * GetCurrentTime();
102 const float sweep_rad = ((float)M_PI) * sweep_deg / 180.0f;
103 float angle = 100.0f + 40.0f * sin( sweep_rad );
104
105 angle=100;
106 servo.write(angle);
107 delay(10);
108 SerialLoop();
109 }

```

Done uploading.

avrdude done. Thank you.

75 Arduino/Genuino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM4

Figure 6.2: extrait de "testMederic.ino"