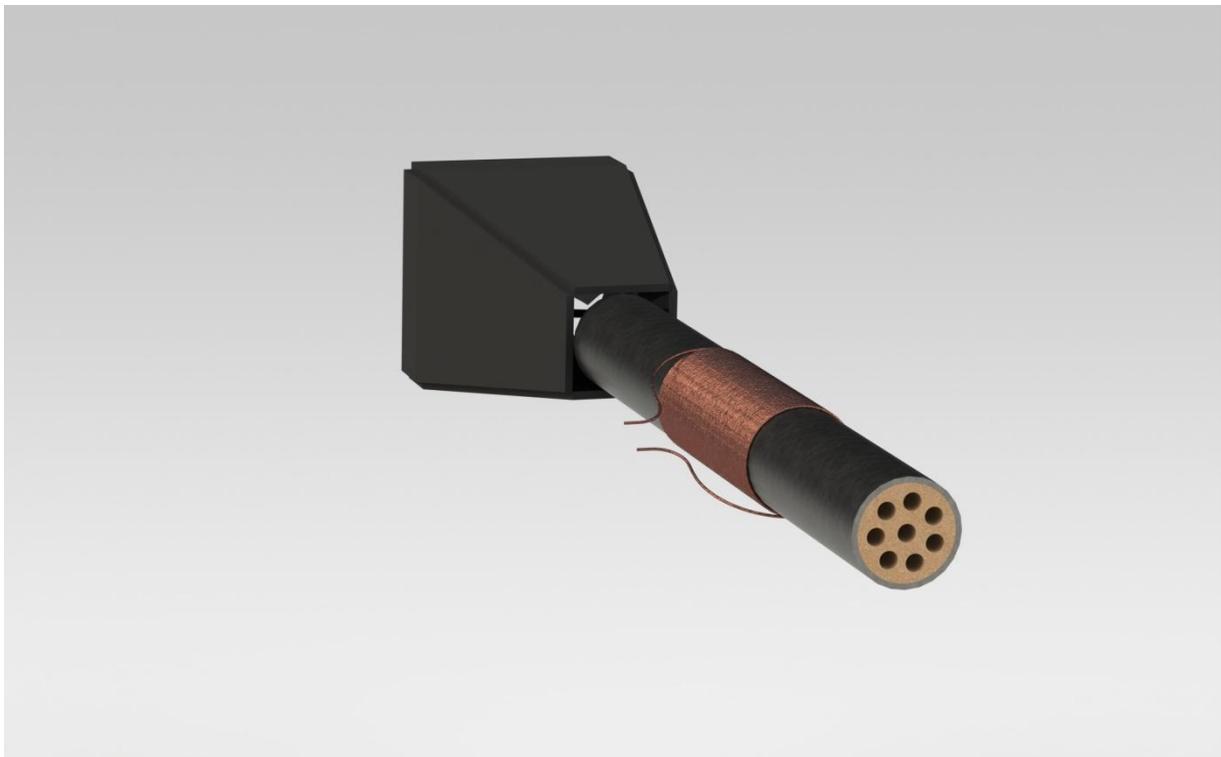


## Micro-projets Capteurs FI4 IAI

### Conception et réalisation d'un débitmètre massique thermique



Prototype du débitmètre massique thermique utilisé

G. Gautier  
M. Passard

Année 2011-2012

## Sommaire

Introduction .....	3
Sujet du Projet .....	3
Cahier des charges.....	4
Analyse du problème.....	4
Choix technologiques .....	5
Dimensionnement.....	6
Réalisation.....	7
Protocole d'essai et résultats des mesures.....	16
Analyse de la gestion du projet .....	18
Conclusion.....	19
Annexes.....	20
Annexe A : Datasheet conditionneurs .....	20
Annexe B : Programme LabVIEW .....	20
Annexe C : Planning .....	23
Annexe D : Le guide .....	24
Annexe E : Câblage.....	28
Annexe F : Article .....	30

## Introduction

Afin de mettre en pratique les connaissances acquises en matière de physiques, d'instrumentation et d'électronique, il nous est proposé de créer un capteur au cours d'un mini projet. Nous allons ainsi travailler par groupe de 5 et unir nos connaissances et nos compétences pour réaliser un projet concret. Au cours de ce projet, nous allons être testés sur la réalisation, la cohérence de notre travail, le rendu final... qui seront le résultat d'un travail d'équipe, coordonné.

Les différents logiciels utilisés au cours de ce projet sont les suivants :

- Le logiciel LabVIEW pour la réalisation de la partie acquisition
- Le logiciel Solidworks pour des rendus images de notre système
- Le logiciel Eagle pour la conception de circuit imprimé
- Le logiciel MS Project pour le suivi du projet et la gestion du temps

## Sujet du Projet

Le but du projet est de concevoir et de réaliser un débitmètre massique à effet thermique, permettant de mesurer, soit le débit, soit la vitesse d'un fluide (qui dans notre cas sera de l'air), selon le principe de la mesure de températures dans une veine de fluide, de part et d'autre d'un système de chauffage.

Il s'agira de réaliser d'une part, la partie mécanique comportant la prise de températures (thermocouples) et le chauffage du tube et le circuit de mesure des tensions délivrées par les sondes de températures, et la partie acquisition d'autre part, via une carte d'acquisition et LabVIEW.

## Cahier des charges

Le cahier des charges va être défini selon le plan suivant :

- L'analyse du problème
- Les choix technologiques
- Le dimensionnement

### Analyse du problème

Afin de faire des mesures de débit ou de vitesse de fluide dans une veine, nous allons utiliser un tube que nous chaufferons localement. Nous allons mesurer la température de part et d'autre de la région chauffée. Lorsqu'un flux d'air circule dans le tube, la température ne sera plus la même de chaque côté de la zone chauffée. Ainsi, nous allons relever la différence de température. A partir de cette différence, il nous est possible de remonter à la vitesse de déplacement ainsi qu'au débit.

La vitesse de déplacement d'un fluide dans une veine suit la formule suivante :

$$v = \frac{P}{C_p \cdot \Delta T \cdot \rho \cdot S}$$

Avec  $v$  : la vitesse en km/h

$\rho$  : la masse volumique

$P$  : la puissance délivrée

$C_p$  : capacité calorifique massique du fluide

$S$  : surface     $\Delta T$  : la variation de température

Le débit va être calculé à partir de la formule suivante :

$$Q_m = \frac{P}{C_p * \Delta T} * 360000$$

Avec  $Q_m$  : le débit massique en g/h

Ainsi, nous allons mesurer le seul paramètre inconnu dans cette équation, qui va nous permettre de calculer la vitesse du fluide : la différence de température.

# Conception et Réalisation d'un Débitmètre Massique Thermique

---

## Choix technologiques

Après réflexion, nous avons décidé d'utiliser un tube sur lequel on bobinera un fil qui sera notre résistance. Ce tube devra résister à une forte chaleur, il sera donc en acier (des essais sur des tubes en plastiques ont été menés et on aboutit leurs déformations).

Le tube va être bobiné avec un fil (qui servira de résistance). Un courant va être envoyé dans le fil pour pouvoir chauffer le tube. Pour cela nous allons créer une source de courant ajustable (convertisseur tension courant). Un système de ventilation viendra créer un flux d'air. Ce système sera composé d'un ventilateur et d'une jupe qui permettra l'étanchéité du système et de concentrer l'intégralité du flux dans le tube. La jupe sera de symétrie carrée et en plastique dur.

Pour les mesures de températures, le flux d'air doit être laminaire. Or, le flux d'air est turbulent en sortie du ventilateur. Par conséquent, nous avons créé une grille permettant de laminariser le flux d'air. (Après tests, nous préférons utiliser du filtre pour centrale de traitement d'air (CTA)).

Pour acquérir et traiter les mesures, nous allons utiliser le logiciel LabVIEW. Nous devons créer un VI qui permet d'acquérir les mesures de température puis grâce à ces valeurs nous pourrions calculer le débit du fluide. Afin de proposer une interface graphique ergonomique, nous intégrerons différents indicateurs à échelle dynamique.

Afin de simplifier la gestion du courant dans la résistance, nous créerons un commutateur par relais qui permet de gérer deux modes de chauffage. Cela permettra de préchauffer la résistance avant de lui envoyer un courant moins fort. Cela évitera la surchauffe et l'endommagement du fil tout en accélérant la conductivité du système.

Afin de mesurer directement la différence de température à l'intérieur de notre tube lorsqu'un flux d'air circule, nous créerons un circuit électronique adapté, à l'aide d'AD595, composants spécifiques pour des relevés de températures (conditionneur pour thermocouple de type K avec compensation de soudure froide intégrée).

Nous calorifugerons également le tube pour éviter les pertes thermiques.

## Dimensionnement

Initialement, nous avons utilisé un long tube en acier. Cependant, nous l'avons raccourci par la suite car le temps d'attente pour atteindre l'équilibre thermique était trop important (l'équilibre thermique se produit grâce à la conduction de la chaleur dans un métal). Cependant le bobinage autour du tube est très inductif et nous avons utilisé une diode afin de protéger le matériel électronique en amont du montage (Création d'un arc électrique entre les contacts des relais).

Nous avons utilisé un tube de 32mm de diamètre. Ce diamètre est un paramètre important car il va conditionner le flux d'air qui traversera le tube. Cependant, le choix étant restreint avec le matériel mis à notre disposition, nous avons choisi ce tube car son diamètre permet de laisser passer un flux suffisant pour nos mesures.

La bobine devra être parcourue par un courant assez important pour la chauffer. Ce courant est d'environ 12A en mode préchauffage et de 5A en mode normal. Le courant délivré en mode normal a été dimensionné afin d'éviter la surchauffe et l'endommagement du fil. En effet, expérimentalement à 130°C, l'isolant du fil brûle.

Avec notre système de ventilation et le tube utilisé, nous pouvons mesurer des vitesses de fluide allant de 0 à 8km/h.

Nous avons également calculé le nombre de Reynolds pour connaître les vitesses limites avant d'être en régime turbulent :

$$R_e = \frac{q * V * L}{\mu}$$

Nous calculons ce nombre pour de l'air sec à 20°C.

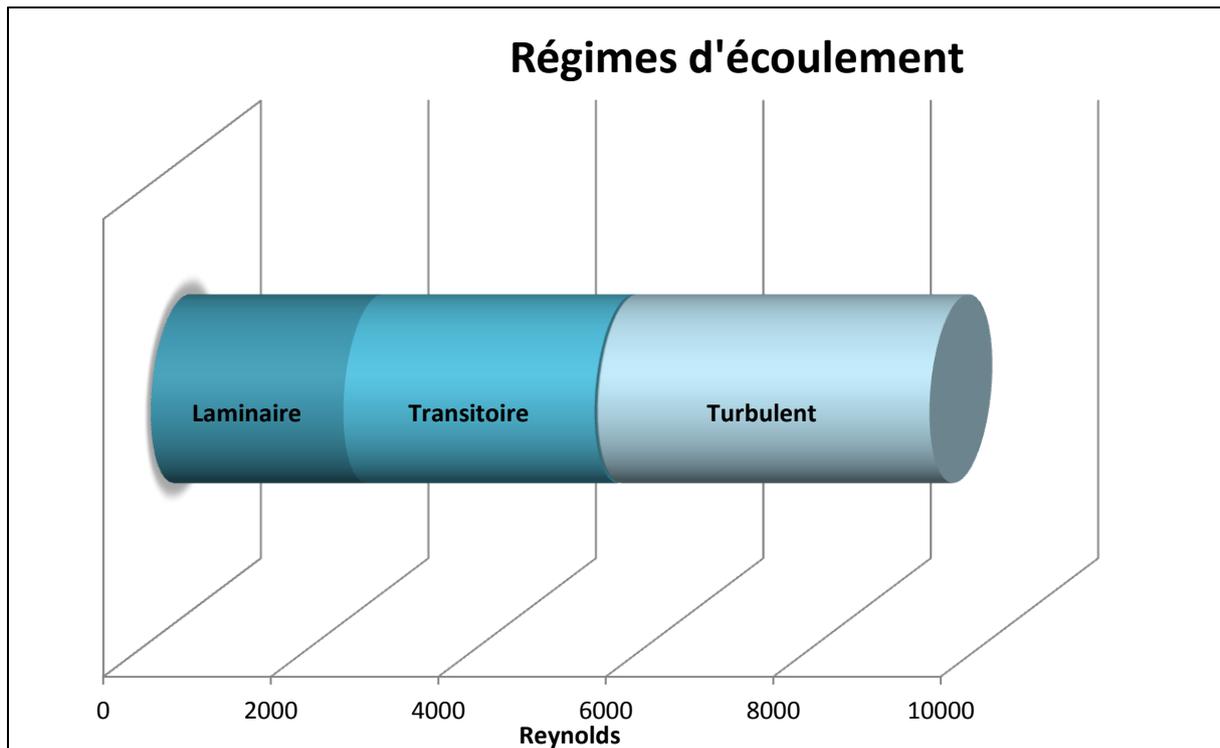
L : distance caractéristique de l'écoulement, soit le diamètre pour le tube

V est la vitesse linéaire du fluide.

Masse volumique  $q = 1.204 \text{ kg/m}^3$

Viscosité dynamique  $\mu = 1.8 * 10^{-5} \text{ Pl (Poiseuil)}$

Nous avons un régime laminaire pour une vitesse inférieure à  $V = 1.1 \text{ m/s}$ , soit 3.96 km/h.

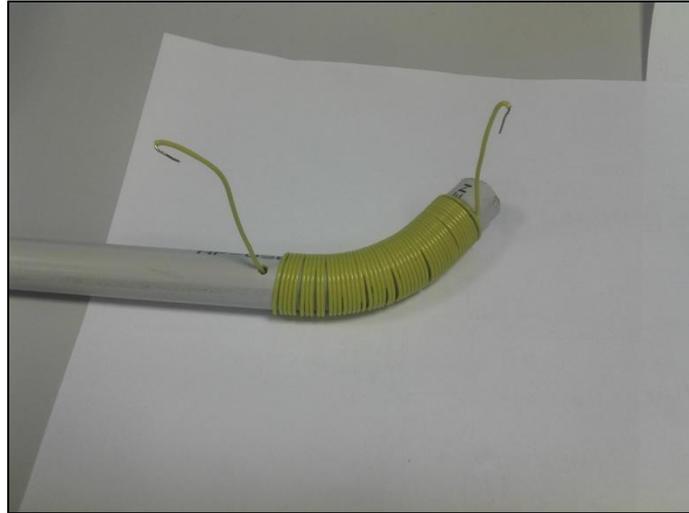


Rappel : La transition entre un écoulement laminaire et turbulent s'effectue pour un nombre de Reynolds compris entre 2300 et 3000 pour un tube.

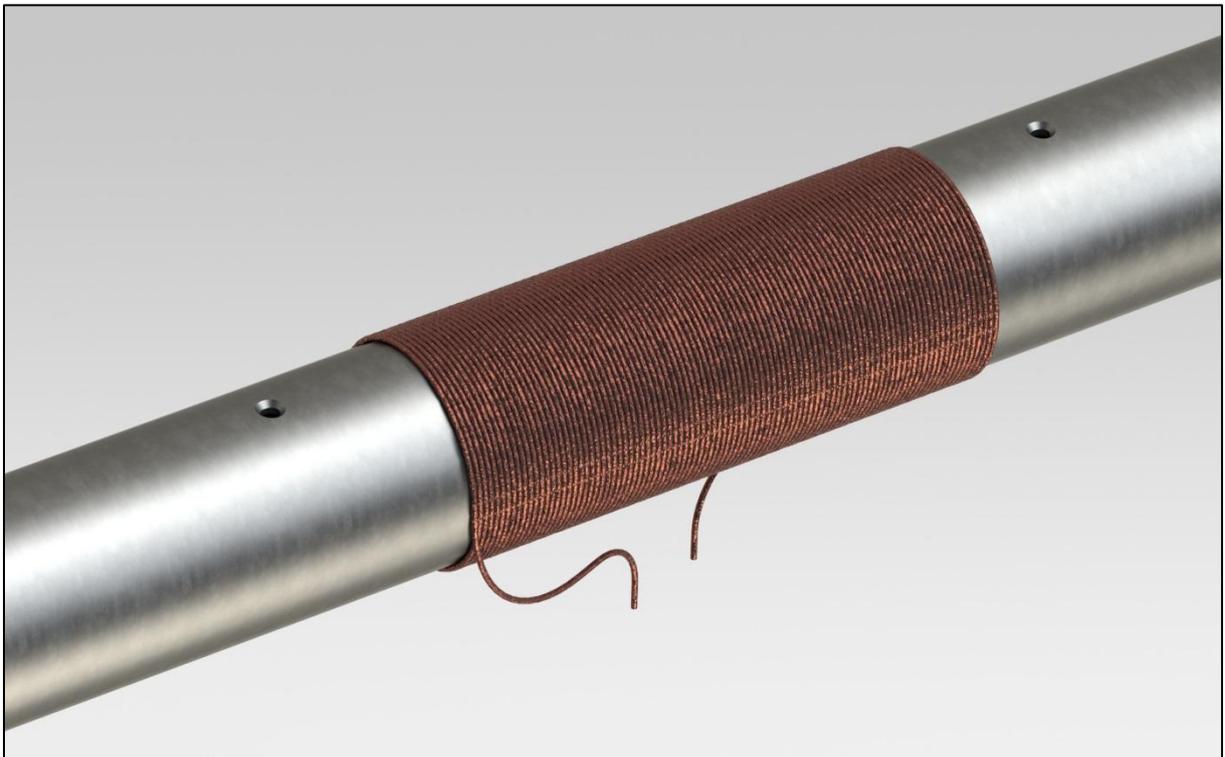
## Réalisation

Afin de réaliser notre capteur, nous allons utiliser un tube qui va être chauffé par un bobinage parcouru par un courant. Un flux d'air va être généré par un ventilateur. Nous allons mesurer les températures de part et d'autres du bobinage, et via un système d'acquisition, un programme LabVIEW va nous fournir les grandeurs caractéristiques de notre système que nous souhaitons mesurer.

Nous avons donc tout d'abord découpé un tube en métal (plus résistant à de fortes températures qu'un tube en plastique (cf. photo ci-dessous)). Nous utilisons des fils électriques pour réaliser le bobinage (par tests, nous avons déterminé une température de fusion de la gaine d'isolation valant environ 130°C pour ces fils. Nous veillerons donc à ne jamais atteindre cette température.) Nous avons choisi d'utiliser un tube court pour que l'équilibre thermique s'effectue rapidement, mais suffisamment long pour pouvoir insérer des lamineurs (voir ci-dessous) et les capteurs de températures.

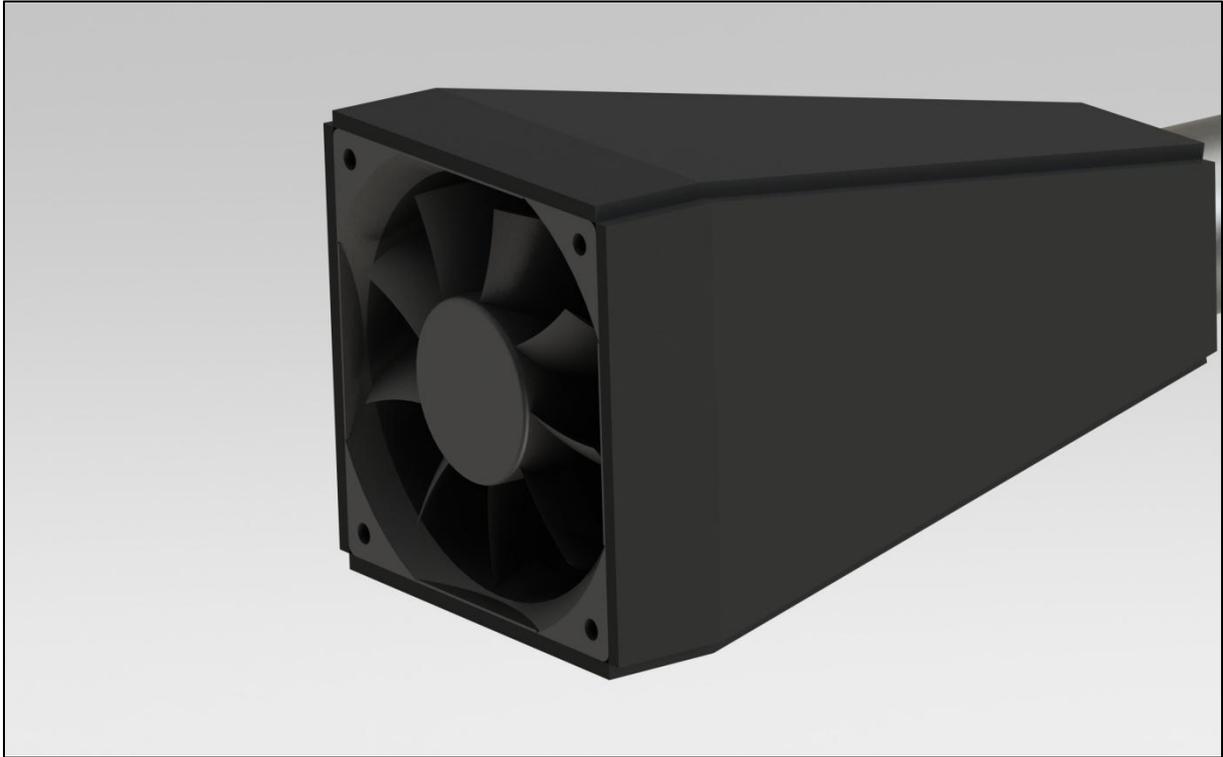


Après un chauffage trop important, le tube en plastique s'est déformé.



Nous pouvons voir sur l'image ci-dessus le tube avec le bobinage. Il y a un trou de chaque côté du bobinage qui va nous permettre d'insérer les capteurs de températures.

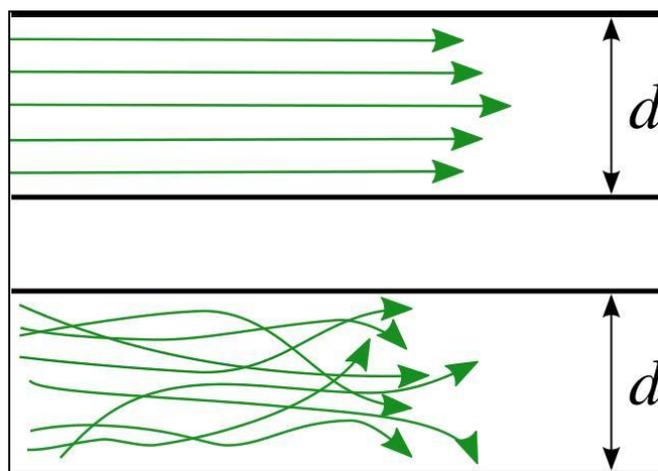
Pour créer le flux d'air, nous allons utiliser un ventilateur. Cependant, ce ventilateur est beaucoup plus grand que le diamètre de notre tube. Pour éviter de trop grandes pertes, nous avons conçu une robe qui va canaliser tout le flux d'air à l'intérieur du tube. La jupe est de forme carrée et se rétrécit pour concentrer tout le flux dans le tube cylindrique. Les pertes à la fixation seront réduites en colmatant la jonction avec du scotch.



## Schéma de la ventilation

La concentration de l'air dans le tube va rendre le flux turbulent. Nous allons donc laminariser le flux afin qu'il soit parallèle à l'axe du tube. Pour cela, nous avons utilisé des rondins de bois de diamètre égal à celui du tube et nous avons percé des trous à l'intérieur de telle manière que le flux soit parallèle à l'axe du tube. Nous avons glissé ces rondins à l'intérieur du tube.

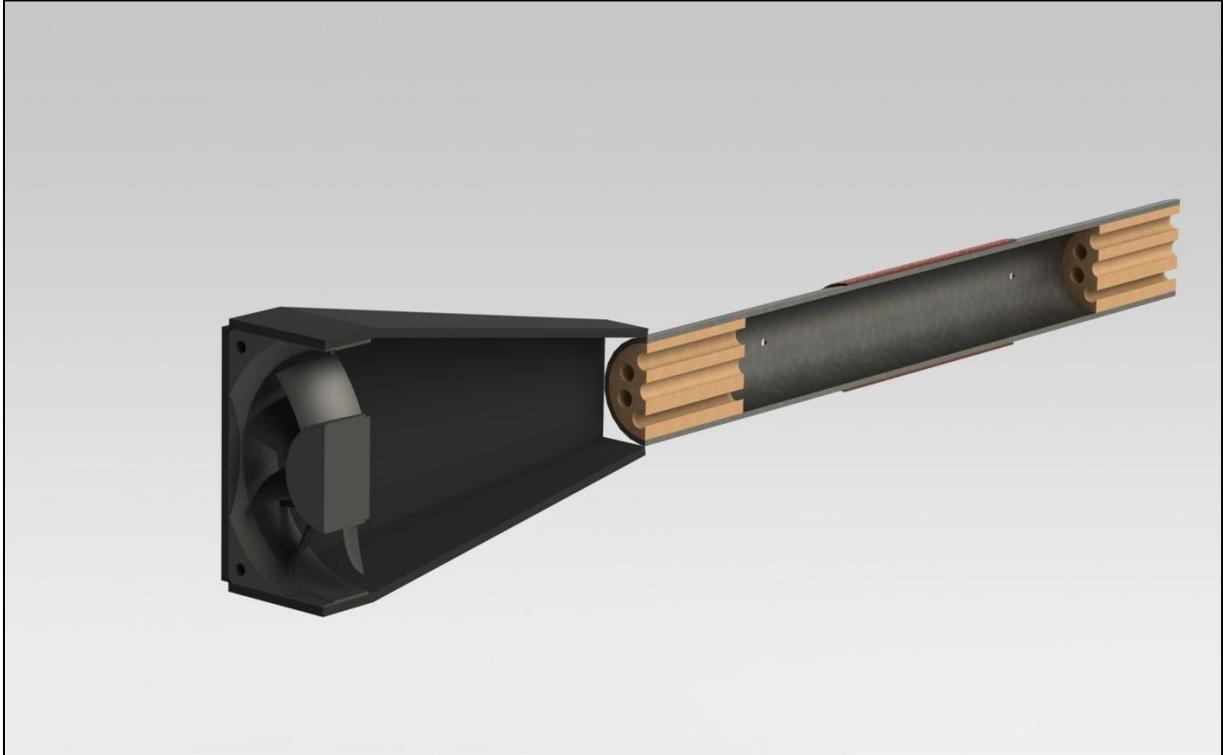
Sur le schéma ci-dessous, nous avons une description de ce que représente un flux laminaire dans un premier temps et un flux turbulent dans un second temps.



## Conception et Réalisation d'un Débitmètre Massique Thermique

---

Sur l'image suivante, nous avons une coupe de notre système permettant de visualiser chaque élément dont notamment les lamineurs.

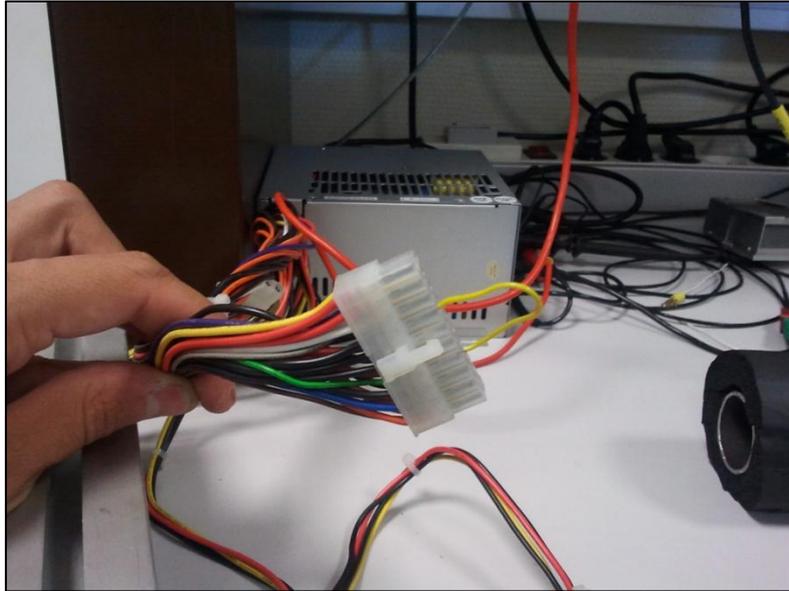


Il a ensuite fallu étalonner le ventilateur, le but étant de connaître la vitesse « réelle » qui sera mesurée à l'aide d'un anémomètre (dont le diamètre était équivalent à celui de notre tube) pour pouvoir corriger par la suite la vitesse expérimentale qui sera déterminée par la différence de température de notre système autour du bobinage.

Nous nous sommes ensuite tourné vers la source de courant pour notre capteur.

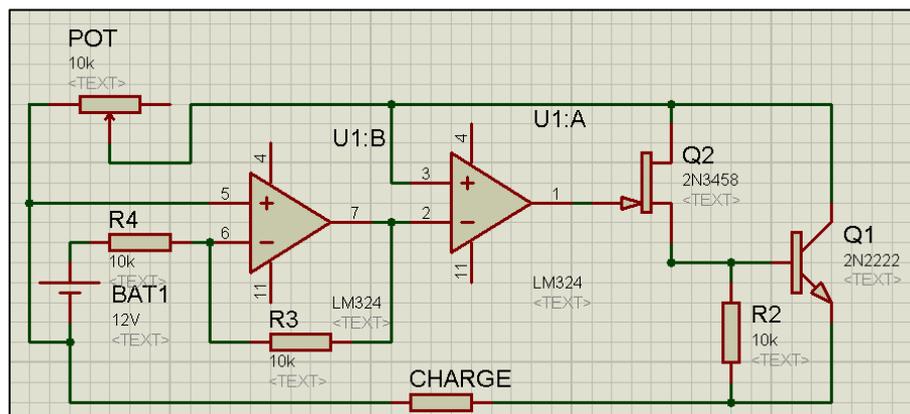
Afin de chauffer la résistance, nous devons envoyer un courant assez important. Dans un premier temps, nous avons utilisé une alimentation de PC pour fournir un tel courant sans chute de tension (lorsque l'on utilise l'alimentation d'un PC, il est important de relier le pin 14 (appelé PS\_ON#) au pin 16 (appelé COM c'est-à-dire la masse). De manière plus élémentaire, c'est le fil vert au fil noir). Par la suite, nous avons décidé de créer notre propre source de courant (convertisseur tension courant).

## Conception et Réalisation d'un Débitmètre Massique Thermique



Nous avons pu voir sur la photo ci-dessus le branchement de l'alimentation.

Voici maintenant le schéma électrique de la source de courant :



La valeur de la tension en entrée, représentée par la batterie, est convertie en courant entrant dans la charge. A l'aide du potentiomètre, on fait varier ce courant entre 0 et la valeur max ici 12A grâce à la formule :  $I = V_{bat}/POT$ .

Nous nous sommes ensuite intéressés à la partie acquisition et au relevé des températures. Nous utilisons des thermocouples qui délivrent une tension proportionnelle à la température. La vraie valeur de la température est obtenue après conversion de la tension. Cette conversion est assurée par un programme LabVIEW qui va récupérer les tensions via une carte d'acquisition. Le programme d'acquisition va être expliqué par la suite.

Une étape importante du projet a été de gérer le chauffage afin de ne pas détériorer notre système et qu'il soit opérationnel le plus rapidement possible (donc il nous faut un préchauffage rapide). Pour cela, nous avons déterminé deux modes de fonctionnement : un mode de préchauffage et un mode de fonctionnement normal. Le préchauffage va se faire tant qu'aucunes des températures des deux capteurs n'a pas atteint 60°C. Le préchauffage

## Conception et Réalisation d'un Débitmètre Massique Thermique

---

est une étape qui consiste à envoyer 12A dans le bobinage pour que la température s'élève rapidement. Le mode de fonctionnement normal utilise un courant de 5A.

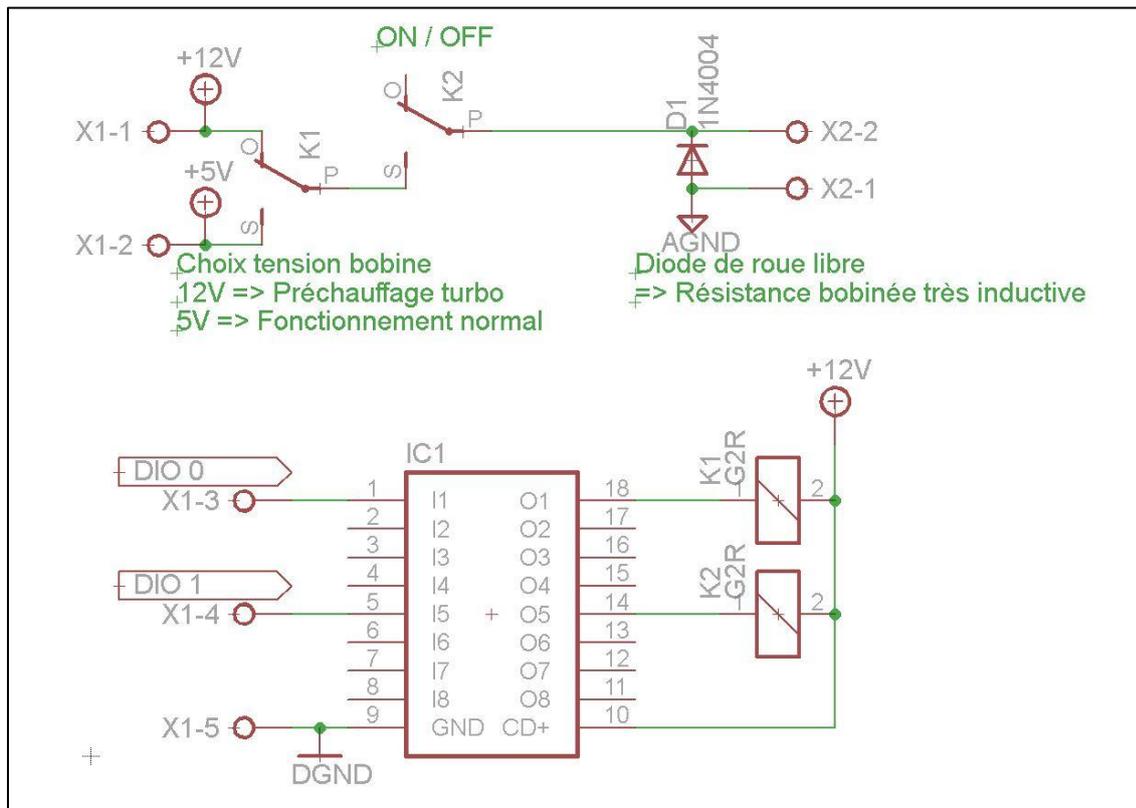
Un autre point important est la manière dont est relevée la température. Pour mesurer de façon idéale la température du flux d'air, il est indispensable que les deux sondes soient à distances égales de la résistance. Hors, dans notre prototype, la distance n'est pas identique, ce qui entraîne une différence de température entre les deux sondes lorsqu'il n'y a pas de flux (état au repos). Un offset est donc créé. Pour résoudre ce problème, nous avons corrigé cet offset sur notre mesure (via le programme LabVIEW). Afin de mesurer celui-ci, nous appliquons un courant dans la résistance mais sans flux d'air. Ainsi, si les sondes étaient à distances égales les mesures de température devraient être égales. Nous avons ainsi pu mettre en évidence l'offset que nous avons pu corriger par la suite.

Nous allons maintenant expliquer plus en détail le programme LabVIEW développé :

Au lancement du programme, le chauffage va être lancé en envoyant une commande à des relais qui permettent de gérer l'intensité. En effet, il y a deux modes de chauffage qui correspondent à des intensités différentes. Il y a tout d'abord le préchauffage qui se lance dès le démarrage du programme et qui s'arrête automatiquement dès qu'une des températures des deux thermocouples a dépassé 60°C. Le préchauffage correspond à une intensité de 12A et peut être switché. Une fois la température de 60°C atteinte ou le préchauffage switché, l'intensité envoyée redescend à 5A pour ne pas endommager le matériel (Les différents switchs sont gérés par des de relais connectés à la carte d'acquisition.). Il est alors possible de couper le chauffage ou de le remettre si besoin. Pour le bon fonctionnement de notre expérience, la température ne dépassera jamais les 80°C, en sachant qu'à partir de 130°C, la gaine de protection des fils composant la bobine fond (testé de nos propres mains). Un bouton stop (qui sert aussi d'arrêt d'urgence) est disponible. Ce bouton coupera automatiquement le chauffage pour éviter une surchauffe.

# Conception et Réalisation d'un Débitmètre Massique Thermique

## Schéma de la gestion des relais :



Une fois la gestion du chauffage créée, nous nous sommes occupés de la gestion des thermocouples.

Nous récupérons deux tensions via la carte d'acquisition qui sont proportionnelles à la température. En utilisant les données constructeurs, nous avons converti ces tensions en températures.

Nous avons étalonné le système de mesure de tel sorte que l'écart de température lorsque le ventilateur est à l'arrêt soit égal à 0. Il y a un écart car les thermocouples ne sont pas situés à égale distance de part et d'autres de la bobine. Ainsi, lors du chauffage, il n'y a pas la même température.

Nous avons ensuite introduit les différents paramètres nécessaires pour déterminer les caractéristiques de notre système, c'est-à-dire la sensibilité, la puissance ainsi que le diamètre du tube utilisé. Nous avons choisi d'utiliser un menu déroulant pour le choix du fluide, qui prendra automatiquement en compte les valeurs de capacité thermique et de densité volumique.

Enfin, nous nous sommes intéressés aux différentes variables de notre système que nous voulons mesurer, c'est-à-dire la vitesse d'écoulement du fluide et le débit massique thermique. Il s'est avéré que les résultats n'étaient pas constants. C'est pourquoi nous avons moyenné sur 1000 points les différentes valeurs afin d'obtenir une réponse stable. Les

# Conception et Réalisation d'un Débitmètre Massique Thermique

valeurs pouvant varier fortement, nous avons rendu le programme ergonomique en introduisant des indicateurs à échelle dynamique afin que nos données soient toujours facilement lisibles.

Pour les calculs, nous avons utilisé les formules décrites dans les parties précédentes, à savoir :

Pour la vitesse du fluide :

$$v = \frac{P}{C_p \cdot \Delta T \cdot \rho \cdot S}$$

Avec  $v$  : la vitesse

$\rho$  : la masse volumique

$C_p$  : capacité calorifique massique du fluide

$S$  : surface  $\Delta T$  : la variation de température

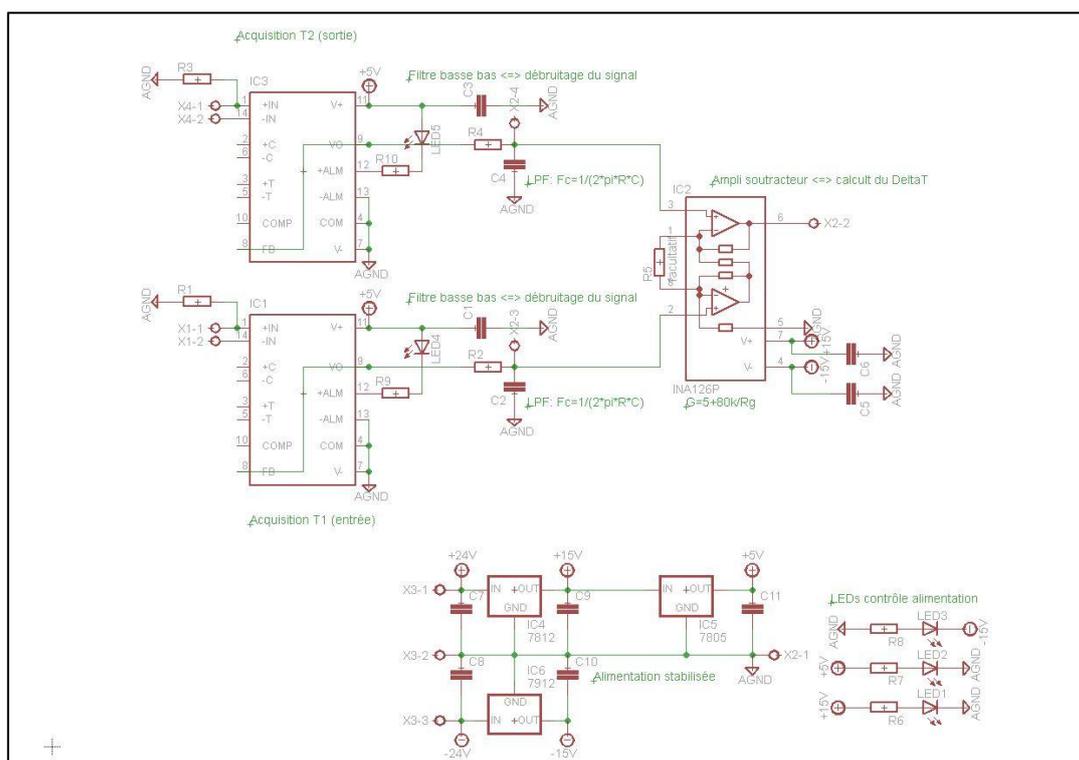
Pour le débit massique thermique :

$$Q_m = \frac{P}{C_p * \Delta T} * 360000$$

Avec  $Q_m$  : le débit massique en g/h.

Nous avons également conçu une carte électronique permettant de mesurer directement la différence de température. Cependant, nous n'avons pas reçu les composants nécessaires pour terminer la carte.

Voici le schéma de la carte :

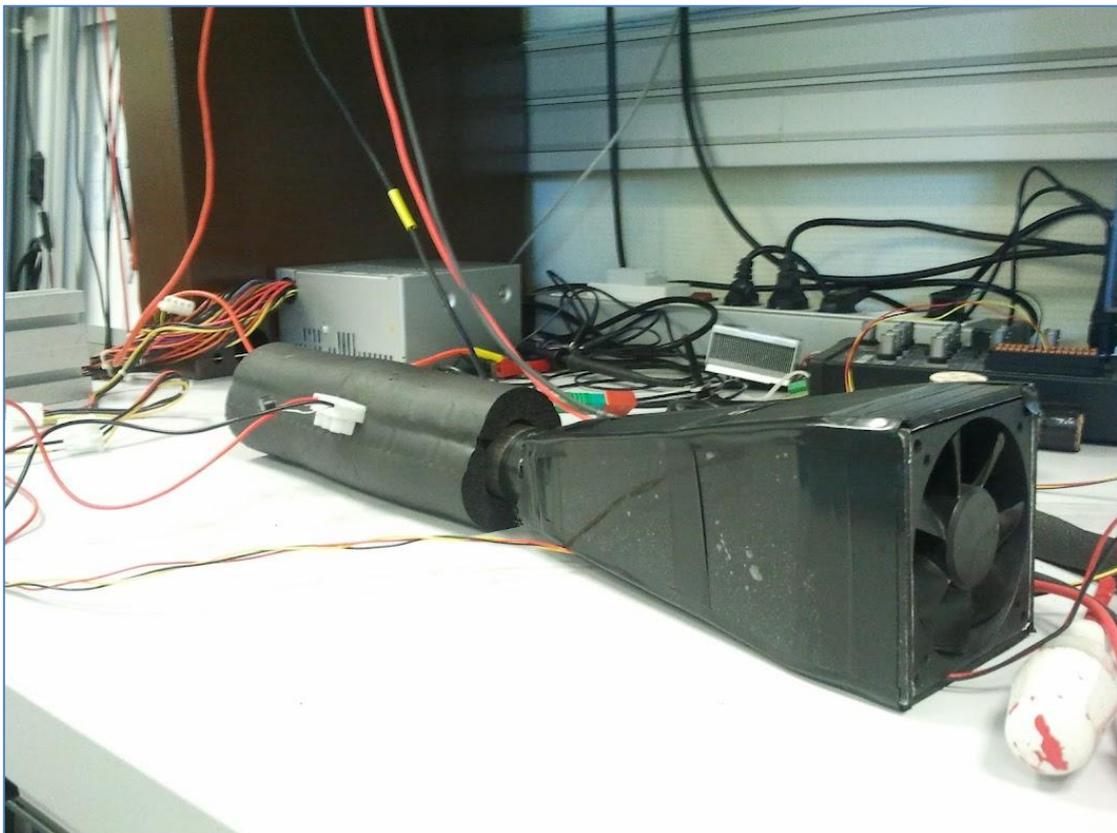


## Conception et Réalisation d'un Débitmètre Massique Thermique

---

Les deux tensions relatives aux deux thermocouples sont récupérées et sont différenciées via des montages amplificateurs. Nous avons la différence de température directement en sortie. Nous n'avons pas pu tester cette carte.

Dans une optique d'optimisation, nous avons placé du filtre pour centrale de traitement d'air (média) qui va permettre de linéariser le flux d'air plus efficacement que les rondins de bois. La longueur de ces filtres sera de 5 cm. De plus, nous avons calorifugé le tube afin d'éviter des pertes thermiques trop importantes. Ainsi, la chaleur restera concentrée le long du tube, ce qui va nous permettre de mesurer de plus grandes différences de température et donc d'avoir un flux plus important.



Nous pouvons voir sur la photo ci-dessus notre système avec le calorifuge autour du tube.

## Protocole d'essai et résultats des mesures

### Protocole d'essai

Afin de faire des relevés et d'utiliser notre capteur, il faudra respecter les étapes suivantes :

- Il faut placer les thermocouples au centre du tube (de manière à être à l'endroit où le flux est le plus rapide. En effet, le flux est plus lent près des bords du tube qu'au centre).
- Il faut penser à bien relier les relais et les thermocouples aux bonnes voies sur la carte d'acquisition pour que le programme LabVIEW puisse traiter les données.
- Il faut lancer le programme LabVIEW.
- Il faudra attendre l'équilibre thermique, qui correspond à 60°C, c'est-à-dire la fin de la phase de préchauffage.
- Avant d'allumer la ventilation, il faut relever l'écart de température qui correspond à notre offset dans un état de repos (le flux valant 0) et l'intégrer dans le programme.
- Une fois l'offset corrigé, il faut allumer la ventilation de manière à obtenir un flux à l'intérieur du tube.
- Les mesures vont pouvoir être relevées. Si on change la vitesse de ventilation, nous aurons des écarts de vitesse de fluide et de débit massique thermique.

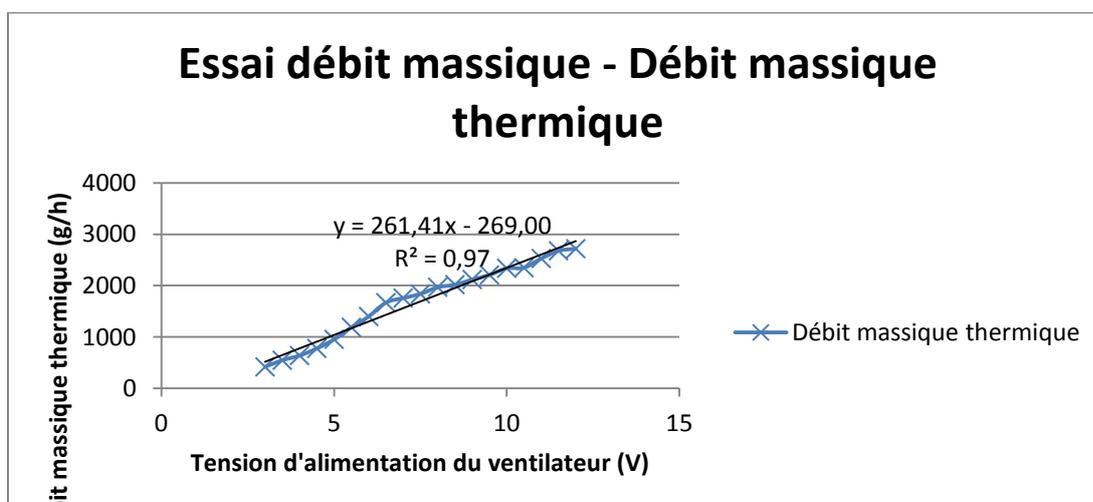
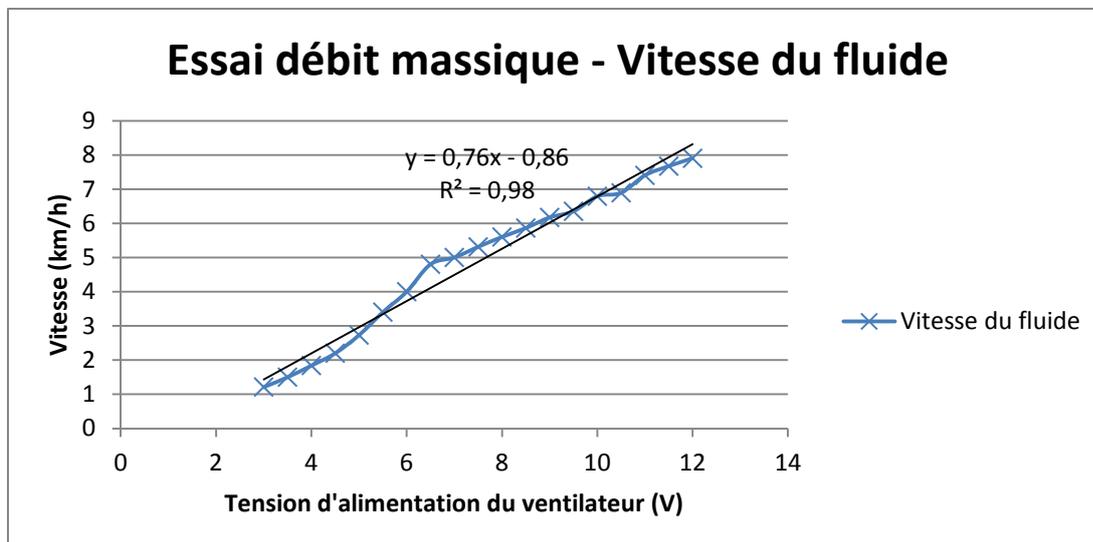
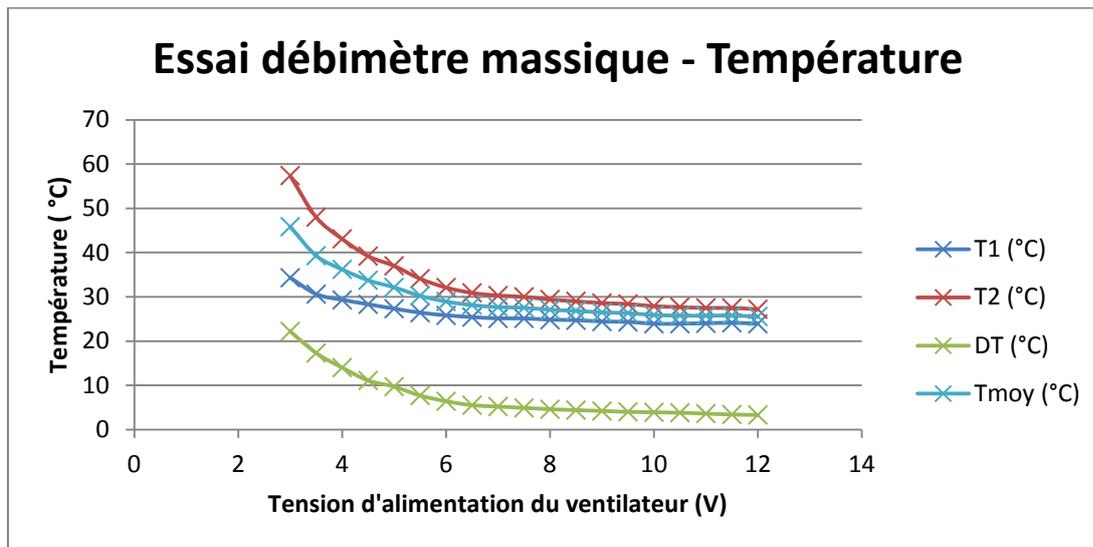
### Résultats des mesures

Nous avons réalisé un essai en augmentant la tension d'alimentation du ventilateur et en relevant les différents paramètres tels que les températures, la vitesse du fluide en km/h et le débit massique thermique en g/h.

Plus la vitesse de ventilation augmente, plus le débit de fluide augmente et plus le débit massique thermique augmente. Cependant les températures diminuent. Ceci est normal car la ventilation permet de refroidir le tube. La différence de température diminue également car le fluide est accéléré et l'écart de température entre les deux thermocouples est plus faible. Si le fluide est ralenti, il y a un plus grand écart de température. Nous retrouvons ces résultats sur les courbes suivantes. Le débit massique thermique et la vitesse sont proportionnels à la différence de température. Les relevés montrent bien que lorsque la tension d'alimentation augmente, les valeurs augmentent. Or, la tension d'alimentation agit sur la vitesse de ventilation, donc sur la différence de température entre les thermocouples. Nous obtenons des relations linéaires avec des coefficients de corrélation valant 0.98 pour la vitesse du fluide et 0.97 pour le débit massique thermique. Les résultats sont satisfaisants.

# Conception et Réalisation d'un Débitmètre Massique Thermique

Nous avons réuni les données sur les courbes ci-dessous :



## Analyse de la gestion du projet

Afin de gérer au mieux le projet, nous avons décidé de séparer les différentes tâches. Ainsi, chaque membre de l'équipe a eu des tâches spécifiques afin que le projet puisse avancer. Après avoir réalisé un brainstorming, nous avons défini les différentes étapes du projet et avons défini un planning (cf. Annexe C).

Nous avons rapidement réuni le matériel pour pouvoir faire notre prototype. Nous nous sommes ensuite séparés les différentes tâches : réaliser le VI, réaliser les cartes électroniques et améliorer le prototype. Nous avons porté beaucoup d'attention à ce projet, ainsi nous avons pu choisir efficacement les solutions.

Nous avons pu terminer dans les temps toutes les tâches prévues et avons un capteur fonctionnel et opérationnel.

## Conclusion

Le microprojet nous a permis de réaliser un capteur de débit massique thermique. Ce projet a permis de réunir les compétences de tout un groupe pour aboutir à un capteur. Ainsi, nous avons dû gérer le temps, les ressources, définir les différentes tâches... Le planning a bien été respecté par tous. Chaque membre a été très actif au cours des 5 séances et nous avons ainsi pu aboutir à un capteur fonctionnel.

Ainsi, notre capteur permet de relever le débit massique thermique d'un fluide circulant dans une veine chauffée par un bobinage, à partir du relevé d'une différence de température de part et d'autre du bobinage. Nous obtenons un comportement linéaire pour l'évolution de la vitesse du fluide dans la veine et le débit massique thermique du fluide avec des coefficients de corrélation valant respectivement 0.98 et 0.97.

Ce projet nous a permis d'utiliser des connaissances dans plusieurs domaines tels que la programmation LabVIEW, la physique, l'électronique, l'instrumentation. Il nous a permis de mettre en pratique les différentes notions abordées en cours, tout en gérant le temps imparti et la rédaction du compte rendu. Il nous a également permis de confronter le travail de chaque membre de l'équipe, le travail d'équipe étant très important dans le monde de l'industrie.

Nous avons cependant rencontré des problèmes de logistique, avec notamment l'accès difficile aux outils pour concevoir les prototypes. Nous avons également eu des problèmes de commandes de composant qui fait que nous n'avons pas pu utiliser le circuit imprimé développé permettant de relever directement la différence de température de nos deux thermocouples.

Quelques idées d'améliorations sont possibles :

Il pourrait être intéressant d'utiliser le circuit imprimé développé pour le relevé de la différence de température entre les deux thermocouples.

Il serait également intéressant d'avoir un procédé entièrement étanche pour pouvoir tester notre prototype avec des fluides différents (les différentes constantes n'étant pas les mêmes).

## Annexes

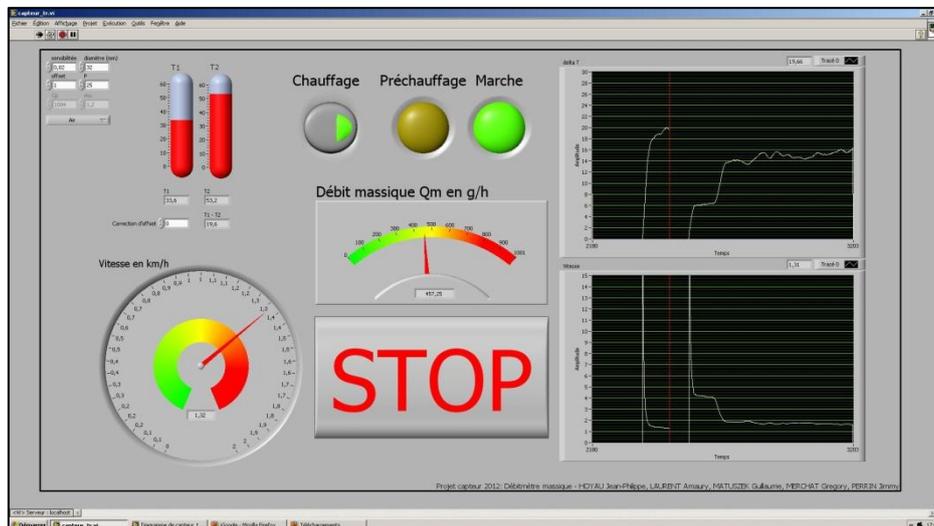
### Annexe A : Datasheet conditionneurs



Range	-50 to 200°C	-100 to 400 °C	0 to 1250°C
Target (thermocouple end) reference	K THAK 200	K THAK 400	K THAK 1250
Supply	5 to 18 Volts	5 to 18 Volts	5 to 18 Volts
Output	0 to 5 Volts	0 to 5 Volts	0 to 5 Volts
Sensitivity	20 mV / °C	10 mV / °C	4 mV/°C
Signal @ 0°C	1V	1V	0V
Initial Accuracy:	+/- 1 °C	+/- 1 °C	+/- 2 °C
Relative error (output/theoretical value) <sup>1</sup> (0 to 80°C amplifier temp.)	+/- 0,5 %	+/- 0,5 %	+/- 1 %

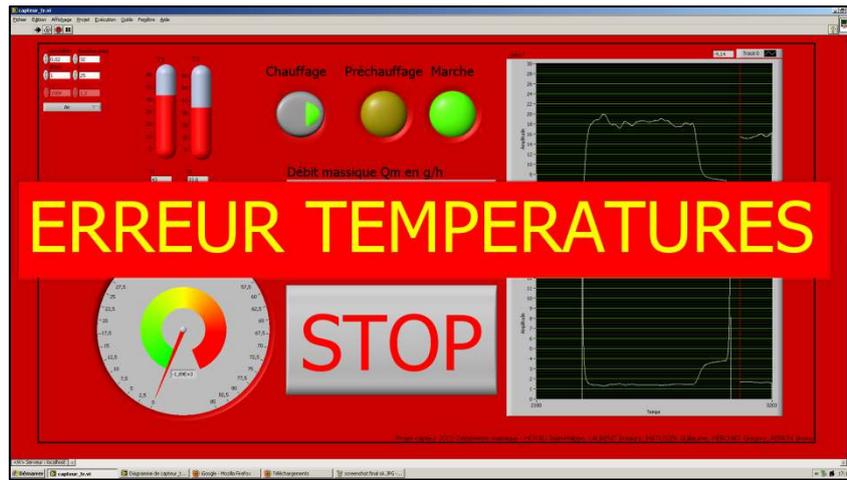
### Annexe B : Programme LabVIEW

Voici la face avant qui servira d'interface avec l'utilisateur. Sur la partie supérieure gauche, l'utilisateur va pouvoir rentrer les différents paramètres en fonction des tests qu'il va mener. Ensuite, des indicateurs vont permettre de suivre l'évolution du système, notamment les conditions de chauffage et les températures. Enfin, la vitesse et le débit massique sont représentés par les indicateurs à aiguilles.

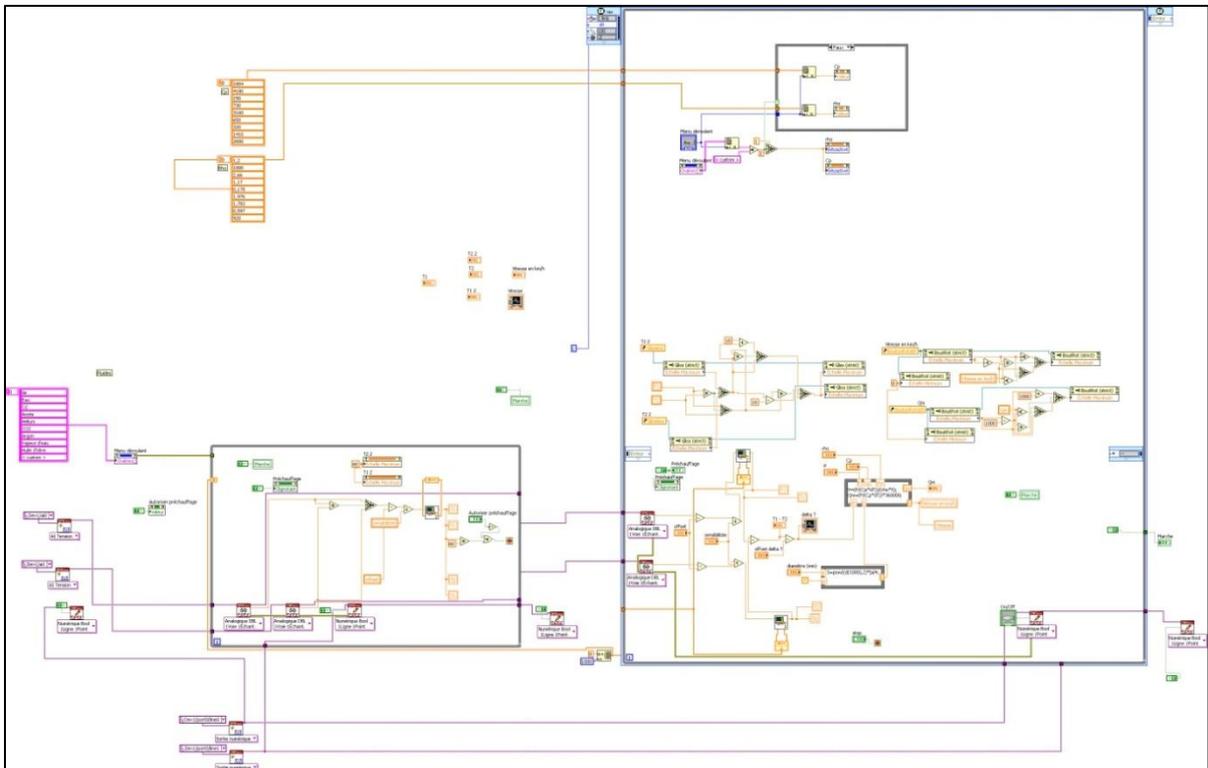


Voici une image globale de notre diagramme qui sera expliqué plus en détail par la suite.

# Conception et Réalisation d'un Débitmètre Massique Thermique



Nous avons rajouté une alerte pour l'utilisateur dans le programme pour lui annoncer une incohérence dans le relevé de température.

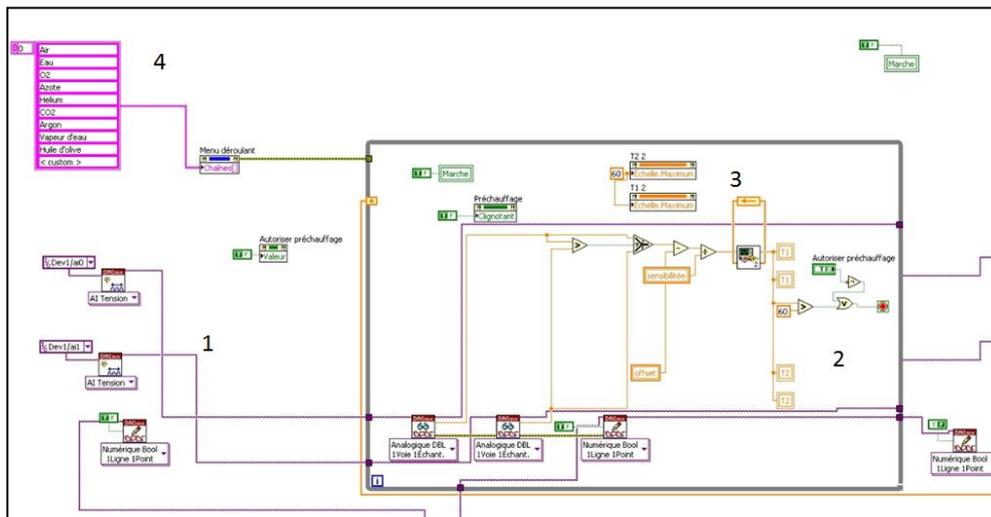


Sur cette vue globale, nous pouvons distinguer les différentes parties constituantes de notre programme.

Nous allons les détailler par la suite.

# Conception et Réalisation d'un Débitmètre Massique Thermique

Gestion du préchauffage :

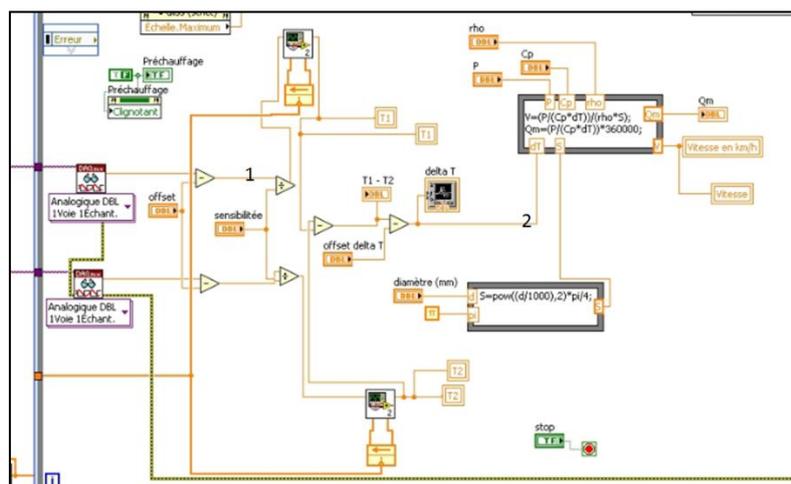


1 : Gestion des tensions des thermocouples. Nous récupérons la tension afin de la traduire en température pour effectuer nos mesures par la suite.

2 : Cette partie gère le préchauffage : Si le préchauffage est désactivé ou si une des deux températures relatives aux thermocouples dépasse 60°C, alors l'intensité envoyée dans la bobine va passer de 12A à 5A en activant des relais.

3 : Cette partie gère l'affichage de la température après avoir été moyennée pour un résultat plus propre.

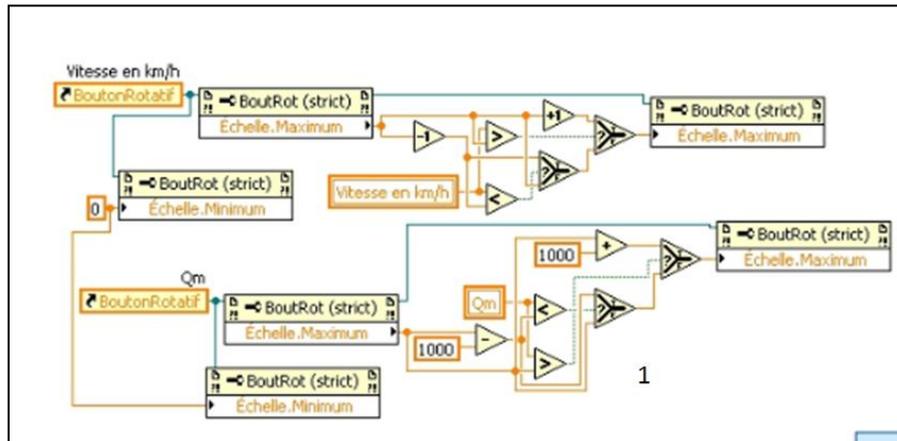
4 : Cette partie du programme va permettre à l'opérateur de choisir quel fluide il va utiliser durant son expérience.



1 : Il s'agit ici de la partie principale du programme. Cette partie est atteinte lorsque le préchauffage est terminé ou désactivé. La tension va être transcrite en température et une correction d'offset va être effectuée (pour que le différentiel de température soit nul lorsque la ventilation dans la veine de mesure est inexistante).

# Conception et Réalisation d'un Débitmètre Massique Thermique

2 : Les paramètres sont récupérés afin de déterminer la vitesse du fluide ainsi que son débit massique via des boîtes de calculs.



1 : Cette partie revient plusieurs fois dans le programme. Il s'agit de la partie qui va permettre de gérer la mise à l'échelle automatique des différents indicateurs utilisés. La valeur courante de l'indicateur est comparée avec les valeurs minimales et maximales des échelles afin de déterminer s'il faut changer ces valeurs pour réajuster l'affichage.

## Annexe C : Planning

№	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	Prédécesseurs
1	Recherches préliminaires	1 jour	Lun 30/04/12	Lun 30/04/12	
2	Réalisation du VI	3 jours	Mar 01/05/12	Jeu 03/05/12	3
3	Fabrication du prototype	1 jour	Lun 30/04/12	Lun 30/04/12	
4	Amélioration du prototype	4 jours	Mar 01/05/12	Ven 04/05/12	3
5	Réalisation convertisseur tension-courant	2 jours	Mer 02/05/12	Jeu 03/05/12	
6	Réalisation d'une carte à relai	1 jour	Mar 01/05/12	Mar 01/05/12	
7	Création du lamineur	1 jour	Mer 02/05/12	Mer 02/05/12	
8	Modélisation Solid Works	1 jour	Jeu 03/05/12	Jeu 03/05/12	
9	Etalonnage du ventilateur	1 jour	Mar 01/05/12	Mar 01/05/12	
10	Test de la maquette	1 jour	Ven 04/05/12	Ven 04/05/12	
11	Rédaction du rapport	5 jours	Lun 30/04/12	Ven 04/05/12	

## Annexe D : Le guide

### Projet N° 2

#### Conception et réalisation d'un débitmètre massique thermique

Le but du projet est de concevoir et de réaliser un « débitmètre massique » à effet thermique, permettant de mesurer, soit le débit, soit la vitesse d'un fluide (qui dans notre cas sera de l'air), selon le principe de la mesure de températures dans une veine de fluide, de part et d'autre d'un système de chauffage.

Il s'agira de réaliser d'une part, la partie « mécanique » comportant la prise de températures (thermocouples) et le chauffage du tube et le circuit de mesure des tensions délivrées par les sondes de température, et la partie « acquisition » d'autre part, via une carte d'acquisition et LabVIEW.

Composition de l'équipe (*indiquer le responsable*)

- **PERRIN Jimmy (Responsable)**
- HOYAU Jean-Philippe
- LAURENT Amaury
- MATUSZEK Guillaume
- MERCHAT Grégory

### Séance 1

#### Analyse du problème :

Sachant que nous devons faire des mesures de débit ou de vitesse de fluide, nous avons choisi d'utiliser un tube. Ainsi nous allons mesurer la différence de température de part et d'autre du tube. Et à partir de cette différence nous pourrons retrouver la vitesse de déplacement et le débit grâce à ces deux formules :

La vitesse du fluide est calculée de la manière suivante :

$$v = \frac{P}{C_p \cdot \Delta T \cdot \rho \cdot S}$$

Avec  $v$  : la vitesse en km/h

$\rho$  : la masse volumique

$P$  : la puissance délivrée

$C_p$  : capacité calorifique massique du fluide

$S$  : surface     $\Delta T$  : la variation de température

# Conception et Réalisation d'un Débitmètre Massique Thermique

---

Le débit va être calculé à partir de la formule suivante :

$$Q_m = \frac{P}{C_p * \Delta T} * 360000$$

Avec  $Q_m$  : le débit massique en g/h

## Choix technologiques :

Le tube utilisé sera bobiné par un fil qui nous servira de résistance. Ce tube aura comme propriété principale, la résistance à une forte chaleur. Donc ce tube sera en acier. Nous avons proscrit le plastique suite aux premiers essais.

Le tube étant bobiné avec un fil, nous allons faire passer un courant à travers ce fil, ce qui entrainera un échauffement pour le tube. Pour cela, nous allons créer un convertisseur tension-courant à partir de la batterie.

Pour simuler un flux d'air, nous allons créer un système de ventilation composé d'un ventilateur et d'une jupe en papier.

Pour acquérir et traiter les mesures des thermocouples, nous allons créer un VI avec le logiciel LabVIEW. A partir de ces mesures de températures, nous pourrons retrouver le débit du fluide.

## Prototypage du projet :

Dans un premier temps, nous avons réalisé plusieurs prototypes avec des tubes en PVC de diamètres différents, pour tester l'échauffement du tube. Mais ces résultats ne furent pas concluant vu que ces tubes ont eu tendance à se déformer sous l'action de la chaleur.

Ensuite nous avons rajouté le ventilateur et la jupe en papier à l'une des extrémités du tube pour simuler un débit d'air et de mesurer une différence de température.

## Séance 2

### Choix technologiques finaux :

Nous avons remplacé la jupe en papier par une jupe de symétrie carré en plastique rigide afin d'améliorer l'étanchéité et de concentrer tout le flux d'air dans le tube.

Nous avons créé un commutateur par relais pour simplifier la gestion du courant traversant le fil. Cela nous permet également de gérer deux modes de chauffage différents. Un mode préchauffage et un mode normal.

# Conception et Réalisation d'un Débitmètre Massique Thermique

---

Nous avons modifié le VI pour créer une interface graphique ergonomique par l'intégration de différents indicateurs à échelle dynamique.

## Dimensionnement (Suite du prototypage) :

Dans un premier temps, nous avons utilisé un long tube en acier (32mm de diamètre) que nous avons raccourci par la suite, pour éviter une perte de temps trop importante avant l'équilibre thermique.

Puisque le bobinage du tube est inductif, nous avons utilisé une diode pour protéger le matériel électronique en amont du montage.

Le courant traversant la bobine devra être assez important pour chauffer le tube. Ce dernier sera d'environ 12A lors de la phase de préchauffage et de 5A en mode normal.

Suite au système de ventilation utilisé et au choix du tube, nous pouvons mesurer des vitesses de fluide allant de 0 à 8km/h.

## Séance 3

### Réalisations

Le principe de notre capteur est de chauffer une résistance qui sera bobiné autour d'un tube. Un ventilateur devra créer un flux d'air dans ce tube. Ainsi en mesurant les températures de part et d'autre du bobinage on peut connaître la différence de température puis, par calcul, retrouver le débit.

Nous avons utilisé un tube en métal que nous avons scié. Nous avons bobiné un fil sur le tube, puis nous avons percé un trou de part et d'autre de la bobine pour y insérer les sondes. Pour créer le flux d'air, nous utilisons un ventilateur. Pour éviter de perdre une partie du flux d'air, nous utilisons une jupe qui canalise le flux à l'intérieur du tube. Pour laminariser le flux, nous utilisons des rondins de bois percés. Ainsi, le flux sera parallèle au tube.

Par la suite, nous avons étalonné le ventilateur afin de connaître la vitesse réelle à la sortie du tube. Ainsi, nous pouvions corriger la vitesse expérimentale.

Dans un premier temps, nous avons utilisé une alimentation PC pour alimenter notre prototype. Puis nous avons créé un convertisseur tension-courant afin de délivrer le courant nécessaire au chauffage de la bobine. Nous utilisons deux intensités de courant pour alimenter la bobine. Une intensité de 12A pour un mode préchauffage et une intensité de 5A pour un mode normal. Si nous passons d'un mode à l'autre manuellement, un arc électrique se crée. Pour éviter cela nous avons créé une carte relai qui permet de commuter entre ces deux modes.

# Conception et Réalisation d'un Débitmètre Massique Thermique

---

Pour acquérir les données, nous utilisons le logiciel LabVIEW. Nous relevons les températures des deux thermocouples, puis nous appliquons les formules définies ci-dessus pour retrouver le débit.

## Séance 4

### Protocoles d'essais

Pour obtenir des essais concluants et significatifs, il faut respecter différentes étapes :

- Placer les thermocouples au centre du tube (le flux est le plus rapide au centre du tube)
- Relier correctement les thermocouples et les relais à la carte d'acquisition
- Lancer le VI sous LabVIEW
- Atteindre l'équilibre thermique : 60°C
- Etalonner l'offset
- Mettre en marche le ventilateur
- Les mesures vont être relevées

### Résultats des mesures

Nous avons réalisé différents essais sur notre prototype. Nous avons relevé que plus la vitesse de ventilation augmente, plus le débit de fluide augmente et plus le débit massique thermique augmente. En revanche les températures diminuent. Cela est dû à la ventilation qui refroidit le tube. Etant donné que le flux d'air est accéléré, la différence de température diminue. A l'inverse si le fluide est ralenti, l'écart de température grandit.

## Séance 5

### Mesures et essais :

Nous avons réalisé différentes mesures pour vérifier le fonctionnement de notre montage à travers les mesures des différentes températures des deux thermocouples, de la différence entre ces deux températures, du débit massique thermique et la vitesse du fluide en fonction de la tension appliquée au ventilateur. A partir de ces mesures, nous avons tracé des graphiques pour mettre en évidence les différents régimes de fonctionnement. Nous pouvons en conclure que lorsque la vitesse de ventilation augmente, le débit du fluide augmente mais les températures des thermocouples diminuent. Cela provient du refroidissement du tube par le ventilateur. Etant donné que le flux d'air est accéléré, la différence de température diminue. A l'inverse si le fluide est ralenti, l'écart de température grandit.

## Conception et Réalisation d'un Débitmètre Massique Thermique

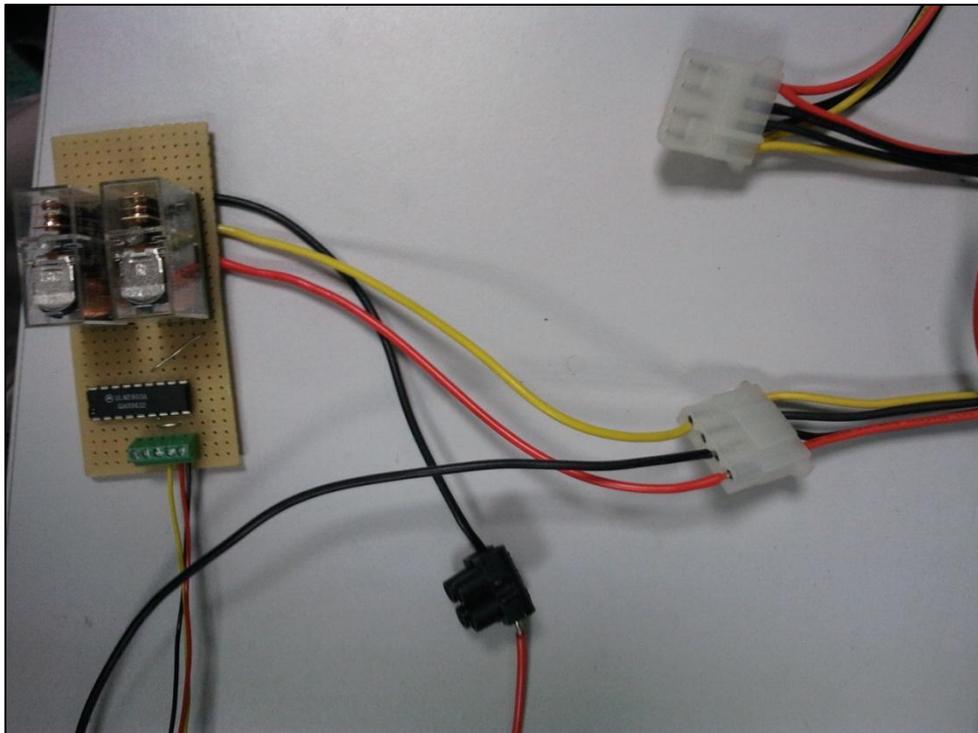
---

Ensuite, nous avons modifié une nouvelle fois le VI. Nous avons sous-échantillonné les graphiques pour les rendre plus réactifs, puis nous avons affiché les erreurs lorsque celles-ci sont présentes. Pour cela, nous faisons afficher un pop-up d'erreur bien visuel, jusqu'à ce que l'erreur soit résolue.

### Caractéristiques métrologiques

Les coefficients de corrélation sont de 0.97 pour le débit massique thermique et de 0.98 pour la vitesse du fluide dans le tube. Les résultats sont donc satisfaisants. Nous avons un capteur fonctionnel.

### Annexe E : Câblage



**Schéma de câblage du circuit contenant les relais pour la commande de chauffage**



Schéma de câblage de la carte d'acquisition

## Annexe F : Article

### **Développement d'un nez électronique portable pour la détection et la classification des odeurs de fruits.**

#### **Introduction :**

Cet article traite du développement d'un nez électronique portable (un prototype appelé E-Nose) capable de reconnaître les odeurs de trois fruits : le citron, le litchi et la banane. Détecter des odeurs est un domaine très difficile à traiter mais est très important dans le domaine industriel. En effet, de nombreuses applications nécessitent des contrôles d'odeurs, notamment en agriculture, en contrôle qualité de produits alimentaires, en qualité de l'air et également pour la détection de gaz nocifs. L'odorat est un sens humain qui varie fortement avec l'environnement dans lequel on évolue. Ainsi, des études sont menées pour que les tâches soient exécutées par des machines.

Les recherches dans le domaine des odeurs ont débutées en 1982 et de nombreuses machines ont été développées comme Diagnose (machine Hollandaise) ou encore Artinose (machine Allemande).

Les machines prennent énormément de place car les algorithmes mis en jeu dans la détection d'odeur sont très complexes et nécessitent donc d'immenses unités centrales. En ce qui concerne l'E-Nose, les fonctions ont été relativement simplifiées et un microprocesseur va permettre de faire les calculs nécessaires.

#### **Description du système utilisé :**

L'E-Nose est composé d'une composition de 8 capteurs capables de reconnaître des odeurs comme si elles avaient des empreintes digitales. Les capteurs vont agir ensemble et l'étude des réponses de tous les éléments va constituer une réponse relative à une odeur (reconstitution du système olfactif des mammifères). 8 capteurs sont utilisés car les odeurs de fruits sont des compositions complexes de plusieurs odeurs primaires provenant principalement des liaisons ou des groupements chimiques.

L'élément sensible des capteurs est le SnO<sub>2</sub>. Lorsque le SnO<sub>2</sub> est chauffé à une température spécifique dans l'air, l'oxygène est adsorbé et des électrons s'accumulent sur une surface cristalline. Ces électrons sont alors transférés à l'oxygène adsorbé. Une surface chargée positivement est alors créée, qui sert de barrière à l'échange d'électrons libres et qui entraîne une variation de résistance.

Cette variation de résistance va être mesurée.

# Conception et Réalisation d'un Débitmètre Massique Thermique

---

Une interface PCB va être utilisée afin de regrouper les 8 signaux des 8 capteurs. Cette interface comprend 8 circuits IPC, un multiplexeur et un convertisseur analogique numérique 8 bits.

Les données vont être ensuite envoyées sur un microprocesseur 8051. Ce microprocesseur a été choisi pour ces performances en calculs arithmétiques et également pour son code open source.

Durant la manipulation, le microprocesseur va préalablement relever les valeurs des résistances au repos puis relèvera les valeurs des résistances lorsque les gaz seront au contact des capteurs. Un algorithme KNN va être utilisé.

Afin de vérifier les différentes données et relevés, un programme LabVIEW va être utilisé et va même permettre de tester différents algorithmes (aux nombres de 6 dans nos expériences).

## Résultats expérimentaux :

Afin de tester les odeurs de fruits, il est indispensable d'étalonner nos capteurs. Pour cela, les empreintes de trois fruits vont être mesurées préalablement : le litchi, la banane et le citron. Ces trois fruits ont la particularité d'avoir des odeurs complètement différentes. Ces empreintes sont relevées à partir de la variation des résistances dans les 8 capteurs.

Une fois les empreintes mesurées, des tests vont pouvoir être menés :

Ainsi, l'E-Nose va devoir reconnaître des odeurs de fruits avec des fruits testés à des jours différents.

Les résultats sont très positifs. L'algorithme utilisé par le microprocesseur (KNN) permet à 96.6% de retrouver les fruits associés aux odeurs mesurées.

Les autres algorithmes testés via le logiciel LabVIEW sont précis entre 75.2% et 96.6%.

Si l'on représente les odeurs sur des schémas en 3D, nous pouvons voir trois zones distinctes représentatives des odeurs. Il est donc tout à fait compréhensible que les capteurs puissent déterminer les fruits.

Un second test avec un quatrième fruit va être mené : le longane. Le longane est un fruit qui ressemble de goût comme d'odeur au litchi. Les empreintes digitales sont d'ailleurs très équivalentes et la fiabilité du système va ainsi être testée. Les séries de mesures vont se dérouler de la même manière que précédemment et les résultats sont beaucoup moins précis : l'algorithme utilisé (KNN) permet à 68.9% de différencier le litchi et le longane. Si l'on considère les 4 fruits, la précision est de 82.4%, soit 14% moins précis que précédemment.

Les 5 autres algorithmes testés avec le logiciel LabVIEW n'apportent pas des résultats plus performants.

## Conception et Réalisation d'un Débitmètre Massique Thermique

---

Cette seconde expérience montre combien il est difficile de différencier toutes les odeurs, surtout lorsque certaines sont similaires.

### **Conclusion :**

L'E-Nose est un instrument de mesure d'odeurs portable, qui permet, par le biais de ses 8 capteurs, de détecter les odeurs de trois fruits qui sont la banane, le litchi et le citron. La détection est aisée puisque les odeurs et les compositions de ces trois fruits sont très différentes.

Les expériences ont cependant montrées que lorsque des éléments ont des compositions et des odeurs similaires, il est beaucoup plus difficile de les différencier. Il faudrait dans ce cas utiliser plus de capteurs, donc utiliser d'autres interfaces IPC, des algorithmes plus complexes.... si bien qu'au final, il va rester difficile de rester sur une version portable du nez électronique.

L'algorithme utilisé (KNN) est très performant avec 96.6% de précision quant à la reconnaissance des fruits testés. Cependant, cet algorithme perd de son efficacité lorsque les odeurs deviennent semblables.