

## **VEINE IN-SITU**


---

### **Manuel de l'utilisateur :**

- Banc d'essai
- Logiciel



**REDACTION**

	Nom – Fonction	Signature	Date
REDACTION	Eric PORTIER Chargé d'affaires	 E. Portier.	09/06/2020
VERIFICATION	Jean-Christophe LE ROUX Responsable de pôle		

**EVOLUTION**

Indice / Révision	Pages créées ou modifiées	Nature de l'évolution	Date
1 / A	21	Création	09/06/2020

## SOMMAIRE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
<b>II.</b>	<b>DESCRIPTION GENERALE .....</b>	<b>5</b>
II.1	DESCRIPTION GENERALE .....	5
II.2	GENERATION DE L'ÉCOULEMENT .....	6
II.3	BOUCLE DE CONTROLE DU DEBIT D'ÉCOULEMENT .....	9
II.3.1	<i>Variateur de fréquence.....</i>	9
II.3.2	<i>Mesure de débit.....</i>	9
II.3.3	<i>Nombre de Mach - Asservissement.....</i>	10
II.3.4	<i>Densité de l'air.....</i>	11
II.4	CONTROLE DE LA TEMPERATURE .....	12
II.4.1	<i>Batterie chauffante .....</i>	12
II.4.2	<i>Mesures de température.....</i>	13
II.4.3	<i>Asservissement.....</i>	13
II.5	EXCITATION ACOUSTIQUE .....	13
II.6	CANAL DE MESURE .....	14
II.7	CAVITES DE MESURE IN-SITU .....	15
II.8	DIVERGENT DE SORTIE.....	16
II.9	MATERIEL D'ACQUISITION ET DE GENERATION DES SIGNAUX .....	16
II.10	LOGICIEL DE PILOTAGE.....	17
<b>III.</b>	<b>FONCTIONNEMENT .....</b>	<b>19</b>
III.1	MISE SOUS TENSION .....	19
III.2	MISE EN MARCHÉ.....	19
III.3	MISE A L'ARRÊT .....	20
III.4	MESURES ACOUSTIQUES .....	20
<b>IV.</b>	<b>PRECAUTIONS GENERALES.....</b>	<b>21</b>
IV.1	PROTECTION DES PERSONNES .....	21
IV.2	PROTECTION MATERIELLE.....	21

## I. INTRODUCTION

Ce manuel est destiné aux utilisateurs de la veine dite « **In-Situ** » permettant la mesure de l'impédance acoustique par la méthode directe (Méthode de Dean ou méthode In-Situ) pour un échantillon de plaque perforée pouvant être placé en plusieurs positions sur un côté de veine afin de le soumettre à une épaisseur de couche limite différente et avec un niveau d'écoulement maximum correspondant à Mach 0,6.

Le banc d'essai fait référence au cahier des charges MAPA 2018 077 du 18/12/18

Ce document comporte plusieurs parties :

- La première partie présente la structure générale du banc
- La seconde partie détaille l'utilisation et les fonctionnalités du logiciel de pilotage.

## II. DESCRIPTION GENERALE

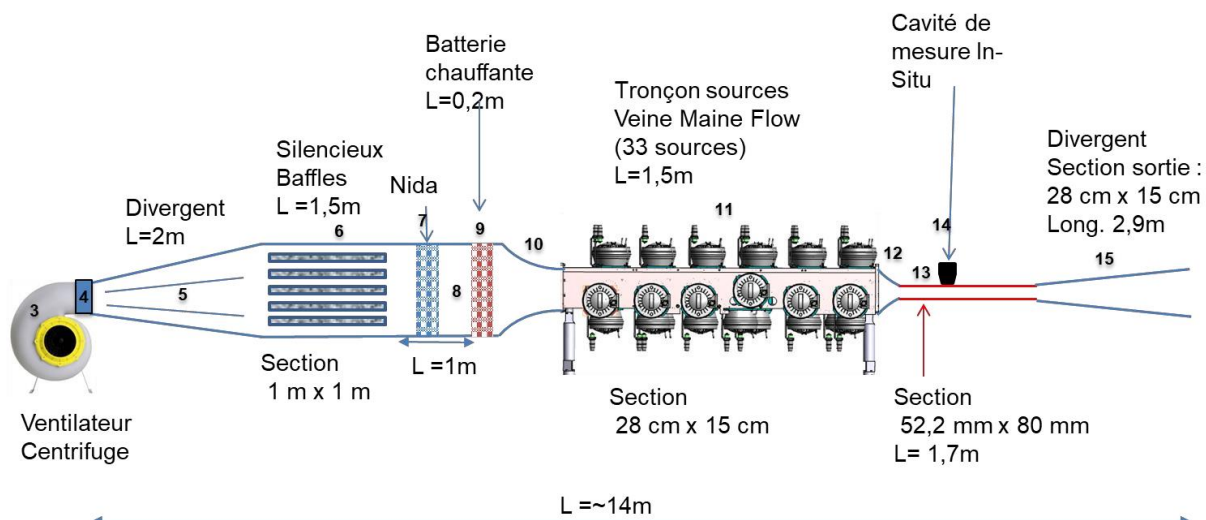
### II.1 Description générale

La veine d'essai est actuellement installée dans le local artisanal situé au 9 rue Vincent Scotto au Mans, avec la veine d'essai MaineFlow. La Figure 1 présente une vue d'ensemble de la veine montée.



**Figure 1** Vue d'ensemble de la veine d'essai

Le schéma de principe de la veine est décrit en Figure 2.



**Figure 2** Vue schématique de la veine d'essai

Les éléments constitutifs sont les suivants, de l'amont vers l'aval :

1. Silencieux aspiration (non représenté sur le schéma) :
2. Manchette souple d'aspiration (non représenté sur le schéma)

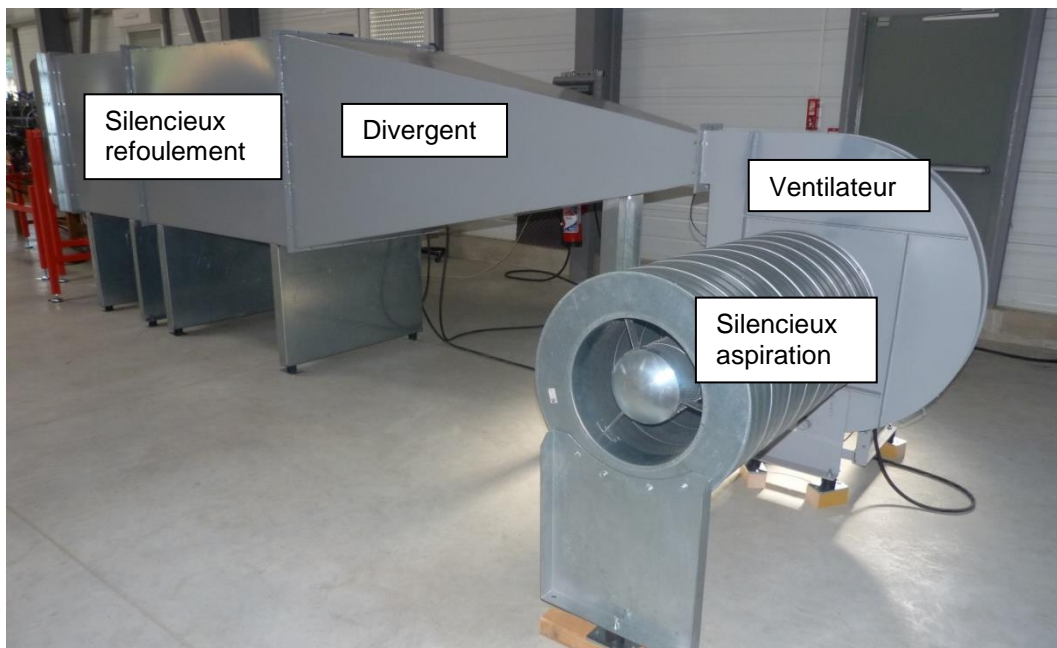
3. Ventilateur centrifuge
4. Manchette souple de refoulement
5. Divergent,
6. Silencieux rectangulaire à baffles<sup>1</sup>, section 1m x 1m, longueur 1,5m
7. Nid d'abeille, longueur 0,5m
8. Tronçon vide, longueur 0,5m
9. Batterie chauffante (delta 15°C pour 3600 m<sup>3</sup>/h)
10. Convergent, passage à la section 280 mm x 150mm
11. Tronçon sources du banc Maine Flow, longueur 1,5m
12. Convergent, passage à la section 52 mm x 80 mm
13. Canal de mesure section 52 mm x 80 mm, longueur 1,7 m
14. Cavité In Situ de mesure
15. Divergent, passage à la section 280 mm x 150mm, longueur 2,9m

Le canal de mesure (13) a une longueur permettant la mesure à 3 positions longitudinales différentes correspondant à des variations significatives d'épaisseur de couche limite.

En sortie de canal un divergent de longueur de 2,9 m permet la récupération de la pression dynamique générée par le ventilateur et le raccordement éventuel au tronçon source (11) afin d'avoir la possibilité de réaliser une excitation en aval de la cavité de mesure.

## II.2 Génération de l'écoulement

Le ventilateur mis œuvre est un ventilateur centrifuge de la marque Ferrari, type FE 711 N1<sup>1</sup> non capoté et fourni par la société Rucon.

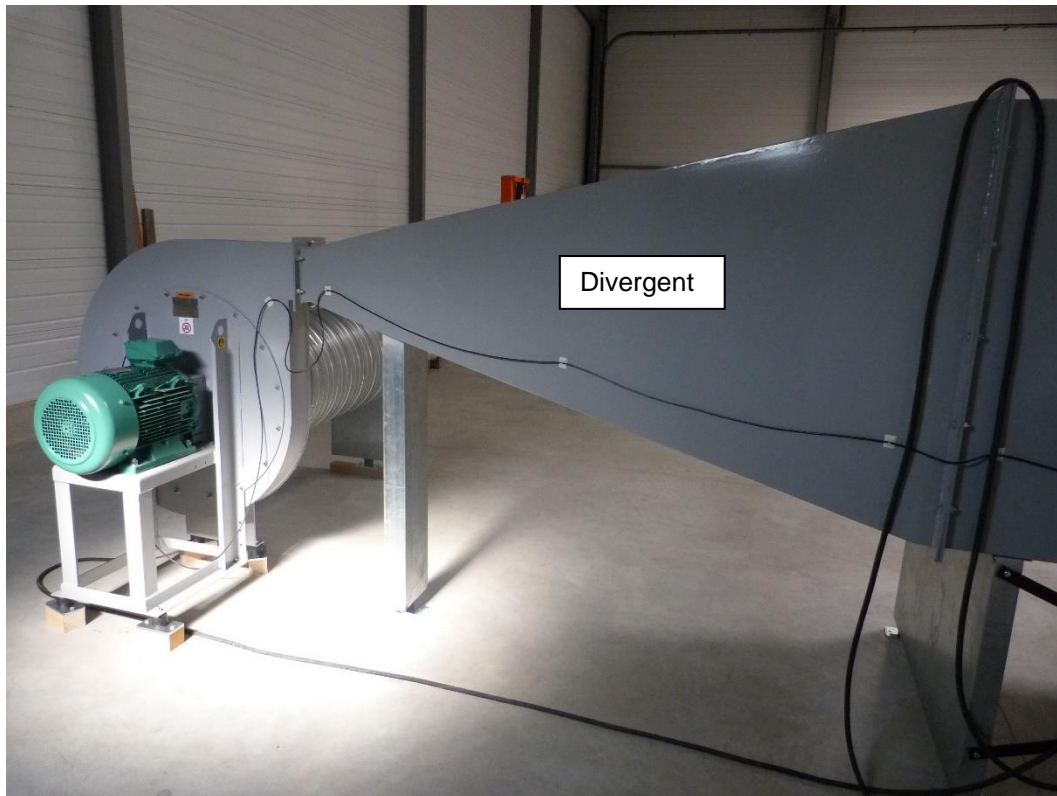


**Figure 3** Ventilateur centrifuge avec le silencieux d'aspiration

En amont du ventilateur, un silencieux d'aspiration à bulbe de diamètre d'entrée 355 mm est monté et suivi d'un convergent de diamètre 250 mm pour raccordement à l'entrée du ventilateur.

<sup>1</sup> On se reportera à l'annexe I pour les caractéristiques techniques





**Figure 4** Ventilateur (côté entraînement)

Le refoulement du ventilateur se fait au travers d'un divergent de longueur 2m et de section de sortie 1m x1m (Figure 4). La manchette de découplage n'est pas montée de façon à ne pas perturber l'écoulement à l'entrée du divergent.

En aval du divergent, un silencieux à baffles de longueur 1,5 m de section 1m x 1m est monté, sur lequel est fixé le variateur de fréquences<sup>2</sup>. On trouve ensuite un tronçon de longueur 1 m contenant le redresseur d'écoulement. Sur ce tronçon est fixée l'armoire de commande de la batterie chauffante.

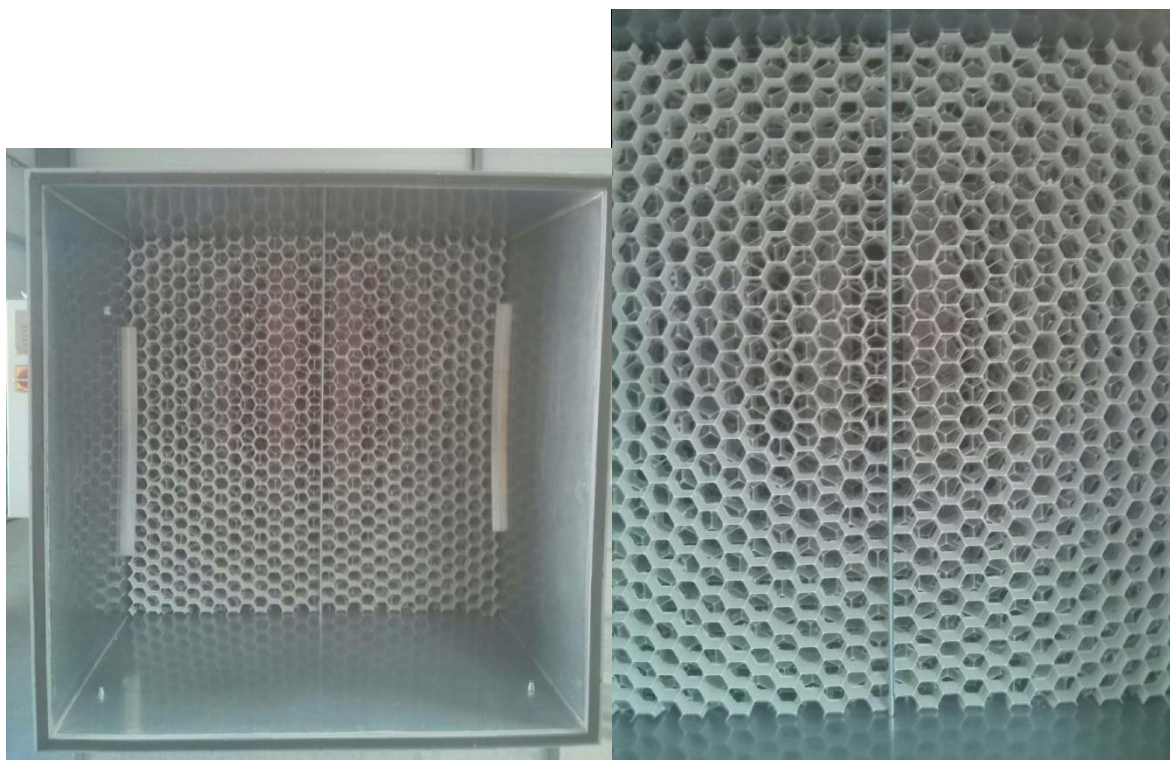
Un empilement de 6 couches d'épaisseur 15mm de structures en nids d'abeille (Figure 6) permet une homogénéisation de l'écoulement en sortie du silencieux à baffles. La batterie chauffante (Figure 5) est montée en sortie du tronçon de redressement.

Enfin un convergent curviligne de longueur 1,1m (Figure 7) permet le passage de la section 1m x 1m à la section de la veine MaineFlow (28 cm x 15 cm) afin d'alimenter le tronçon sources acoustiques. On se reportera à l'Annexe 2 pour les plans de cet élément.

<sup>2</sup> Propriété CTTM, mise à disposition



**Figure 5** Silencieux de refoulement avec variateur de fréquence – tronçon de redressement d'écoulement avec armoire de commande de la batterie chauffante – Batterie chauffante.



**Figure 6** Nid d'abeille





**Figure 7** Convergent curviligne

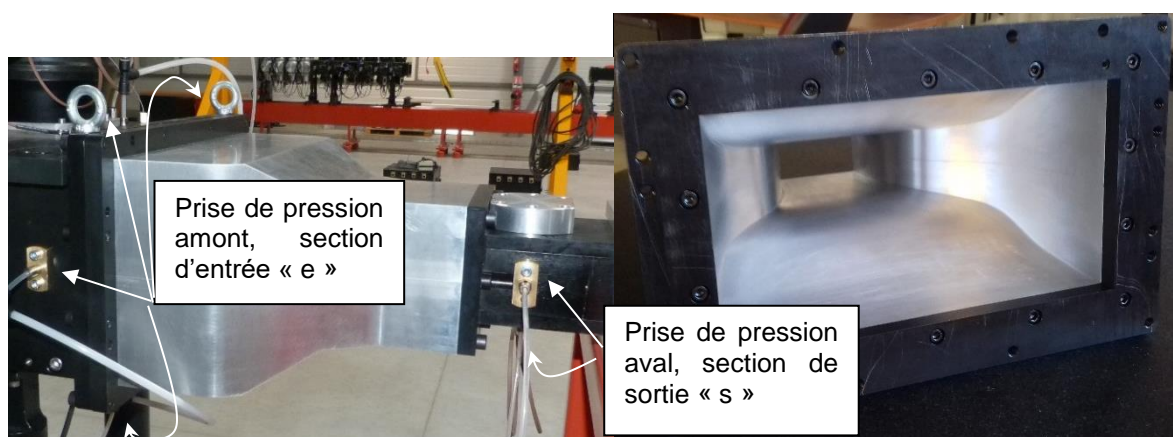
## II.3 Boucle de contrôle du débit d'écoulement

### II.3.1 Variateur de fréquence

Le ventilateur est piloté par le variateur de fréquences Leroy Somer de type Unidrive SP4401 (Figure 5). Cet équipement est propriété du CTTM et mis à disposition, sans limitation de durée.

### II.3.2 Mesure de débit

La mesure de débit est effectuée grâce au convergent profilé (Figure 8), c'est-à-dire en mesurant la différence de pression entre les sections d'entrée et de sortie du convergent. Ce convergent, dont l'intérieur est entièrement usiné est monté entre le tronçon sources et le canal de mesure.



**Figure 8** Convergent profilé

La prise de pression amont se fait au moyen d'une prise de pression piézométrique, c'est-à-dire par moyennage de 4 prises de pression statique sur chacune des faces en sortie du tronçon sources, soit juste en amont de la bride de montage du

convergent usiné. La prise de pression aval se fait par moyennage de deux prises de pression statiques dans la première section de mesure du canal, soit à +50 mm de la section de sortie du convergent.

La relation utilisée pour estimer la vitesse de débit à l'entrée du canal est la suivante :

$$U_d = K \sqrt{2\Delta P \frac{S_e^2}{\rho_s S_e^2 - \rho_e S_s^2}}$$

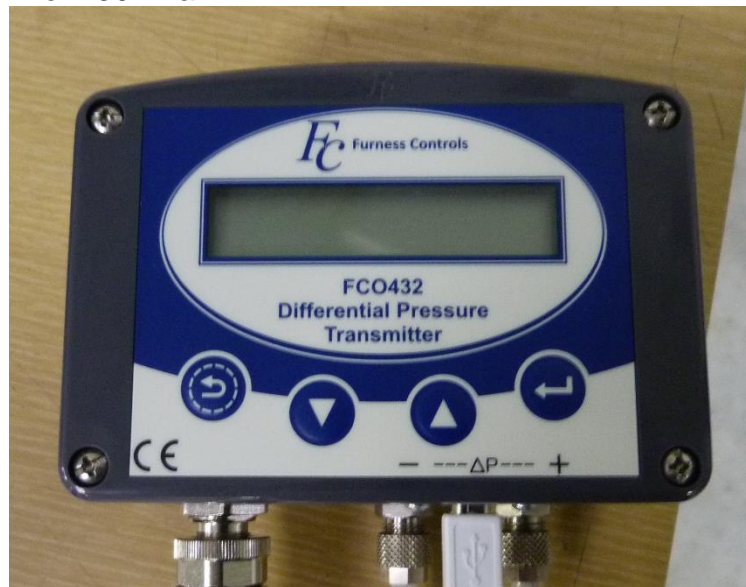
Où :

- $U_d$  : vitesse de débit dans la section « s » (sortie du convergent) dans la première section de mesure du canal ;
- $\Delta P$  : pression différentielle ;
- $\rho_e, \rho_s$  : densités de l'air, respectivement dans les sections d'entrée et de sortie ;
- $S_e^2, S_s^2$  : sections d'entrée et de sortie ( $S_e = 0,15 \times 0,28 \text{ m}^2$  et  $S_s = 0,0522 \times 0,08 \text{ m}^2$ ) ;
- $K$  : coefficient de débit, obtenu par calibration.

La densité de l'air dans la section considérée est calculée à partir de la pression statique  $P_{stat}$  et de la température  $T$  :

$$\rho = 1,293 \frac{273,15}{273,15 + T(^{\circ}\text{C})} \frac{P_{stat}(\text{Pa})}{101325}$$

La pression différentielle est mesurée au moyen du capteur Furness Control, type FCO432 de gamme  $\pm 30 \text{ kPa}$  :



**Figure 9** Capteur de pression différentielle

### II.3.3 Nombre de Mach - Asservissement

La vitesse obtenue permet ensuite le calcul du nombre de Mach dans la section  $i$  de mesure considérée le long du canal :

$$M_i = \frac{\rho_s U_d}{\rho_i c}$$

Où  $c$  est la célérité obtenue par la relation suivante :

$$c = \sqrt{\gamma RT}$$

L'obtention du nombre de Mach permet ensuite la mise en place d'une boucle d'asservissement de type PI gérée par le logiciel de pilotage de la veine. Une consigne en tension est alors transmise au variateur de fréquences.

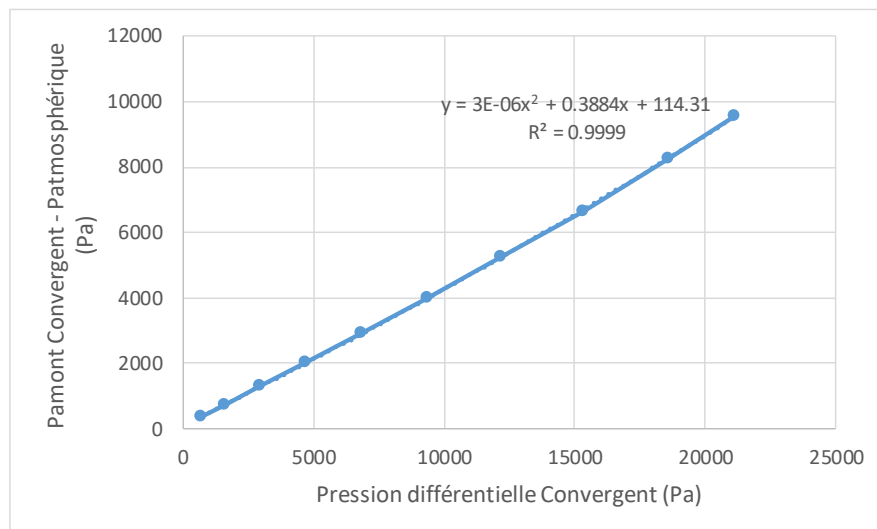
### II.3.4 Densité de l'air

L'estimation du nombre de Mach nécessite une estimation assez précise des densités de l'air aux positions de mesure et donc de la pression absolue aux points de mesure. Il faudrait donc disposer un capteur de pression absolue à chaque point de mesure en plus de la pression différentielle qui sert à la mesure de débit.

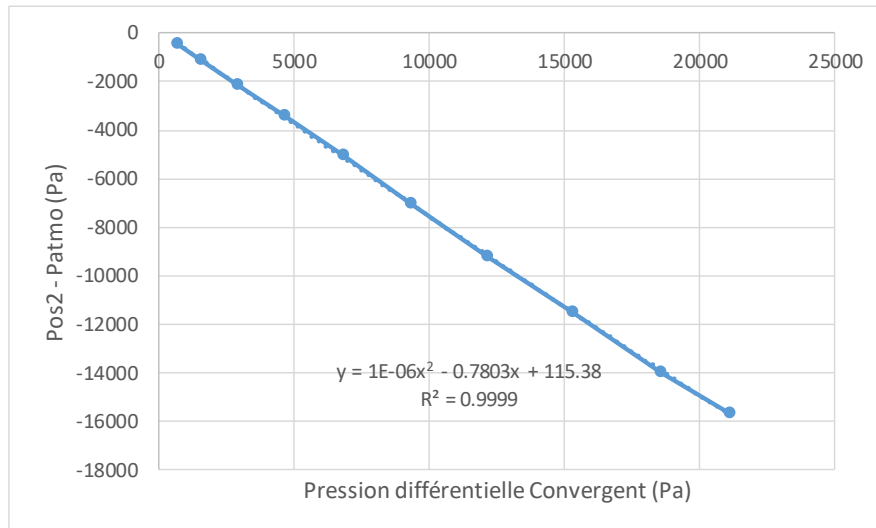
Toutefois une table a été établie sur chaque position de mesure qui donne la pression différentielle entre la pression au point de mesure et la pression atmosphérique en fonction du débit (soit en fonction de la pression différentielle de part et d'autre du convergent).

Les figures suivantes présentent l'évolution de la pression relative aux points de mesure avec la pression atmosphérique en fonction de la pression différentielle mesurée au convergent (c'est-à-dire du débit). Ces lois sont rentrées dans le traitement qui permet l'estimation du nombre de Mach moyen.

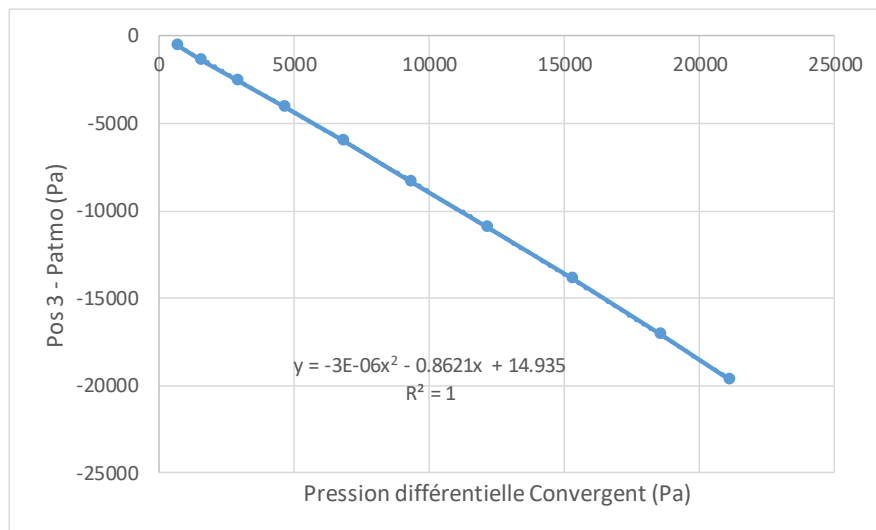
La pression atmosphérique est, quant à elle, mesurée au moyen d'une centrale météo ou par défaut la pression atmosphérique du lieu est utilisée (donnée météo).



**Figure 10** Pamont convergent vs débit (pression différentielle convergent)



**Figure 11** P pos2 vs débit (pression différentielle convergent)



**Figure 12** P pos3 vs débit (pression différentielle convergent)

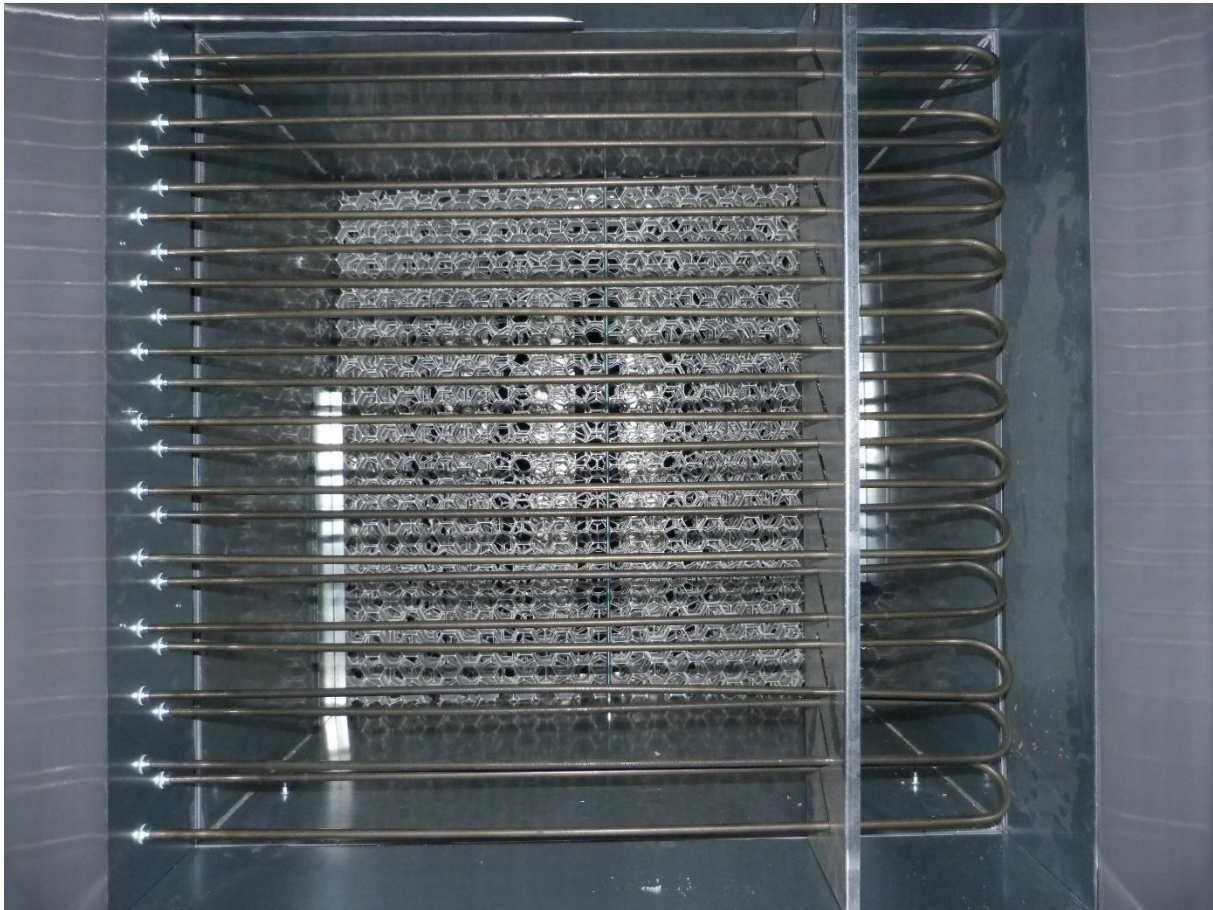
## II.4 Contrôle de la température

### II.4.1 Batterie chauffante

Une batterie chauffante de puissance 24 kW est fournie par la société Rucon et installée en sortie du conduit de redressement de l'écoulement. Cette batterie est livrée avec son armoire de commande en puissance.

Le rôle de cette batterie est de chauffer légèrement l'écoulement de telle façon que la température d'essai ne soit pas trop basse lors des essais à haut nombre de Mach (0,6).





**Figure 13** Batterie chauffante

#### II.4.2 Mesures de température

Les trois sections de mesure du canal sont équipées de prises de température au moyen de thermocouples de type T (voir Figure 16)

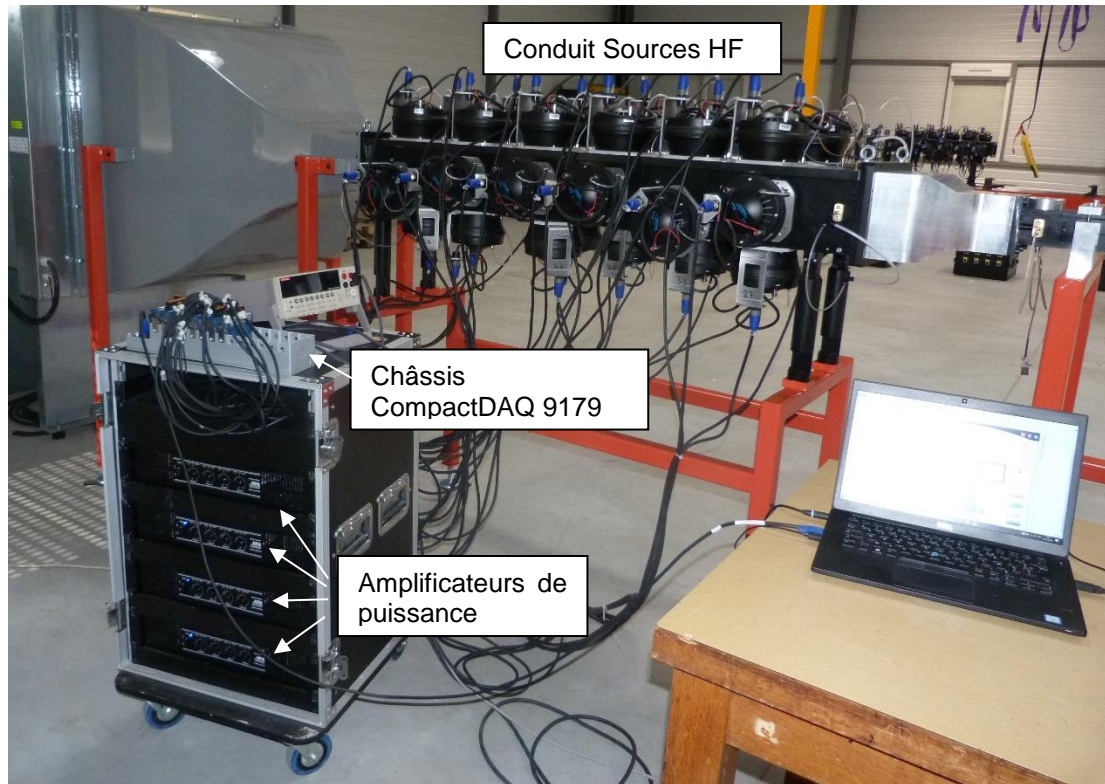
#### II.4.3 Asservissement

La mesure de la température dans la section considérée permet de mettre en place une boucle d'asservissement de type PI et donc de générer une commande en tension transmise à l'armoire de puissance.

Toutefois lors des essais de mise au point il s'est avéré inutile de réchauffer l'écoulement, la température dans le canal étant toujours de l'ordre de la température ambiante. La régulation en température, n'a donc pas été mise en place.

### **II.5 Excitation acoustique**

L'excitation acoustique est réalisée au moyen d'un tronçon de sources hautes fréquences du banc Maine Flow, équipé de 33 chambres de compression (Figure 14). Le tronçon peut également être monté en aval du divergent en sortie de veine.



**Figure 14** Conduit sources hautes fréquences – Chaîne d'amplification

Cette solution est imposée de façon à pouvoir bénéficier d'une faible épaisseur de couche limite dès la sortie du convergent. En effet, la mise en place de sources dans le tronçon de mesure aurait conduit à utiliser 8 chambres de compression pour atteindre le niveau requis (de l'ordre de 150 dB en excitation sinus sur la bande de fréquences 800 à 5000 Hz), mais cette solution aurait déporté la zone de mesure et aurait détérioré la couche limite en sortie du convergent.

Ces sources sont alimentées par 4 amplificateurs HPA QA 4300 de 4 voies chacun, chacune des voies pouvant alimenter 2 chambres de compression. Au total 32 sources sont pilotées. Ces amplificateurs sont pilotés indépendamment sur chacune des voies (soit 16 voies d'excitation).

Si le tronçon sources du banc Maine Flow n'est pas monté, une personne qualifiée doit mettre en place ce dernier.

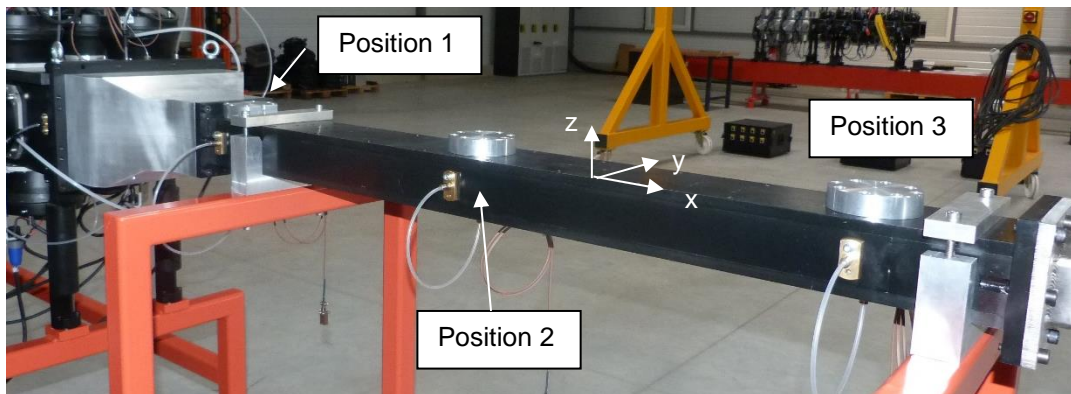
## II.6 Canal de mesure

Le canal de mesure (Figure 15) a pour longueur 1,2 m et une section de 52,2 mm x 80 mm et se trouve doté de trois sections de mesure espacées de 500 mm les unes des autres. La première position est située à 50 mm de la sortie du convergent, la deuxième à 550 mm et la dernière à 1050 mm.

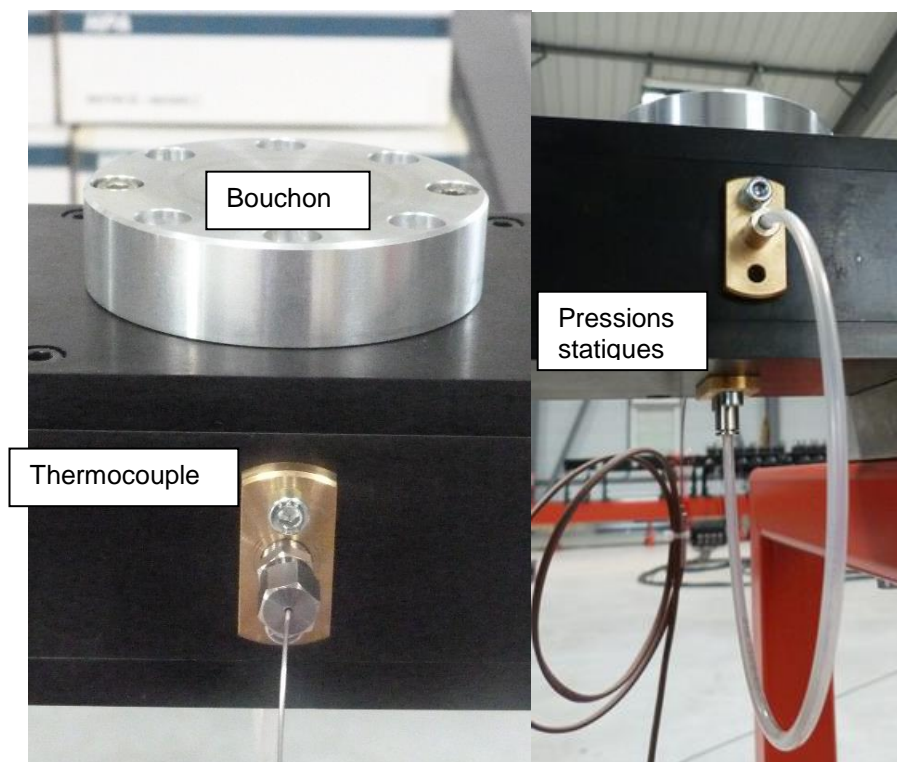
Chaque position permet la mesure d'impédance In-Situ sur la face supérieure (Figure 16), l'orifice est fermé par un bouchon lorsqu'il n'est pas utilisé. L'interface interne est soignée de façon à ne pas perturber la couche limite. Deux prises de pression statique sont placées sur la face inférieure et sur un des côtés, l'autre côté étant occupé par une prise de température (Figure 16).



Dans la suite, l'axe x est dans le sens de l'écoulement, l'axe y est transversal et l'axe z est vertical, dirigé vers le haut.



**Figure 15** Canal de mesure



**Figure 16** Equipement des positions de mesure

## II.7 Cavités de mesure In-Situ

Deux cavités de mesure sont pourvues permettant le montage de tôles perforées de diamètre 48 mm. Les deux dispositifs de montage ont une cavité interne de diamètre 25 mm et de profondeur 19 mm.

- La première cavité permet le montage de trois microphones au format 1/8", deux en fond de cavité et un traversant au centre la tôle perforée. La Figure 17 présente cette cavité montée en position 3.
- La deuxième cavité permet le montage de deux microphones au format 1/4" en fond de cavité et d'un microphone 1/8" pour la position centrale. Dans le cas d'utilisation de cette deuxième cavité, il est nécessaire d'ajouter un module d'acquisition acoustique 9234 au châssis.

L'utilisation des cavités et le montage des microphones nécessite une formation par un personnel qualifié.



**Figure 17** Cavité de mesure installée en position 3

## II.8 Divergent de sortie

Le divergent de sortie, de longueur 2,9 m (Figure 18), a deux fonctions. La première est de récupérer une bonne partie de la pression dynamique de l'écoulement et donc de diminuer la charge vue par le ventilateur et la deuxième est de pouvoir monter le conduit sources en sortie de façon à effectuer une excitation acoustique à contre-sens de l'écoulement si besoin.



**Figure 18** Divergent de sortie

## II.9 Matériel d'acquisition et de génération des signaux

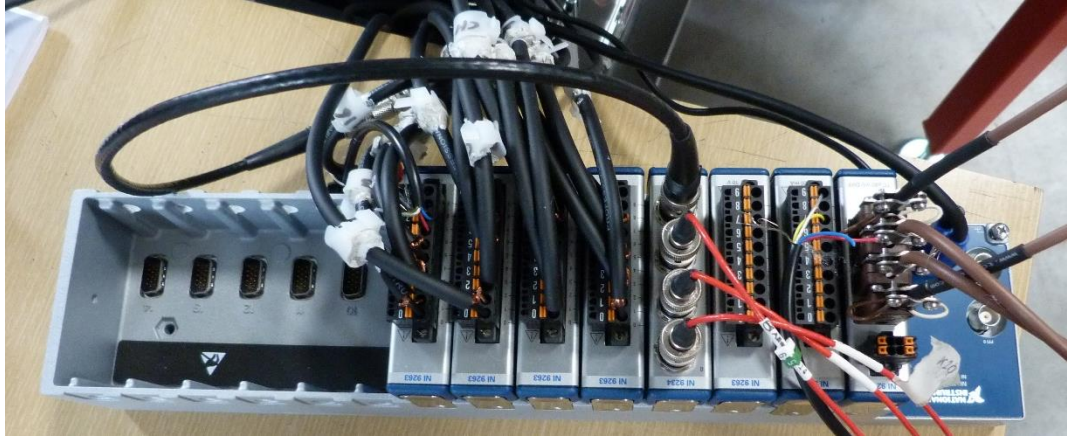
Le matériel d'acquisition et de génération des signaux est constituée d'une interface matérielle National Instruments (Figure 19) au moyen d'un châssis USB de 14 emplacements (NI cDAQ-9179 USB3), contenant les modules suivants :

- ✓ Pour la partie pilotage et asservissement de la veine d'essai :
  - 1 module d'acquisition de température NI 9210 (4 voies) ;
  - 1 module d'acquisition courant (NI 9203) pour la mesure de pression différentielle du débit ;
  - 1 module de génération tension NI 9263 pour la commande de la puissance de la batterie chauffante et la commande du variateur de fréquence du ventilateur.
- ✓ Pour la partie acoustique :



- 4 modules de génération tension NI 9263 (4 voies par module) pour la génération des signaux acoustiques ;
- 1 module d'acquisition NI 9234 pour l'acquisition des 4 signaux acoustiques.

Six slots sont disponibles pour ajouter d'autres modules si nécessaire à l'avenir.



**Figure 19** Châssis NI cDAQ 9179

## II.10 Logiciel de pilotage

Un logiciel de Pilotage de la veine a été conçu permettant les fonctions suivantes :

- Lecture de 4 températures : en amont du convergent (fin du tronçon sources), en position 1 (aval convergent) puis en positions 2 & 3 (Figure 20)
- Régulation en nombre de Mach moyen dans la section choisie (Figure 21)
- Mesure des profils de vitesse au moyen d'un tube de Pitot

A noter que la régulation en température n'a pas été mise en place car la température de l'écoulement n'est jamais descendue en dessous de 18 °C au cours des essais. Pour cette raison, l'onglet « Température » ne concerne que la lecture des thermocouples.

Cette application doit être installée préalablement sur l'ordinateur servant à la mesure, ordinateur non fourni avec le banc de mesure.

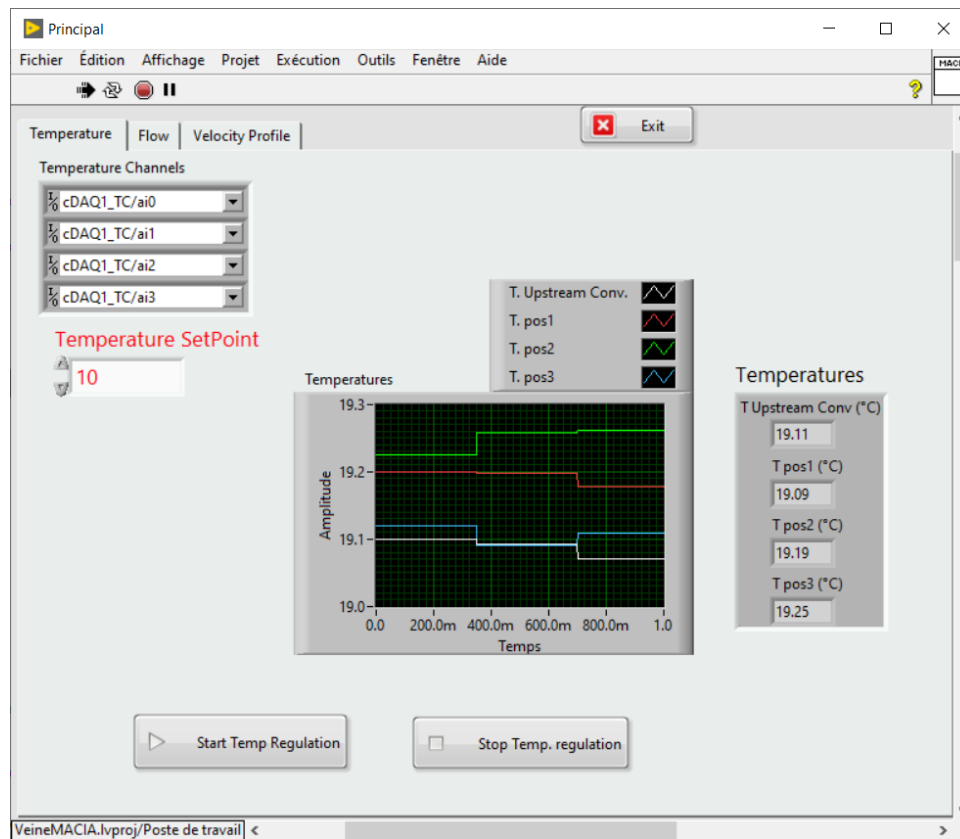


Figure 20 Lecture des températures

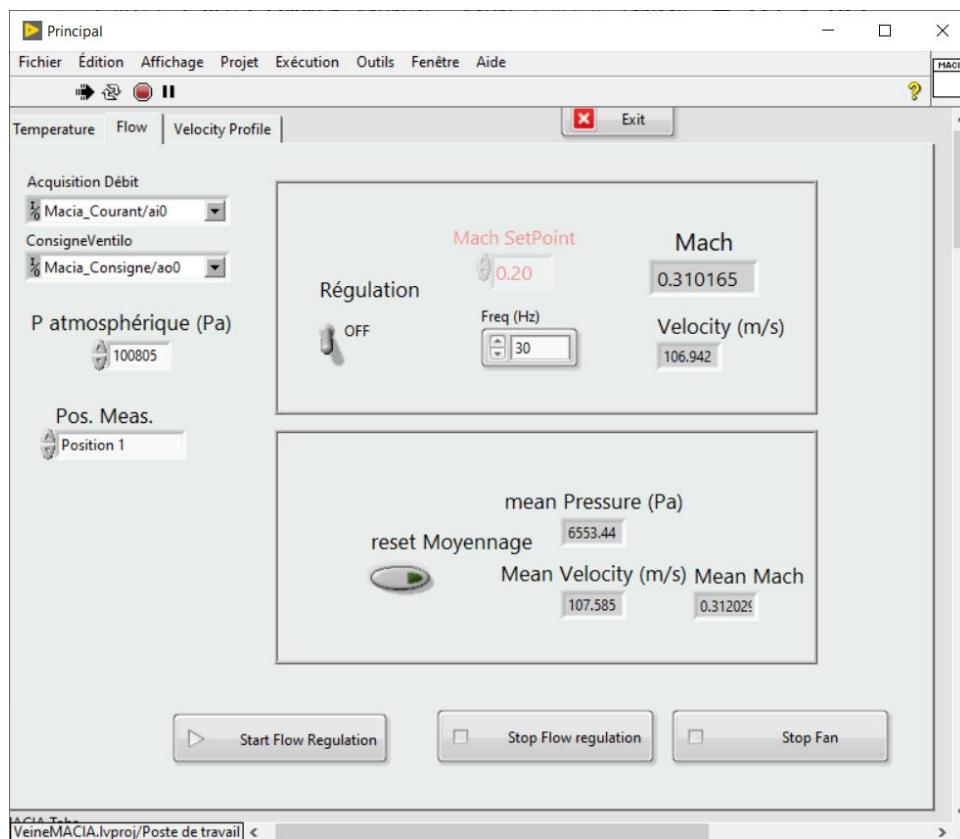


Figure 21 Régulation du débit

### III. FONCTIONNEMENT

#### III.1 Mise sous tension

La Figure 22 présente le boîtier d'alimentation électrique situé en face du variateur de fréquences.

Les différents éléments sont les suivants :

1. Commutateur principal
2. Commutateur du variateur
3. Commutateur de l'armoire de chauffe
4. Commutateurs des prises 220V situées en bas du coffret

La mise sous tension consiste simplement à positionner le commutateur principal sur « ON ». Le variateur doit alors se mettre en fonctionnement.



**Figure 22** Boîtier d'alimentation électrique

#### III.2 Mise en marche

Au lancement du logiciel :

- Cliquer sur « Start Temp. Regulation » de l'onglet « Temperature » (Figure 20)
- Cliquer sur « Start Flow Regulation » de l'onglet « Flow » (Figure 21)

A ce stade le ventilateur doit se mettre automatiquement sur une consigne de 19.5 Hz correspondant à un nombre de Mach approximatif de 0,2 dans le canal de mesure.

Deux modes de pilotage sont proposés :

- Un mode en boucle ouverte où une consigne en fréquence est donnée au variateur
- Un mode en boucle fermée, dans ce cas l'interrupteur « Régulation » de l'interface est basculé sur « ON » et une consigne en nombre de Mach est donnée. Il faut penser également à choisir la position de mesure dans ce mode de pilotage.

### **III.3 Mise à l'arrêt**

La mise à l'arrêt du ventilateur se fait par appui sur le bouton « Stop Fan ».

L'arrêt de l'application se fait par appuis sur les boutons « Stop Flow Regulation », « Stop Temp. Regulation » puis que le bouton « Exit ».

### **III.4 Mesures acoustiques**

Les mesures acoustiques se font au moyen du logiciel INTAC du CTTM ou équivalent et permettant de :

- Piloter indépendamment 16 canaux sources en formation de voie et asservissement du niveau acoustique en mode sinus incrémenté
- Faire l'acquisition des signaux acoustiques et des fonctions de transfert.



## IV. PRECAUTIONS GENERALES

Deux types de risque existent sur le banc : un risque lié à la protection des personnes (exposition au niveau sonore), et un risque lié à la protection de l'instrumentation. **Tout opérateur devant intervenir sur ce banc de mesure doit être impérativement formé.**

### IV.1 Protection des personnes

Le tronçon sources issu du banc MAINE FLOW est conçu pour délivrer un niveau sonore important dans le conduit ( $>140\text{dB}$ ). Dans ces conditions, à l'extérieur de la veine, les niveaux de bruit sont supérieurs à 100 – 110 dB et il est nécessaire de s'équiper de casque anti-bruit ou de bouchons d'oreilles.

### IV.2 Protection matérielle

Concernant le matériel, le premier risque est lié à une sur-alimentation des sources acoustiques qui peut conduire à leur destruction. Les boutons « Volume » des amplificateurs de puissance sont de base en position « Maximum ». **La tension d'entrée de commande délivrée par les cartes de génération doit alors être bridée à un niveau maximum de 900mV peak-peak.**

Le deuxième risque est lié à la manipulation des microphones lors des montages successifs des tôles à mesurer et particulièrement avec la cavité utilisant les microphones 1/8".

Une formation spécifique est nécessaire à la manipulation des cavités et des microphones associés.