

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Réf :

**Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme :**

MASTER

**Filière : Electromécanique
Option : Electromécanique**

Thème

**Acquisition et supervision des
caractéristiques d'un ventilateur axial pour
un banc d'essai**

Présenté par :

- **OUAFI Roumaissa & KRIBECHE Amel**

Proposé et dirigé par :

- **Dr. MEGHLAOUI Issam & Dr. LAYADI Toufik Madani**

Devant le jury :

Président : SHEKHARA Saadi Université de Bordj Bou Arreridj

Examineur : KHANFER Riad Université de Bordj Bou Arreridj

Examineur : TALHAOUI Hicham..... Université de Bordj Bou Arreridj

Année Universitaire : 2020/2021

Dédicaces

*À la plus belle créature que Dieu a créé sur terre,
À cette source de tendresse, de patience et de générosité,*

À ma mère

À la personne qui a toujours me donné la volonté

À mon père

À ma sœur et mes frères qui ont été toujours avec moi

*À Toute personne ayant participé de près ou de loin à
l'élaboration de ce travail particulièrement mon enseignant*

***KHENFER** Riad pour son aide et ses conseils*

À mes chers amies Nesrine Khaoula

*À tous mes amis et collègues À tous les étudiants de la
promotion 2020/2021 Département électromécanique À tous
ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer ...*

Je dédie ce travail.

ROUMAÏSSA.

Dédicaces

Je dédie ce présent travail à : mon père et ma mère pour leurs sacrifices consentis à mon égard.

Mes frères et ma sœur pour leurs encouragements et tous les membres de ma famille. Tous mes ami(e)s. Toute personne ayant participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail particulièrement Le docteur KHENFER Riad pour son aide.

AMEL.

Remerciements

Louange à « Allah » le tout puissant, prière et salut sur le prophète Mohamed. Nous tenons à remercier « Allah » qui nous a donné la force et la puissance d'accomplir ce travail et c'est grâce à lui que nous sommes arrivés à ce niveau.

Nous tenons à remercier grandement nos Encadreurs

Dr. MEGHLAOUI Issam.

Dr. LAYADI Toufik Madani

Pour leur disponibilité et leurs précieux conseils.

Je remercie mes parents et toute ma famille, de m'avoir soutenu et encouragé pendant toutes mes études

Nous remercions également tous les enseignants du département d'électromécanique Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi Bordj Bou Arreridj

Plus spécialement les membres de jury de notre travail.

Merci à tous.

Liste des tableaux :

Tableau I.1 : Classification des turbomachines selon la nature de fluide.	2
Tableau I.2 : Classification Selon la pression.	5
Tableau II .1 : Spécification générale du ventilateur axial. [6].	15
Tableau II .2 : Dimensions des Conduites. [6].	15
Tableau II .3 : Caractéristique du ventilateur axial.	16
Tableau II .4 : Dimensions et poids du ventilateur.	16
Tableau II .5 : Caractéristiques de la carte Arduino. [9].	17
Figure II.6 : Capteur BMP 280.	19
Tableau II .6 : Caractéristiques techniques du multiplexeur.	23
Tableau III.1 : Résultats de mesure de la vitesse et le débit de l'air.	33
Tableau III.2 : Résultat de la mesure de courant.	35
Tableau III.3 : Résultats de mesure (ΔP).	36
Tableau III.4 : Résultats de la mesure de puissance pneumatique.	38
Tableau III.5 : Résultats de la mesure de puissance électrique.	39
Tableau III.6 : Résultats de la mesure de rendement.	40

Liste des figures :

Figure I.1 : Roue d'une turbomachine radiale. [2].	3
Figure I. 2 : Roue d'une turbomachine axiale. [2]	3
Figure I.3 : Roue d'une turbomachine mixte. [2].	3
Figure I.4 : Ventilateur axial et ventilateur centrifuge.	5
Figure I.5 : Ventilateur axial.	6
Figure I.6 : Déplacement d'air produit par ventilateur axial. [4].	7
Figure I.7 : Triangle des vitesses pour les machines axiales.	9
Figure I.8 : Courbe caractéristique du ventilateur. [5].	13
Figure II.1 : Ventilateur axial réaliser au sein de notre département.	14
Figure II.2 : Spécification générale du ventilateur axial. [6].	15
Figure II.3 : Ventilateur axial utiliser dans la réalisation du banc d'essai. [6].	16
Figure II.4 : Carte Arduino UNO.	17
Figure II.5 : Différents composants de la carte Arduino UNO.	18
Figure II.6 : Capteur BMP 280.	19
Figure II.7 : Capteur BMP 180.	19
Figure II.8 : Câblage Arduino-capteur BMP280.	21
Figure II.9 : Câblage Arduino-capteur BMP180.	22
Figure II.10 : Double multiplexeur/démultiplexeur 74HC4052.	23
Figure II.11 : Afficheur LCD 20X4.	24
Figure II.12 : Câblage de l'afficheur LCD avec Arduino.	25
Figure II.13 : Plaque d'essai.	26
Figure II.14 : Connecteurs de la plaque d'essai.	26
Figure II.15 : Câblage générale de la partie acquisition et affichage.	28
Figure II.16 : Logiciel Arduino IDE.	29
Figure II.17 : Menu du logiciel Arduino.	29
Figure II.18 : Page d'accueil du logiciel FRITZING.	31
Figure III.1 : Anémomètre.	33
Figure III. 2 : Courbe $Qv = f(dp)$.	34
Figure III.3 : Déclaration de variables (code Arduino(Qv)).	34
Figure III.4 : Courbe caractéristique $\Delta P = f(Qv)$ pour différentes vitesses de rotation.	37
Figure III.5 : Courbe caractéristique $Ppn = f(Qv)$ pour différentes vitesses de rotation.	38
Figure III.6 : Courbe caractéristique $Péle = f(Qv)$ pour différentes vitesses de rotation.	39
Figure III.7 : Courbe caractéristique $\eta = f(Qv)$ pour différentes vitesses de rotation.	40

Liste des abréviations :

BMP 180, 280 : capteur barométrique.

CMOS: Complimentary Metal Oxyde Semiconductor.

COM: Component Object Mode.

GND: Ground (mass).

GPS: Global Position System.

I2C: Inter Integrated Circuit Bus.

IDE : Investissements Directs à l'étrange.

LCD: Liquid Crystal Display.

LED: Light-Emitting Diod.

MUX: Multiplexer.

PWM: Pulse Width Modulation.

RX: Receiving X.

SPI: Serial Peripheral Interface.

SCL: Serial Clock Line

SDA: Serial Data Line.

TX: Transfert x.

VCC: Voltage

VIN: Volt In.

USB : Unmanned Aerial Vehicl.

Le but de ce mémoire de fin d'études est d'améliorer et d'étudier un banc d'essai, qui permet d'effectuer des travaux pratiques. Afin d'étudier le comportement en service et de déterminer les principales grandeurs caractéristiques du ventilateur axial.

Le banc d'essai proposé, dispose d'un ventilateur axial et des conduites (conduite d'admission et une autre de refoulement) qui permettent à l'air de circuler, et une soupape se trouvant sur la conduite de refoulement qui permet de régler le débit. Le modèle expérimental a été amélioré par l'ajout d'un capteur de pression (BMP 280) permettant l'acquisition en temps réel de la pression atmosphérique.

L'appareil d'essai est équipé de trois capteurs de pression. La technique d'acquisition des mesures est basée sur un microcontrôleur Arduino.

Les résultats des essais sur le banc réalisé sont en temps réel et de bonne qualité en termes de précision et répondent au besoin du laboratoire hydraulique et pneumatique. Ce travail offre une solution pour la réalisation des travaux pratiques au niveau du département électromécanique de BBA.

Mots clés : ventilateur axial, acquisition et supervision des données, Arduino et capteur de pression.

ملخص

الهدف من هذه المذكرة هو تحسين النموذج التجريبي الذي يسمح لنا بدراسة سلوك وخصائص مروحة محورية. يحتوي النموذج التجريبي المقترح على مروحة محورية وانابيب (أنبوب سحب وأنبوب التصريف) تسمح بانتقال الهواء، بالإضافة الى الصمام الموجود على أنبوب التصريف يسمح لنا بتعديل التدفق. تم تحسين النموذج التجريبي وذلك بإضافة جهاز استشعار ضغط اخر مما يسمح بالحصول على الضغط الجوي، جهاز الاختبار مزود بثلاثة مستشعرات ضغط وتعتمد تقنية القياس على متحكم أردوينو يتم من خلاله الإشراف على البيانات وعرضها عبر الشاشة وعن طريق جهاز كمبيوتر. نتائج النموذج التجريبي تجرى في وقت حقيقي حيث تتسم بالدقة وتقدم حلا للقيام بالأعمال التطبيقية على مستوى كلية الكهروميكانيك.

الكلمات المفتاحية: مروحة محورية، تحصيل ومراقبة المعطيات، أردوينو، ملتقط الضغط.

Sommaire :

Introduction générale :	1
I.1.Introduction :	2
I.2.Définition des turbomachines :	2
I.3.classification des turbomachines :	2
I.4. Les Ventilateur :	4
I.4.1. Définitions :	4
I.4.2. Les différents types de ventilateurs :	4
I.4.3. Les ventilateurs axiaux :	5
I.4.3.1. Constitution :	6
I.4.3.2. Principe de fonctionnement d'un ventilateur axial :	6
I.4.3.3. Utilité des ventilateurs axiale :	7
I.4.3.4. Avantages et inconvénients des ventilateurs :	7
I.4. 3.5. Etude du ventilateur axial :	8
I.5.Conclusion :	13
CHAPITRE II : Amélioration du banc d'essai -partie matérielles Et logicielles	
II.1. Introduction :	14
II.2. Description générale :	14
II.3. Spécification des ventilateurs axiaux :	15
II.4. La partie hardware :	15
II.4.1. Données techniques :	15
II.4.2. La carte Arduino UNO :	16
II.4.2.1 Présentation de la carte :	16
II.4.2.2. Caractéristiques de la carte Arduino UNO :	17
II.4.2.3. Différents composants de la carte Arduino UNO :	18
II.4.3. Définition principale du capteur :	18
II.4.3.1. Capteur de pression barométrique (BMP180/BMP280) :	18
II.4.3.2. Principales caractéristiques des capteurs :	20
II.4.3.3. Utilisation de ces capteurs :	20
II.4.3.4. Câblage des capteurs sur l'Arduino UNO :	21
II.4.4. Multiplexeur/démultiplexeur analogique 4 canaux :	22
II.4.4.1. Application :	23
II.4.4.2. Caractéristiques techniques :	23
II.4.5. L'écran LCD :	24

II.4.5.1. Bibliothèque :	25
II.4.5.2. Connexions :	25
II.4.6. La plaque d'essai :	26
II.5. Le branchement :	27
II.6. Partie software :	29
II.6.1. Programme Arduino :	29
II.6.1.1. Description de l'IDE :	29
II.6.1.2. Menu :	30
II.6.1.3. Injection du programme :	31
II.6.1.4. Utilisation du logiciel :	31
II.6.1.5. Langage de programmation :	31
II.6.2. Fritzing :	31
II.7. Conclusion :	32
Chapitre III : Acquisition et Supervision des données.....	
III.1. Introduction :	32
III.2. Étapes de mesure :	32
III.2.1. Mesure de débit de l'air :	32
III.3. Estimation des grandeurs physiques :	35
III.3.1. Estimation de courant :	35
III.3.2. Estimation de tension :	35
III.3.3. Estimation de vitesse :	36
III.4. Caractéristiques d'un ventilateur axial :	36
III.4.1. Caractéristique de pression différentielle (ΔP) en fonction de débit :	36
III.4.2. Caractéristique de la puissance pneumatique et électrique en fonction de débit :	37
III.4.3. Caractéristique du rendement en fonction du débit :	40
III.4. Conclusion :	41
Conclusion générale :	42
Bibliographie.....	43
AnnexeA:ProgrammeArduino.....	44
AnnexeB:TableaudeTP.....	50
AnnexeC:Afficheur LCD.....	51

Introduction générale.

Introduction générale :

Aujourd'hui il y a beaucoup de travaux de développement des turbomachines pour but d'augmenter le rendement, les performances et la fiabilité des machines. Pour ce faire, des travaux de recherche dans des différents domaines sont nécessaires dans : Cycle thermique, réglage, Ecoulement (MDF) et la combustion, Mécanique des structures et des éléments de la machine (vibration), Matériaux RDM (résistance, limites élastique, dureté).

Une turbomachine est une machine qui utilise un fluide pour effectuer une transformation d'énergie. En générale, une turbomachine est un ensemble mécanique dont le rôle est d'assurer un échange d'énergie entre un fluide en écoulement et un rotor animé d'un mouvement de rotation généralement uniforme autour de son axe. Si la machine extrait de l'énergie du fluide on l'appelle généralement une turbine, si la machine livre l'énergie au fluide, on l'appelle un compresseur, ventilateur, soufflante ou pompe en fonction du fluide utilisé et l'ampleur du changement de pression qui en résulte.

Dans ce contexte nous allons faire l'amélioration d'un banc d'essai instrumenté, permettant la compréhension du fonctionnement du ventilateur axial, à travers l'acquisition des données sur ordinateur ce qui permet de visualiser les courbes caractéristiques de ce dernier, tel que la pression, la puissance et le rendement en fonction de débit de l'air.

L'idée de ce projet de fin d'études répond au besoin du laboratoire de département électromécanique de notre université pour la réalisation des travaux pratiques pour le niveau Master 1 en Electromécanique.

Ce mémoire comporte trois chapitres :

Dans le premier chapitre on présentera la définition et la classification des turbomachines, une généralité sur le ventilateur axial, la composition, le principe de fonctionnement de cette dernière seront discutés en détail.

Dans le second chapitre, on va présenter le banc d'essai du ventilateur axial que nous avons amélioré, ainsi que les différents constituants hardwares et softwares, permettant l'acquisition et la supervision des données mesurées.

Le troisième et dernier chapitre illustre l'acquisition et la supervision des mesures en temps réel ainsi que l'estimation de la valeur du courant, la tension et la vitesse. A la fin de ce chapitre, les courbes caractéristiques du ventilateur axial, pression, puissance (pneumatique et électrique) et rendement en fonction de débit d'air seront tracées et commentées.

Ce mémoire se termine par une conclusion générale et trois annexes.

Chapitre I
Généralités sur les
ventilateurs
Axiaux.

Chapitre I: Généralités sur les ventilateurs axiaux.

I.1.Introduction :

Ce premier chapitre a pour objectif de situer le contexte de cette étude, on a présenté quelques notions de base sur les turbomachines.

Nous allons commencer par définition et classification des turbomachines, et leurs classifications. Après, on va s'intéresser aux ventilateurs axiaux, on va donner des définitions, théories et caractéristiques des ventilateurs axiaux.

I.2.Définition des turbomachines :

Une turbomachine est une machine tournante qui réalise un transfert d'énergie entre son arbre propre, et un fluide en mouvement. Ce transfert peut s'effectuer dans les deux sens :

- Une récupération de l'énergie du fluide sur l'arbre de la machine (fonction réalisée par les machines de type turbine)
- Une augmentation de l'énergie du fluide par fourniture d'énergie mécanique sur l'arbre de la machine (fonction réalisée par les machines de type compresseur, ventilateur, pompe [1]).

I.3.classification des turbomachines :

On classe les turbomachines selon les critères suivants :

- **Selon la nature de fluide :**

-les machines à fluide incompressible (les pompes).

-les machines à fluide compressibles (les compresseurs, les ventilateurs).

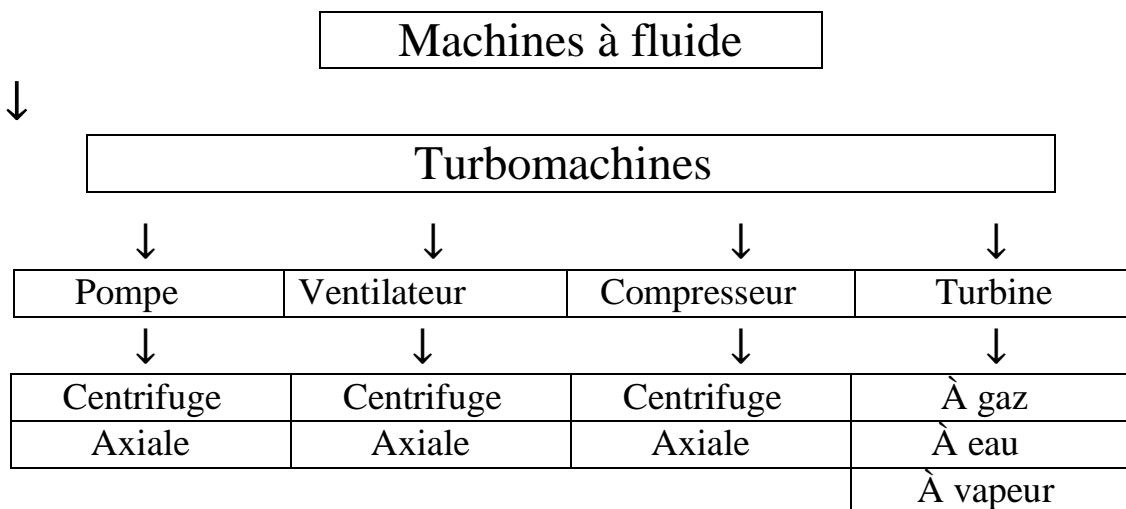


Tableau I.1 : Classification des turbomachines selon la nature de fluide.

- Selon le sens de transfert de l'énergie :

- machine motrice :

- Energie hydraulique (pneumatique) → énergie mécanique.

- machine réceptrice :

- Energie mécanique → énergie hydraulique (pneumatique).

- Selon la direction du fluide par rapport à l'axe de rotation :

- entrée axiale –(*centrifuge*) → sortie radiale.

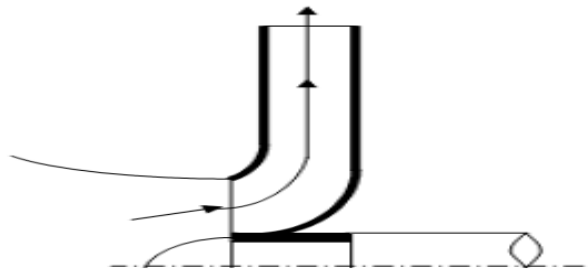


Figure I.1 : Roue d'une turbomachine radiale [2].

- entrée axiale –(*axiale*) → sortie axial.

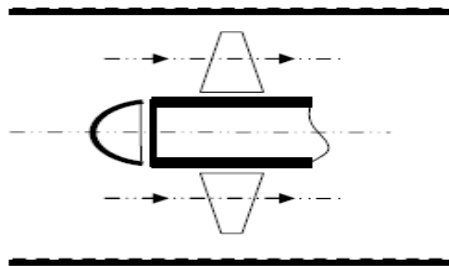


Figure I. 2 : Roue d'une turbomachine axiale [2].

- entrée axiale –(*mixte*) → sortie avec angle.

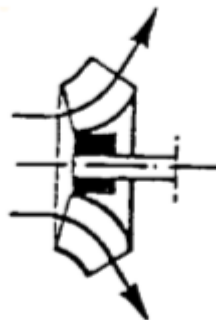


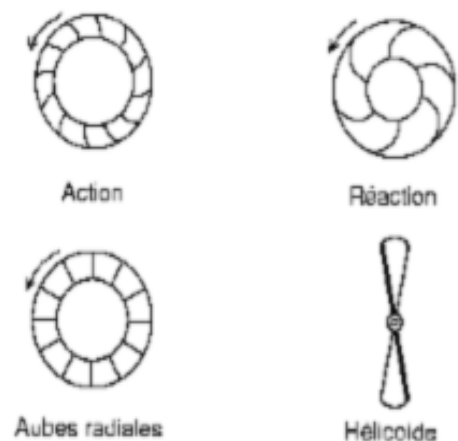
Figure I.3 : Roue d'une turbomachine mixte [2].

I.4. Les Ventilateur :

I.4.1. Définitions :

Les ventilateurs sont des turbomachines transférant à l'air qui les traverse l'énergie nécessaire afin de véhiculer l'air au travers d'une paroi (ventilateur de paroi), dans un ou plusieurs conduits ou bien permettant de balayer un espace (local) assurant ainsi une homogénéisation de l'air (ventilateur plafonnier). Parmi les nombreux types de ventilateurs couramment employés dans les installations de ventilation et de conditionnement d'air, on rencontre 4 principaux types de roues qui se distinguent les unes des autres en fonction de la forme des aubes. Ils sont ainsi dénommés :

- Ventilateur centrifuge à aubes inclinés vers l'arrière ou ventilateur à REACTION.
- Ventilateur centrifuge à aubes inclinés vers l'avant ou ventilateur à ACTION.
- Ventilateurs à aubes radiales.
- Ventilateurs Hélicoïde [3].



I.4.2. Les différents types de ventilateurs :

Classification 1 : en fonction de la direction de l'air pulsé :

- **Les ventilateurs axiaux ou hélicoïdes** : l'air est aspiré et propulsé parallèlement à l'axe de rotation du ventilateur.
- **Les ventilateurs radiaux ou centrifuges** : l'air est aspiré parallèlement à l'axe de rotation et propulsé par force centrifuge perpendiculairement à ce même axe. Il existe des ventilateurs à aubes recourbées vers l'avant (à aubages avant), à aubes recourbées vers l'arrière (à aubages arrière) ou à aubes radiales. Il existe aussi des ventilateurs centrifuges à deux ouïes d'aspiration. Ces roues plus larges, parfois composées de deux roues simple ouïe accolées, aspirent l'air de chaque côté de la roue.
- **Les ventilateurs tangentiels** : l'air est aspiré et refoulé perpendiculairement à l'axe de rotation.

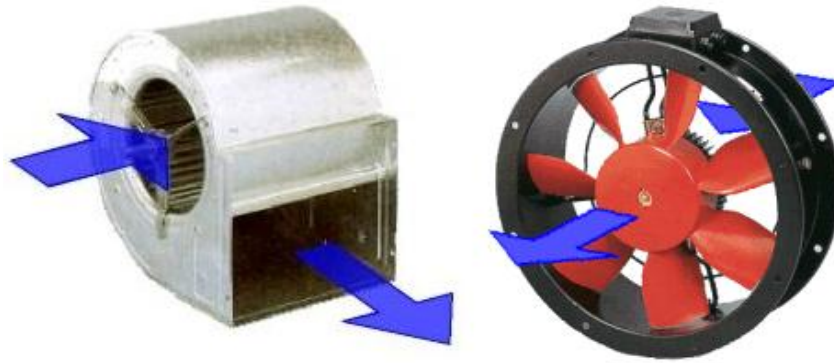


Figure I.4 : Ventilateur axial et ventilateur centrifuge.

Classification 2 : En fonction de la pression :

Ventilateur basse pression	$\Delta p < 1\,500\text{ Pa}$
Ventilateur moyenne pression	$1\,500\text{ Pa} < \Delta p < 3\,600\text{ Pa}$
Ventilateur haute pression	$3\,600\text{ Pa} < \Delta p < 10\,000\text{ Pa}$
(Compresseur)	$(\Delta p > 10\,000\text{ Pa})$

Tableau I.2 : Classification Selon la pression.

I.4.3. Les ventilateurs axiaux :

Les ventilateurs axiaux, à l'instar des soufflantes et des compresseurs, sont des turbomachines destinées à mettre en mouvement des fluides compressibles. Dans ce type de ventilateur, l'air est aspiré et refoulé axialement. Physiquement parlant, ces appareils transfèrent de l'énergie mécanique aux fluides qui les traversent, tels que l'air, afin d'en augmenter la pression et la vitesse en fonction du domaine d'application. Comparés aux soufflantes et aux compresseurs, les ventilateurs industriels possèdent un faible taux de compression, usuellement inférieur à 1,2 pour l'air aux conditions ambiantes. De même, les vitesses des fluides les traversant sont faibles et les surpressions produites sont faibles à modérées, variant de 1 500 à 10 000 Pa. Ces ventilateurs peuvent atteindre des rendements élevés (85 %). Ils sont plus sensibles que les ventilateurs centrifuges aux conditions d'alimentation en air.

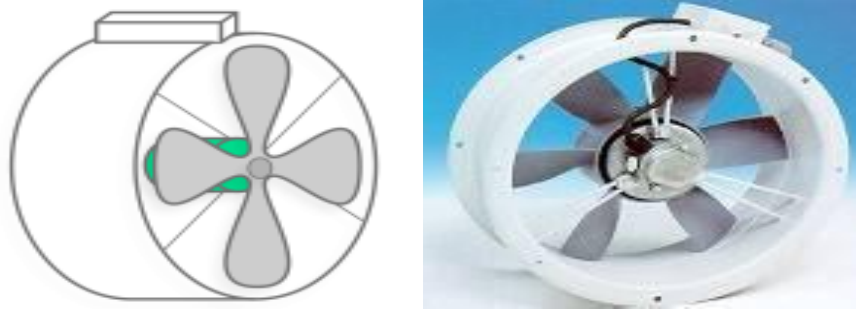


Figure I.5 : Ventilateur axial.

Il existe des ventilateurs axiaux :

- De brassage sans enveloppe.
- De paroi ou de fenêtres avec enveloppe. C'est principalement ce type de ventilateur qu'on appelle "hélicoïde".
- À enveloppe, avec hélice seule, distributeur (amont) et hélice, hélice et redresseur (dispositif placé en aval permettant d'augmenter le rendement), 2 hélices contre-rotatives (la première hélice joue le rôle de distributeur mobile et la deuxième de redresseur mobile).
- À pales mobiles dont l'orientation peut être modifiée soit automatiquement en cours de fonctionnement, soit manuellement.

I.4.3.1. Constitution :

Le ventilateur axial se compose de :

- ✓ **Une roue :** pour diriger les pales
- ✓ **Un carter :** pour diriger le débit d'air.
- ✓ **Les pales**

I.4.3.2. Principe de fonctionnement d'un ventilateur axial :

Les composants de base du ventilateur consistent en une roue et un carter pour diriger le débit d'air. Les principes de base du fonctionnement des ventilateurs sont traités Dans les ventilateurs axiaux, l'air est propulsé par la variation de la vitesse de l'air se déplaçant sur les pales de la roue. La figure 5 illustre une version simplifiée du ventilateur axial [4].

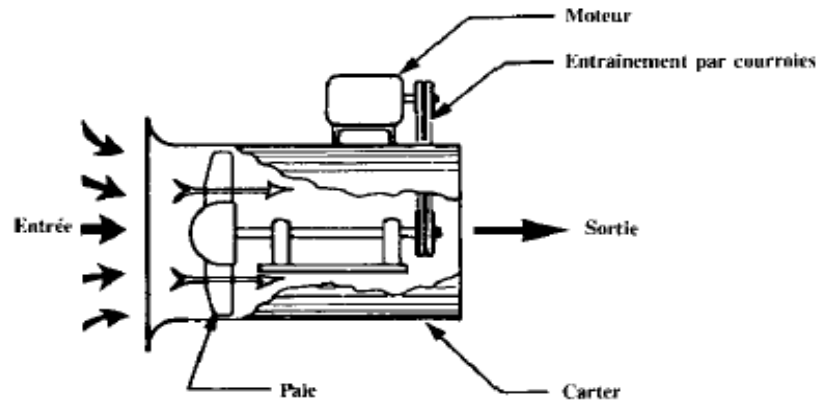


Figure I.6 : Déplacement d'air produit par ventilateur axial [4].

I.4.3.3. Utilité des ventilateurs axiale :

Les ventilateurs peuvent être utilisés pour tous les fluides compressibles, ils sont utilisés dans un grand nombre de domaines d'application :

- Ventilation (tunnel, parking, souterrains, locaux industriels)
- Désenfumage
- Refroidissement
- Séchage
- Soufflerie
- Assainissement de l'air
- Climatisation
- Production de froid

I.4.3.4. Avantages et inconvénients des ventilateurs :

✓ **Avantage :**

Refroidissement rapide.

Facile à transport.

Permet de refroidir.

Large plage de débit.

Facilité de réglage du débit.

Rendement élevé ($\eta > 85\%$ avec redresseur).

✓ Inconvénients :

Modelé puissance très bruyante.

Généralement équipé de peu de fonctions.

Pression moindre que les centrifuges à réaction.

Performances sensibles aux conditions d'alimentation aéraulique.

Risque plus élevé de pompage.

Niveau de bruit plus élevé que les centrifuges en moyennes fréquences.

I.4. 3.5. Etude du ventilateur axial :

1) Théorème de Bernoulli

L'équation de Bernoulli peut être considérée comme un énoncé de la conservation de principe d'énergie appropriée pour les fluides qui s'écoulent. Le qualitatif comportement qui est généralement étiqueté avec le terme "effet Bernoulli" est l'abaissement de la pression du fluide dans les régions où la vitesse d'écoulement est augmentée. Cet abaissement de la pression dans une construction d'un chemin d'écoulement peut sembler contre-intuitif, mais cela semble moins le cas lorsque vous considérez la pression comme une densité d'énergie. Dans le flux à grande vitesse à travers la construction, l'énergie cinétique doit augmenter au détriment de l'énergie de pression.

➤ L'équation de Bernoulli indique que :

$$P + \frac{1}{2}\rho \times V^2 + \rho \times g \times h = \text{constant} \quad (\text{I.1})$$

P : la pression [Pa].

ρ : densité de l'air [kg/m³].

V : vitesse de l'air [m/s].

h: Élévation [m].

g: La gravitation accélération [N/m].

Où :

- Le liquide a une densité constante.
- Le flux est régulier.
- Il n'y a pas de frottement.

2) Caractéristiques du ventilateur :

Les caractéristiques essentielles définissant un ventilateur sont :

- La vitesse de rotation de la roue.
- Le débit d'air.
- La hauteur manométrique ou la pression totale.
- Le rendement global.
- La puissance absorbée.

3) Triangle de vitesse (machine axiale) :

Le triangle de vitesse est élément essentielle dans l'étude d'une turbomachine. Il nous permet de déterminer tous les paramètres cinétiques à l'entrée et à la sortie de la roue. La vitesse du fluide à l'entrée de l'ailette mobile se décompose en une composante relative W_1 et une composante de rotation U . La vitesse périphérique U reste constante tout au long du trajet car :

$U = \omega R$ ($\omega = \text{cnst}$ et $R = \text{cnst}$). La vitesse relative est tangente à l'ailette à l'entrée. À la sortie de l'ailette la vitesse absolue C_2 aura une composante de rotation U et une vitesse relative W_2 [4].

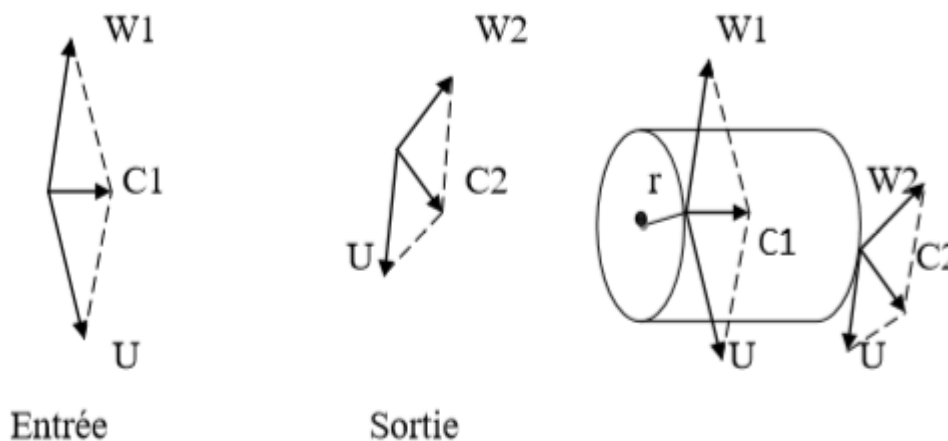


Figure I.7 : Triangle des vitesses pour les machines axiales.

Une particule de fluide aborde la pale en 1 à la vitesse C_1 , vitesse absolue.

C_1 Est la somme vectorielle de U et de W_1 . En 1 la pale doit être dirigée suivant la vitesse relative W_1 .

Au point 2, à la partie du canal la vitesse d'entraînement est toujours U .

$W_2 \neq W_1$ Donc $C_2 \neq C_1$.

Un observateur lié au rotor verra une particule de fluide se déplacer entre les pales à une vitesse variant de W_1 à W_2 .

4) Relation d'EULER pour les machines axiales :

On peut déterminer le travail entre 1 et 2 :

$$W_1 = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + (C_2^2 - C_1^2). \quad (\text{I.2})$$

L'observateur tournant avec le rotor considère un canal immobile et l'écoulement pour lui se fait de la vitesse W_1 et W_2 .

On peut écrire la relation de **BERNOULI** :

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho} + (W_2^2 - W_1^2) = 0. \quad (\text{I.3})$$

Où :

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho} = (W_1^2 - W_2^2). \quad (\text{I.4})$$

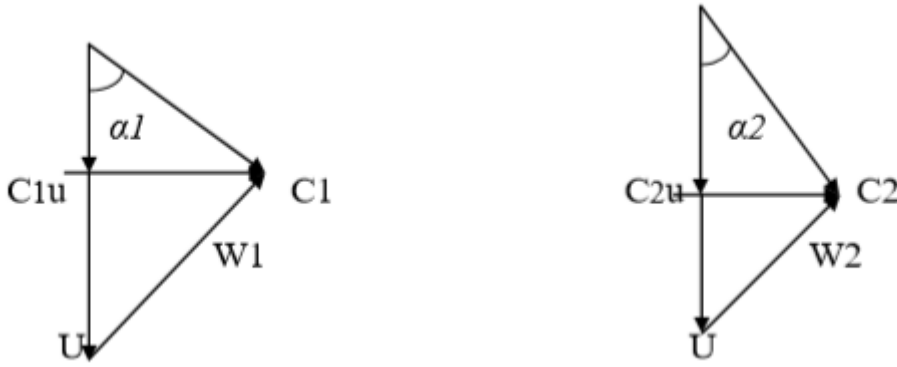
Et :

$$P_2 - P_1 = \rho (W_1^2 - W_2^2). \quad (\text{I.5})$$

L'expression du travail devient :

$$W_{12} = \frac{1}{2}(W_1^2 - W_2^2) + \frac{1}{2}(C_2^2 - C_1^2). \quad (\text{I.6})$$

Si nous considérons les triangles des vitesses on peut trouver une autre expression du travail. Ce travail peut être calculé uniquement en fonction des éléments des triangles de vitesse



$$W_1^2 = U^2 + C_1^2 - 2UC_1 \cos \alpha_1$$

$$W_2^2 = U^2 + C_2^2 - 2UC_2 \cos \alpha_2 \quad (I.7)$$

On remplace :

$$C_1 \cos \alpha_1 = C_1 U \quad ; \quad C_2 \cos \alpha_2 = C_2 U. \quad (I.8)$$

On obtient :

$$W_1^2 - W_2^2 = (C_1^2 - C_2^2) + 2U(C_2U - C_1U). \quad (I.9)$$

Et finalement :

$$W_{12} = U(C_2U - C_1U). \quad (I.10)$$

C'est l'équation d'EULER appliquée aux machines axiales.

5) La pression statique et la pression d'arrêt :

La pression produite par un ventilateur est appelée la pression TOTALE (pt), elle est la somme de deux pressions distinctes : STATIQUE + DYNAMIQUE.

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_s + \Delta p_d \quad (I.11)$$

- p_s : Pression statique. Ceci correspond aux frottements que l'air doit vaincre pour s'écouler dans le circuit aéraulique.
- p_d : pression dynamique. Pour simplifier, c'est la surpression nécessaire pour générer la vitesse de l'air dans le circuit aéraulique.

On note que :

$$p_d = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (I.12)$$

Avec :

- ρ : masse volumique du fluide en [kg/m³].
- v : vitesse de refoulement du ventilateur [m/s].

Chapitre I: Généralités sur les ventilateurs axiaux.

On appellera :

$P + \rho gZ = P^*$ Pression statique (à ne pas confondre avec la pression hydrodynamique).

6) Travail d'un ventilateur :

C'est le travail fournit à l'unité de masse compte-tenu des simplifications que l'on peut faire en négligeant les variations de la masse volumique et en négligeant également la différence d'altitude ($Z_2 - Z_1$)

On obtient :

$$W_{12} = V (P_2 - P_1) + \frac{1}{2} (C_2^2 - C_1^2). \quad (\text{I.13})$$

En pratique, cette expression se simplifie encore et l'on a :

$$W = V (P_s - P_a) + \frac{1}{2} C_s^2. \quad (\text{I.14})$$

- P_s : Pression de la sortie [N/m²].
- P_a : Pression atmosphérique [N/m²].
- V : Volume massique [m³/kg].
- C_s : Vitesse de l'air à la sortie [m/s].

7) Rendement du ventilateur :

Le rendement d'un ventilateur est défini par :

$$\eta_v = 1 - \frac{\Delta p}{\Delta p_{réelle}} \quad (\text{I.15})$$

8) Puissances d'un ventilateur :

Une puissance utile nécessaire pour faire tourner la roue :

On :

$$P_v = W * Q \quad (\text{I.16})$$

- Q : Désigne le débit volumétrique [m³/s].
- W : Travail [J/Kg].
- P_v : Puissance totale absorbée par le ventilateur, on tiendra compte du rendement global du ventilateur [Watt].

I.4. 3.6. Les courbes caractéristiques du ventilateur axial :

Un ventilateur alimenté par un écoulement d'air homogène est caractérisé par une courbe donnant l'élévation de pression qu'il peut fournir en fonction du débit. Cette courbe est déterminée par une méthode d'essai normalisée (NF ISO 5801).

Un réseau quelconque, auquel un ventilateur est raccordé, est caractérisé par une courbe donnant la perte de charge en fonction du débit [5].

Le ventilateur choisi doit fournir au point de dimensionnement garanti, à l'intersection des courbes du réseau et du ventilateur, un débit q_{v0} et une pression p_0

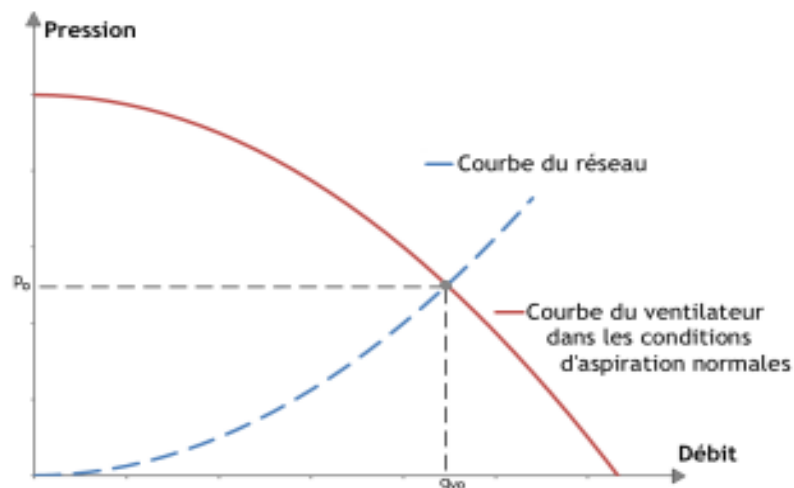


Figure I.8 : Courbe caractéristique du ventilateur [5].

I.5. Conclusion :

Dans ce premier chapitre nous avons présenté les informations principales d'un ventilateur axial. En commençant par une définition de la turbomachine. Après on a donné les différents types de turbomachines. Nous avons donné en détail la constitution et le principe de fonctionnement du ventilateur axial et ces caractéristiques. Le débit, la puissance, le rendement....

Le chapitre suivant portera sur la description générale matérielle et logicielle du banc d'essai améliorer dans ce travail.

CHAPITRE II :

Amélioration du banc

d'essai -partie

matérielles Et

logicielles

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre on va présenter l'amélioration qu'on a apportée sur le banc d'essai sur le ventilateur axial et les différents constituants hardwares et softwares utilisés. Nous allons commencer par une description générale du banc d'essai. Puis on va citer les différentes caractéristiques du ventilateur ainsi que les différents instruments utilisés.

II.2. Description générale :

L'idée de ce projet de fin d'étude a été inspiré de l'entreprise allemande "GUNT" située à Hambourg, qui est une firme spécialisée dans la fabrication des bancs d'essai pour les universités et les centres de formation professionnels. Notre travail consiste à apporter une amélioration sur la version du banc d'essai existante réalisée par des étudiants de la promotion de l'année 2019. Nous nous sommes inspirés du modèle allemand et on a réussi à l'améliorer avec l'ajout d'autres capteurs que nous avons jugé indispensables, permettant d'améliorer considérablement la manipulation des travaux dirigés.



Figure II.1 : Ventilateur axial réalisé au sein de notre département.

II.3. Spécification des ventilateurs axiaux :

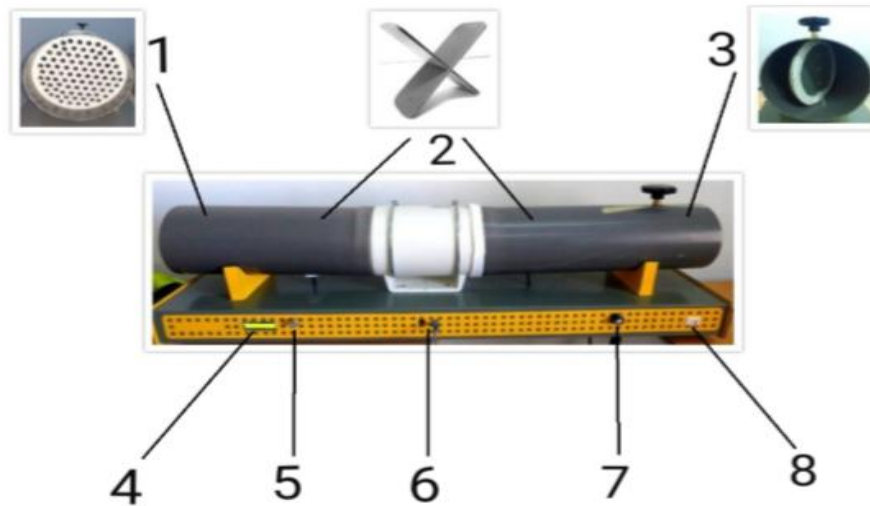


Figure II.2 : Spécification générale du ventilateur axial [6].

1	Obstacle créant perte de charge (tuyau d'admission).
2	Guide directrice de l'écoulement.
3	Soupape à la sortie (tuyau de refoulement).
4	LCD 20X4.
5	Réglage de contraste.
6	Fiches Arduino (USB + alimentation).
7	Variateur de vitesse.
8	Bouton marche/arrêt.

Tableau II .1 : Spécification générale du ventilateur axial[6].

II.4. La partie hardware :

Notre système est composé des éléments suivants :

II.4.1. Données techniques :

A. Dimension des Conduites :

Conduite	Conduite d'admission	Conduite de refoulement
Dimension		
Diamètre intérieur	D = 194 mm	D = 198 mm
Longueur	L = 450 mm	L = 540 mm

Tableau II .2 : Dimensions des Conduites[6].

B. Caractéristique du ventilateur axial :

Consommation électrique	150W.
La vitesse nominale	2100 min ⁻¹ max.
Le débit	Env. 690m ³ /h.
La pression différentielle	Env. 250 Pa.

Tableau II .3 : Caractéristique du ventilateur axial.



Figure II.3 : Ventilateur axial utiliser dans la réalisation du banc d'essai [6].

C. Dimensions et poids :

Dimension	120 X 350 X 340 [mm]
Poids	50 kg
Nécessaire pour le fonctionnement	230 V, 50/60 Hz, 1 phase

Tableau II .4 : Dimensions et poids du ventilateur.

II.4.2. La carte Arduino UNO :

II.4.2.1 Présentation de la carte :

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation. Sans tout connaître ni tout comprendre de l'électronique, cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de formuler ses projets par l'expérimentation directe avec l'aide de nombreuses ressources disponibles en ligne.

Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art

Chapitre II : Amélioration du banc d'essai- partie matérielles et logicielles.

contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme) [7] [8].

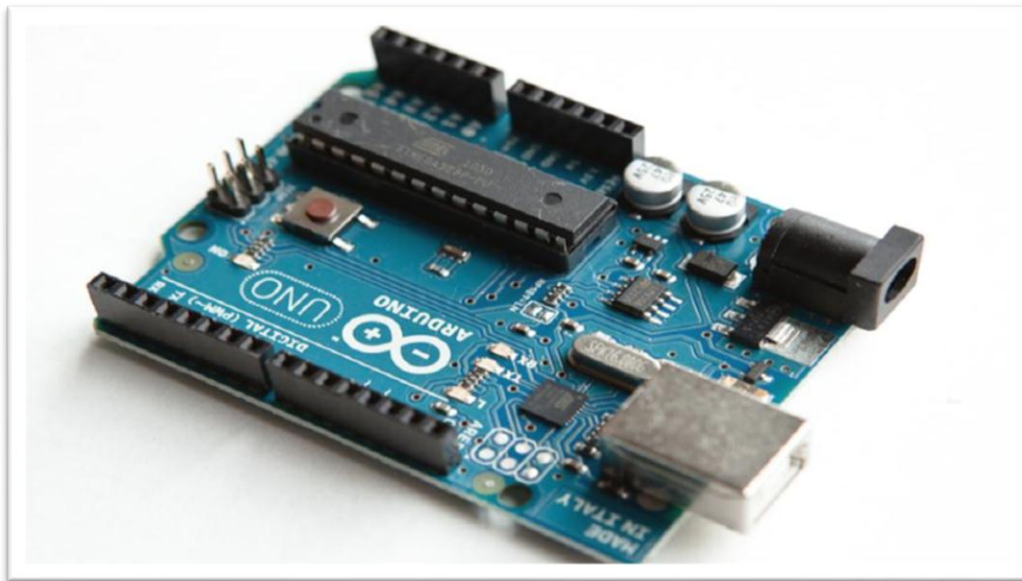


Figure II.4
: Carte Arduino UNO.

II.4.2.2. Caractéristiques

Caractéristiques de la carte Arduino UNO :

Microcontrôleur	ATmega328
Tension d'alimentation interne	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7 à 12V, limites = 6 à 20 V
Entrées/sorties numériques	14 dont 6 sorties PWM
Entrées analogiques	6
Courant max par broches E/S	40 Ma
Courant max sur sortie 3,3V	50mA
Mémoire Flash	32 KB dont 0.5 KB utilisée par le boot loader
Mémoire SRAM	2 KB
Mémoire EEPROM	1 KB
Fréquence horloge	16 MHz

Tableau II .5 : Caractéristiques de la carte Arduino [9].

II.4.2.3. Différents composants de la carte Arduino UNO :

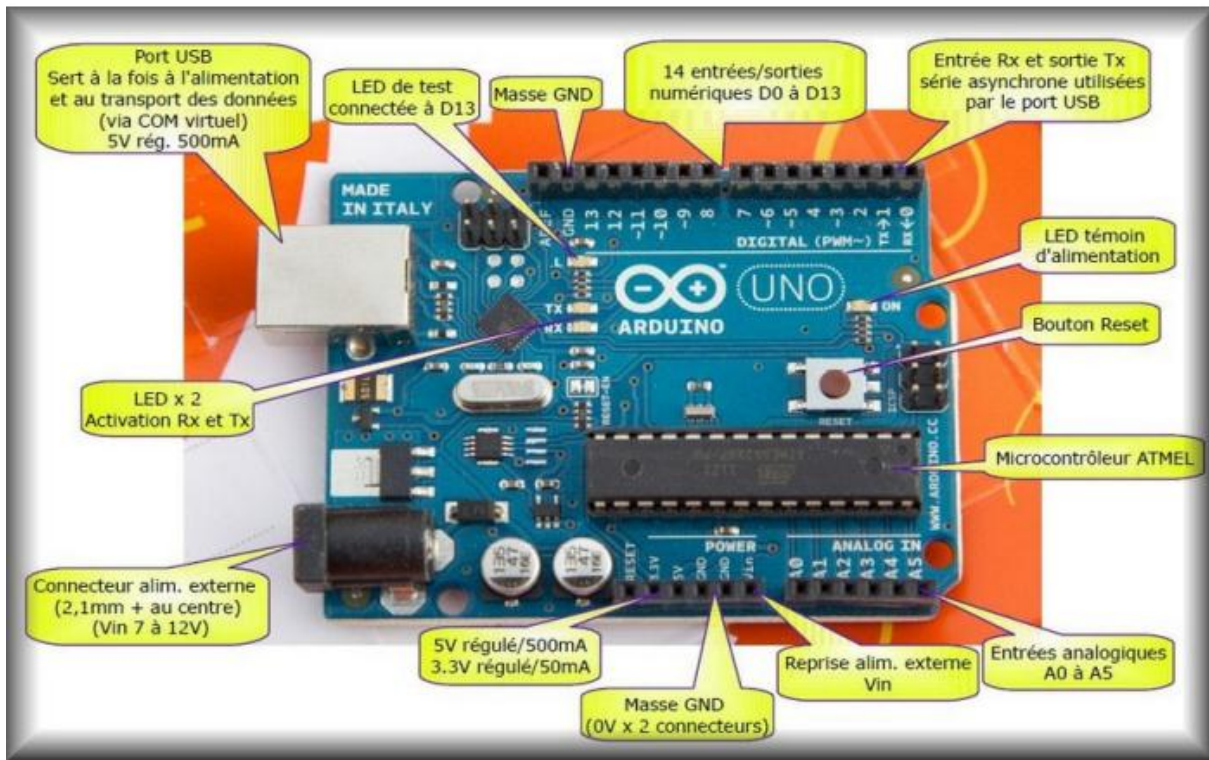


Figure II.5 : Différents composants de la carte Arduino UNO.

II.4.3. Définition principale du capteur :

Un capteur est un dispositif ayant pour tâche de transformer une mesure physique observée en une mesure généralement électrique qui sera à son tour traduite en une donnée binaire exploitable et compréhensible par un système d'information.

Les trois capteurs utilisés ici sont des capteurs électroniques, Ils utilisent le protocole I2C.

II.4.3.1. Capteur de pression barométrique (BMP180/BMP280) :

1) Capteur de pression BMP280 :

C'est un capteur de pression barométrique absolu spécialement conçu pour les applications mobiles. Le module de capteur est logé dans un boîtier extrêmement compact, ses petites dimensions et sa faible consommation d'énergie permettent la mise en œuvre dans des appareils alimentés par batterie tels que des téléphones mobiles, des modules GPS ou des montres.

Il est basé sur la technologie éprouvée de capteur de pression piézo-résistif Bosch, caractérisée par une grande précision et linéarité ainsi qu'une stabilité à long terme et une grande robustesse. De nombreuses options de fonctionnement de l'appareil offrent la plus

Chapitre II : Amélioration du banc d'essai- partie matérielles et logicielles.

grande flexibilité pour optimiser l'appareil en termes de consommation d'énergie, de résolution et de performance du

Filtre. Un ensemble testé de paramètres par défaut, par exemple un cas d'utilisation, est fourni au développeur afin de rendre la conception aussi simple que possible. La figure II.6 montre le capteur de pression BMP280.[10]

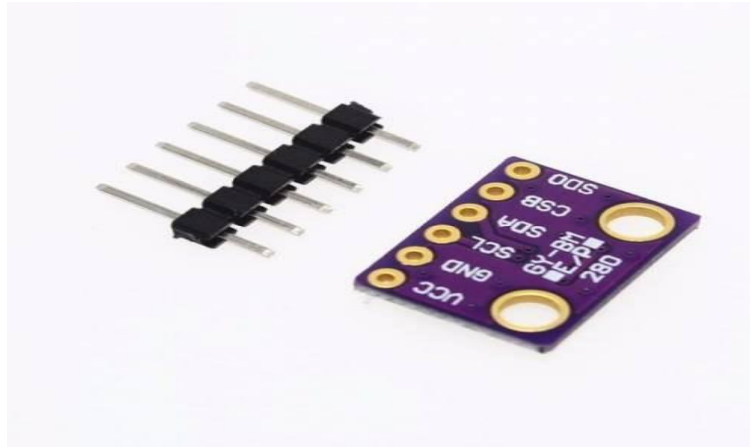


Figure II.6 : Capteur BMP 280.

2) Capteur de pression BMP180 :

Le capteur de pression BMP180, fabriqué par Bosch, est la meilleure solution de détection à faible coût pour mesurer la Pression et la Température barométriques. Parce que la pression change avec l'altitude, vous pouvez aussi l'utiliser comme altimètre.

Le BMP180 est la prochaine génération de capteurs de Bosch, et remplace le BMP085. La bonne nouvelle est qu'il est complètement identique au BMP085 en termes du logiciel firmware, vous pouvez utiliser le tutoriel BMP085 et n'importe quel exemple de code bibliothèques en remplacement. La broche XCLR n'est pas présente physiquement sur le BMP180 (voir figure II.7) [11].

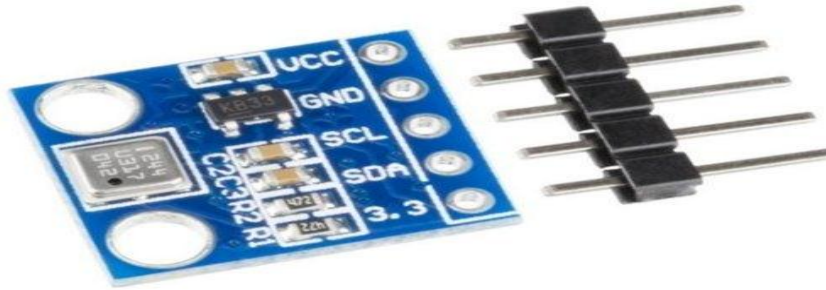


Figure II.7 : Capteur BMP 180.

II.4.3.2. Principales caractéristiques des capteurs :

➤ Capteur 280 :

- Interface en I2C ou SPI.
- Large plage de mesure barométrique 300 à 1100 hPa.
- Alimentation flexible en 3,3V ou 5V.
- Ultra basse consommation 0.6 Ma.
- Faible bruit sur les mesures ;
- Calibré en usine ;
- Mesure de température de -40°C à +85°C avec une précision de $\pm 1^\circ\text{C}$;
- Adresse I2C : 0x77 ou 0X76
- Type de pression : Absolue
- Courant d'alimentation de fonctionnement : 2.8 μA [12].

➤ Capteur 180 :

- Dimension du PCB : 10 x 12 x 2 mm (11mm de hauteur avec le connecteur droit soudé).
- Alimentation : de 3 à 5 Volts.
- Faible consommation : 5 μA pour 1 mesure par seconde.
- Plage de mesure de la pression atmosphérique : de 300-1100 hPa Précision de mesure : 0,03hPa – 0,25m d'altitude.
- Fonctionnement : de -40°C à +85°C [13].

II.4.3.3. Utilisation de ces capteurs :

Chapitre II : Amélioration du banc d'essai- partie matérielles et logicielles.

Ce capteur peut mesurer la pression barométrique avec une très bonne précision. Parce que la pression varie avec l'altitude nous pouvons également l'utiliser comme un altimètre avec une précision de ± 1 mètre ! Précision pour la pression barométrique est de ± 1 hPa à ± 1 , 0° C pour la température.

On peut le connecter avec carte Arduino en utilisant le protocole de connexion I2C ou SPI pour le capteur 280 et la connexion I2C pour le capteur 180. Ils ont un régulateur 3.3V donc on peut l'utiliser avec un microcontrôleur logique 3V ou 5V sans aucun problème.

II.4.3.4. Câblage des capteurs sur l'Arduino UNO :

➤ Capteur BMP 280 :

L'utilisation du capteur BMP 280 est facile. Si on utilise un Arduino UNO, on connecte simplement :

- Broche Vin à la broche de tension 3,3V.
- GND à la terre.
- SCL à la broche Analogue 5 et SDA à la broche Analogue 4.

Ensuite, on fait déclarer la bibliothèque Arduino BMP280 et un code d'exemple pour le calcul de la pression doit l'ajouter dans le programme.

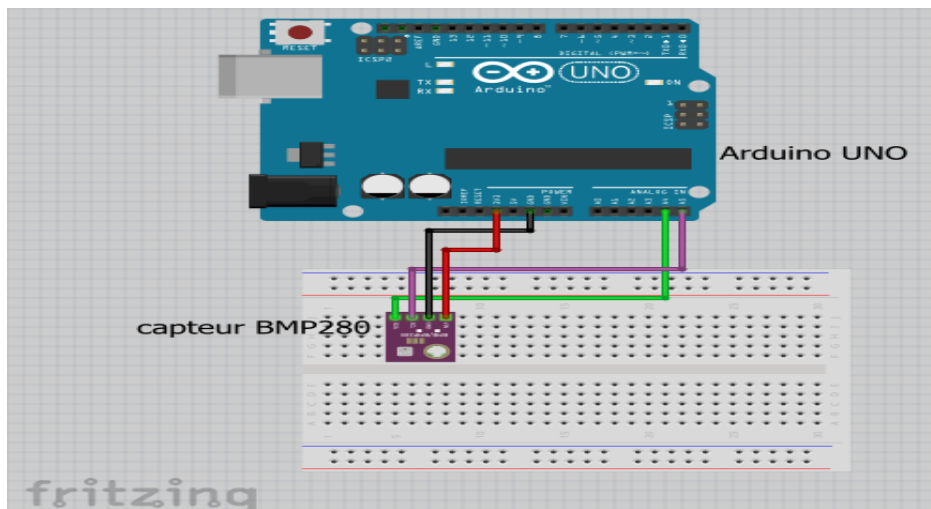


Figure II.8 : Câblage Arduino-capteur BMP280.

➤ Capteur BMP 180 :

Chapitre II : Amélioration du banc d'essai- partie matérielles et logicielles.

L'utilisation du capteur BMP180 est facile. Si on utilise un Arduino UNO, on connecte simplement :

- Broche Vin à la broche de tension 3,3V.
- GND à la terre.
- SCL à la broche Analogue 5 et SDA à la broche Analogue 4.

Ensuite, on fait déclarer la bibliothèque Arduino BMP180 et un code d'exemple pour le calcul de la pression doit l'ajouter dans le programme.

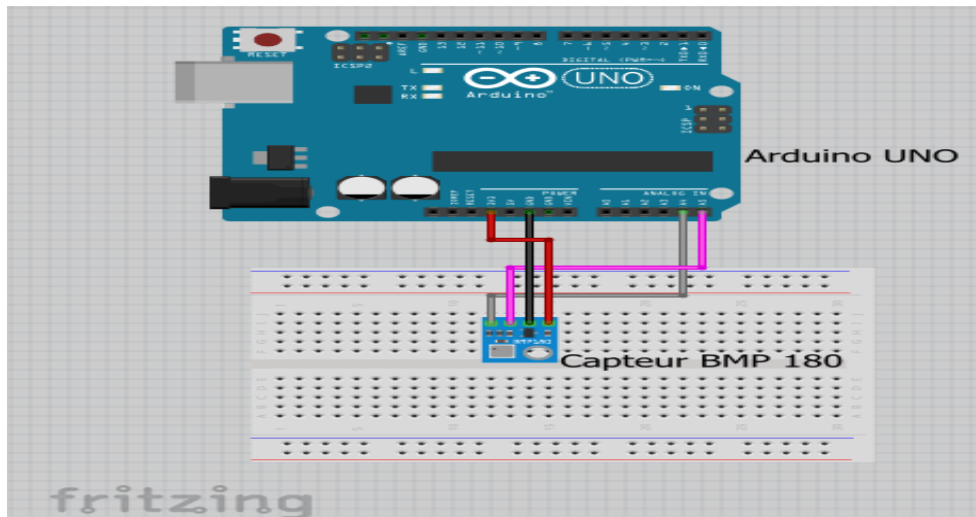


Figure II.9 : Câblage Arduino-capteur BMP180.

II.4.4. Multiplexeur/démultiplexeur analogique 4 canaux :

Le 74HC4052 ; 74HCT4052 est un dispositif Si-porte CMOS haute vitesse et est compatible broche à broche avec la HEF4052B. Le dispositif est spécifié dans la norme JEDEC respect pas. 7A. Le 74HC4052 ; 74HCT4052 est un 4-canal analogique multiplexeur / démultiplexeur double avec logique de sélection commun. Chaque multiplexeur dispose de quatre entrées / sorties indépendantes (épingles à NY0 NY3) et une entrée / sortie commune (broche NZ).

Le canal commun sélectionnez logiques comprennent deux entrées numériques de sélection (broches S0 et S1) et une active LOW permette entrée (broche E). Quand broches

Chapitre II : Amélioration du banc d'essai- partie matérielles et logicielles.

E = LOW, l'un des quatre commutateurs est sélectionné (basse impédance à l'état ON) avec des épingles S0 et S1. Lorsque la broche E = HAUT, tous les commutateurs sont dans l'état OFF à haute impédance, indépendante de broches S0 et S1. VCC et GND sont les repères de la tension d'alimentation pour les entrées de commande numériques (broches S0, S1 et E). Le VCC GND à des plages sont de 2,0 V à 10,0 V pour la 74HC4052 et 4,5 V à 5,5 V pour le 74HCT4052.

Les entrées / sorties analogiques (broches NY0 à NY3 et NZ) peuvent osciller entre VCC comme une limite positive et VEE comme une limite négative. VCC – VEE ne peut pas dépasser 10,0 V. Pour un fonctionnement comme un multiplexeur / démultiplexeur numérique, VEE est relié à la masse (typiquement sol).

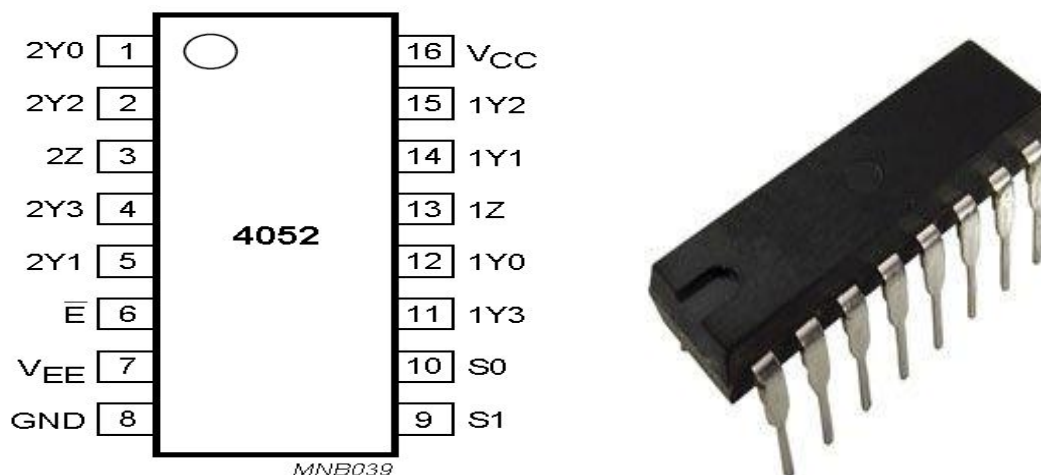


Figure II.10 : Double multiplexeur/démultiplexeur 74HC4052.

II.4.4.1. Application :

- Multiplexage et démultiplexage analogiques.
- Multiplexage et démultiplexage numérique.

II.4.4.2. Caractéristiques techniques :

Attribut	Valeur
Type de montage	CMS
Type de boîtier	TSSOP

Nombre de broches	16
Dimensions	5.1 x 4.5 x 0.95mm
Tension d'alimentation fonctionnement maximum	11 V
Température d'utilisation maximum	+125 °C
Standard automobile	AEC-Q100
Tension d'alimentation de fonctionnement minimum	-0,5 V

Tableau II .6 : Caractéristiques techniques du multiplexeur.

II.4.5. L'écran LCD :

Les écrans LCD existent depuis 1971. Ils n'ont pas cessé de se développer depuis, et équipent maintenant bien des appareils à affichage embarqué (appareils photo, digicodes, montres, téléphones...).

L'écran à cristaux liquides, en anglais : LCD pour liquide Crystal display permet la création d'écran plat à faible consommation d'électricité. Aujourd'hui ces écrans sont utilisés presque tous les affichages électroniques. Les écrans à cristaux liquides utilisent la polarisation de la lumière par des filtres polarisants et la biréfringence de certains cristaux liquides en phase nématique, dont on peut faire varier l'orientation en fonction du champ électrique. Du point de vue optique, l'écran à cristaux liquides est un dispositif passif : il n'émet pas de lumière, seul sa transparence varie, et il doit donc disposer d'un éclairag [10].

L'écran LCD que nous allons utiliser est un écran permettant l'affichage de 20x4 caractères, c'est-à-dire quatre lignes de 20 caractères.



Figure II.11 : Afficheur LCD 20X4.

On voit bien en haut de l'afficheur, 16 marques de soudure. C'est une bonne façon de repérer les afficheurs compatibles avec la bibliothèque LCD. Ces afficheurs peuvent communiquer avec l'Arduino via cette bibliothèque

II.4.5.1. Bibliothèque :

Pour pouvoir utiliser l'écran LCD il est nécessaire d'installer la bibliothèque « LiquidCrystal » (cf. fiche librairie) [14].

II.4.5.2. Connections :

En retournant l'écran LCD on trouve au verso au niveau de broches deux numéros 1 et 16 désignant respectivement la première et la dernière broche. Pour pouvoir brancher correctement l'écran il faut respecter le schéma suivant :

- Les deux premiers pins servent à l'alimentation de l'écran respectivement le GND et le 5V.
- Le troisième pin est connecté à un potentiomètre et sert pour régler l'affichage (le contraste de l'écran).
- Le quatrième, est connecté au pin 12 de l'Arduino par exemple. Il sert à sélectionner la zone mémoire de l'écran LCD dans laquelle nous allons écrire.
- Le cinquième doit toujours être connecté au ground. C'est un sélecteur de mode lecture ou écriture.
- Le sixième, est connecté au pin 11 par exemple de l'Arduino. Il permet de lancer ou non l'écriture dans les zones mémoires.

Chapitre II : Amélioration du banc d'essai- partie matérielles et logicielles.

- Les quatre suivants (reliés au ground) servent pour la communication 8 bits. Pour la communication 4 bits, il est conseillé de les relier au ground (facultatif).
- Les quatre pins qui suivent, se connectent par exemple sur les pins 2, 3, 4, 5 de l'Arduino. Ils servent pour la communication.
- Les deux pins tout à droite servent pour alimenter la LED du rétro-éclairage [14].

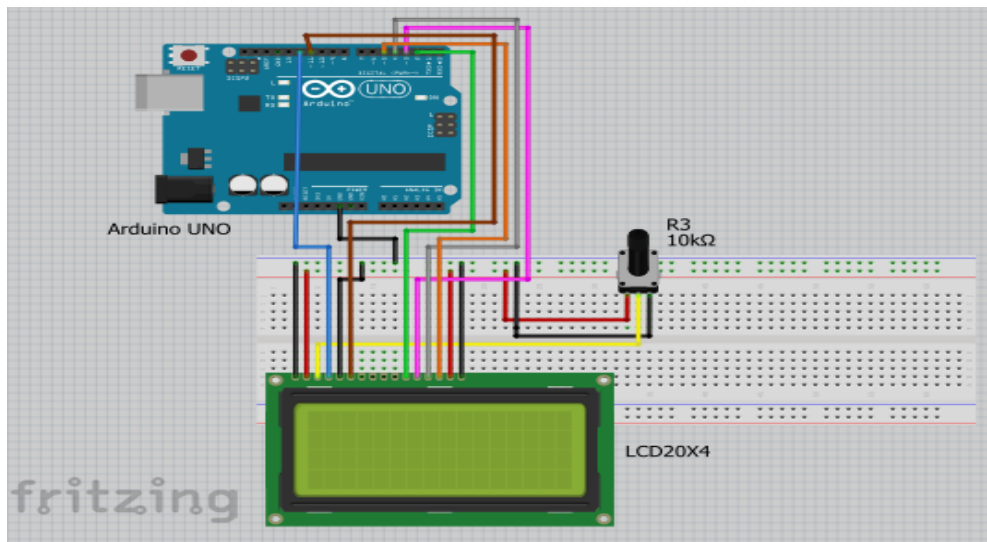


Figure II.12 : Câblage de l'afficheur LCD avec Arduino.

II.4.6. La plaque d'essai :

La plaque d'essai (ou breadboard) c'est une plaque en plastique isolant parsemé de plein de trous. Ces trous sont espacés de 2.54 mm qui est l'espacement standard des composants électroniques que nous utilisons dans nos montages. Elle est un très bon moyen pour tester un montage sans effectuer aucune soudure et s'assurer rapidement qu'il n'y a pas d'erreur dans notre montage et donc de pouvoir réutiliser les composants.

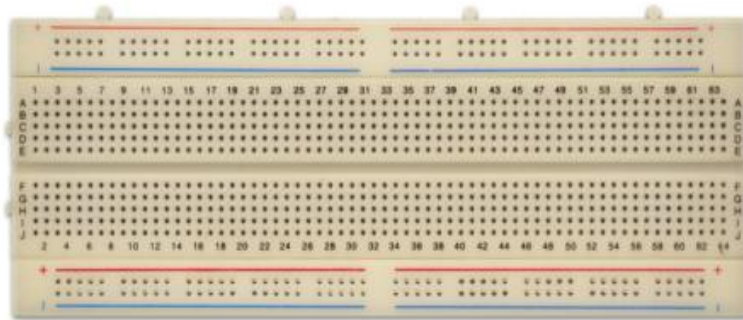


Figure II.13 : Plaque d'essai.

Tous les connecteurs dans une rangée de 5 sont reliés entre eux. Donc si on branche deux éléments dans un groupe de cinq connecteurs, ils seront reliés entre eux. Il en est de même des alignements de connecteurs rouges (pour l'alimentation) et bleus (pour la terre). Ainsi, les liens peuvent être schématisés ainsi :

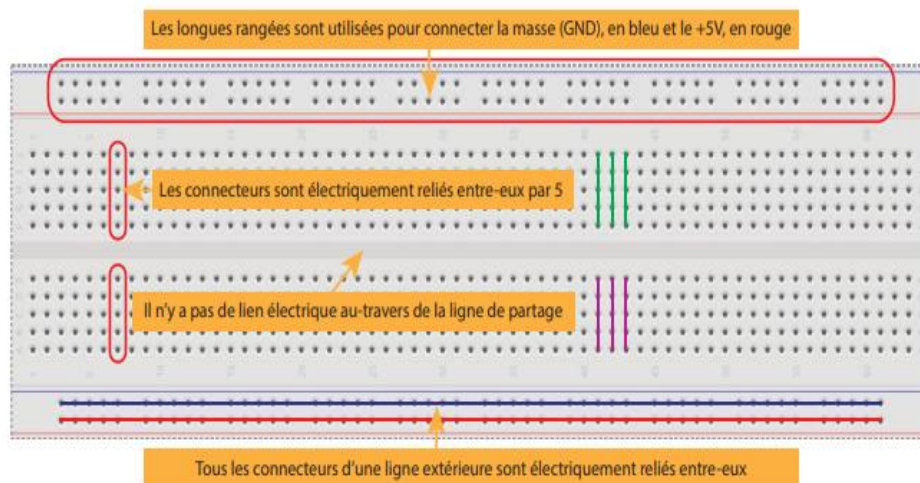


Figure II.14 : Connecteurs de la plaque d'essai.

II.5. Le branchement :

- **Les capteurs :**
 1. **Le capteur barométrique BMP 180 :**
 - Vcc : Connecter avec 3.3 V.
 - GND : Connecter avec GND.
 - SCL : Connecter avec MUX pin 1 (2Y0).
 - SDA : Connecter avec MUX pin 12 (1Y0).

2. Le capteur barométrique BMP 180 :

Vcc : Connecter avec 3.3 V.

GND : Connecter avec GND.

SCL : Connecter avec MUX pin 5 (2Y1).

SDA : Connecter avec MUX pin 14 (1Y1).

3. Le capteur barométrique BMP 280 :

Vcc : Connecter avec 3.3 V.

GND : Connecter avec GND.

SCL : Connecter avec MUX pin 2 (2Y2).

SDA : Connecter avec MUX pin 15 (1Y2).

- **L'afficheur LCD 20X4 (liquide Crystal display) :**

VSS : Connecter avec GND.

VDD : Connecter avec 5 V.

V0 : Connecter avec une résistance.

RS : Connecter avec pine 8 de l'Arduino.

RW : Connecter avec GND.

E : Connecter avec pine 9 de l'Arduino.

D0, D1, D2, D3 : Sans connexion.

D4, D5, D6, D7 : Connecter avec pine 10, 11, 12, 13 de l'Arduino.

- **MUX 1 :**

Vcc : Connecter avec 5 V (pine16).

GND, VEE, E : Connecter avec le GND (pine 8, pine 7, pine 6).

S0 : connecter avec résistance **10K Ω** (select Pin10).

S1 : connecter avec le GND.

1Z : connecter avec Arduino A4 (SDA) Pin (Pin13).

2Z : connecter avec Arduino A5 (SCL) Pin (Pin3).

1Y0, 2Y0 : connecté avec capteur1 BMP 180 (SDA, SCL), (pin12, pin1).

Chapitre II : Amélioration du banc d'essai- partie matérielles et logicielles.

1Y1, 2Y1 : connecté avec capteur2 BMP 180 (SDA, SCL), (pin14, pin5).

- **MUX 2 :**

Vcc : Connecter avec 5 V (pine16).

GND, VEE, E : Connecter avec le GND (pine 8, pine 7, pine 6).

S0 : connecter avec le GND.

S1 : connecter avec résistance 10K Ω (select Pin1).

1Z : connecter avec 1Z (MUX1) Pin (Pin13).

2Z : connecter avec 2Z (MUX1) Pin (Pin3).

1Y2, 2Y2 : connecté avec capteur3 BMP 280 (SDA, SCL), (pin15, pin2).

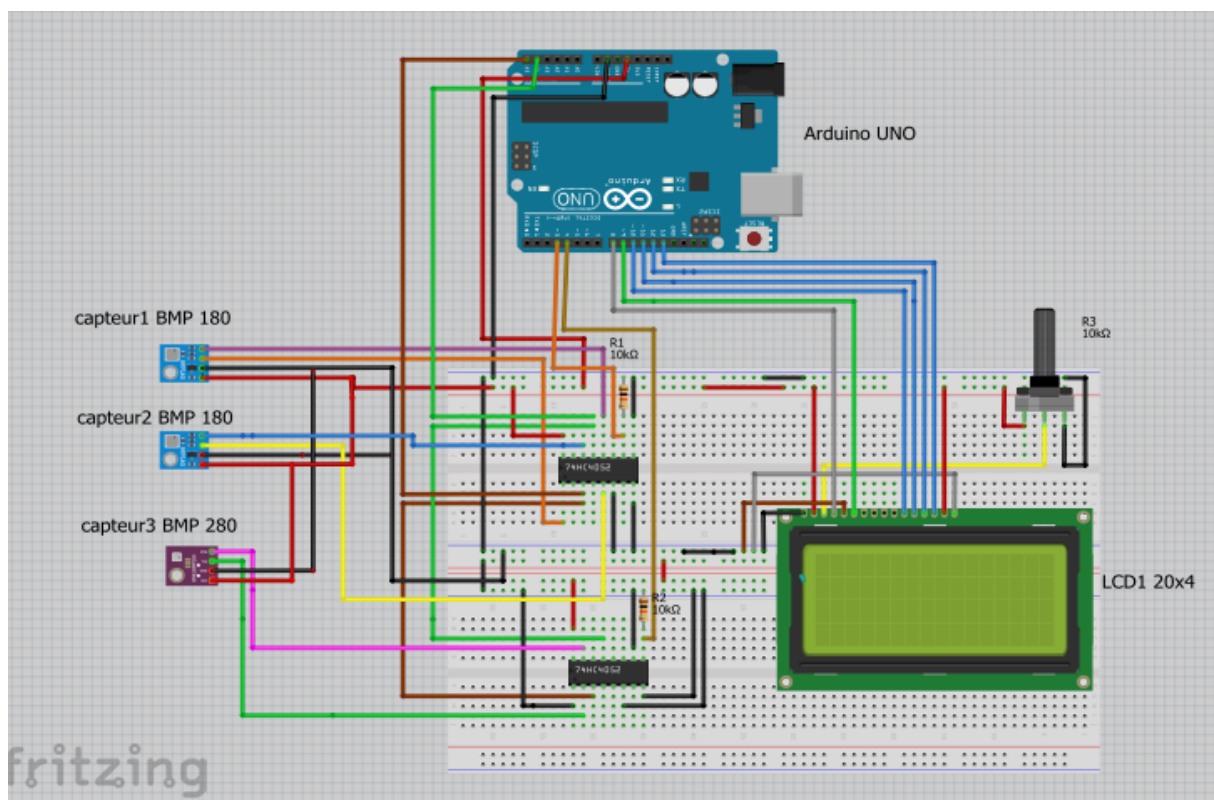


Figure II.15 : Câblage générale de la partie acquisition et affichage.

II.6. Partie software :

II.6.1. Programme Arduino :

II.6.1.1. Description de l'IDE :

L'IDE est un logiciel de programmation qui permet d'écrire, de modifier un programme et de le convertir en une série d'instructions compréhensibles pour la carte. Il programme par code, contenant une cinquantaine de commandes différentes. A l'ouverture, l'interface

Chapitre II : Amélioration du banc d'essai- partie matérielles et logicielles.

visuelle du logiciel contient le menu, des boutons de commande en haut, une page blanche vierge, une bande noire en bas, comme ceci :

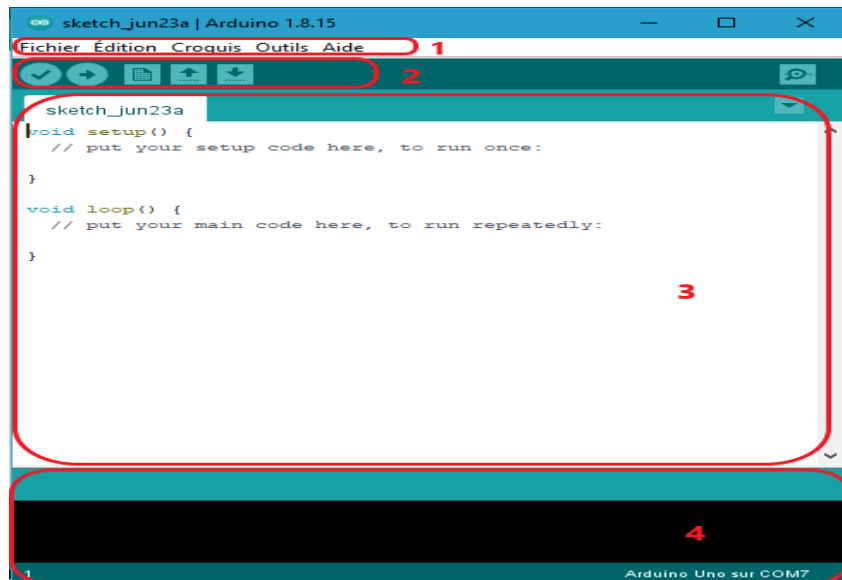


Figure II.16 : Logiciel Arduino IDE.

- 1- Barre de menu.
- 2- Barre des boutons.
- 3- Fenêtre d'édition de programme.
- 4- Zone de messages des actions en cours (console d'affichage des messages de compilation).

II.6.1.2. Menu :



Figure II.17 : Menu du logiciel Arduino.

- Bouton 1 : Ce bouton permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans le programme (compilation du programme).
- Bouton2 : Envoi du programme sur l'Arduino (téléversement de programme).
- Bouton3 : Créer un nouveau fichier.
- Bouton 4 : Ouvrir un fichier existant.
- Bouton 5 : Enregistrer un fichier.

II.6.1.3. Injection du programme :

Avant d'envoyer un programme dans la carte, il est nécessaire de sélectionner le type de la carte (Arduino UNO) et le numéro de port USB (COM 3).

II.6.1.4. Utilisation du logiciel :

Le système Arduino, nous donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique. Plus précisément, nous allons programmer des systèmes électroniques. Le gros avantage de l'électronique programmée c'est qu'elle simplifie grandement les schémas électroniques et par conséquent, le coût de la réalisation, mais aussi la charge de travail à la conception d'une carte électronique. L'utilité est sans doute quelque chose que l'on perçoit mal lorsque l'on débute, mais une fois que vous serez rentré dans le monde de l'Arduino, vous serez fasciné par l'incroyable puissance dont il est question et des applications possibles [15].

II.6.1.5. Langage de programmation :

Le projet Arduino était destiné à l'origine principalement à la programmation multimédia interactive en vue de spectacle ou d'animations artistiques. C'est une partie de l'explication de la descendance de son interface de programmation de Processing. Processing est une librairie java et un environnement de développement libre. Le logiciel fonctionne sur Macintosh, Windows, Linux et Android [16].

II.6.2. Fritzing :

Est un logiciel libre de conception de circuit imprimé qui va vous permettre de faire de beaux schémas sur Arduino pour présenter vos circuits électriques. De plus pourrez les exporter en image afin de les présenter à votre guise. Nous allons découvrir les différents outils de conception qu'offre le logiciel Fritzing en représentant :

* le plan de câblage du circuit.

* son schéma structurel.



Figure II.18: Page d'accueil du logiciel FRITZING.

II.7. Conclusion :

A travers ce chapitre nous avons présenté les différents outils utilisés pour effectuer des mesures avec leurs caractéristiques. Dans l'objectif recherché qui est la conception d'un système de mesure de paramètres du ventilateur axial composé d'un ensemble de capteurs pour l'acquisition des données, d'une carte à microcontrôleurs Arduino Uno pour le traitement des données. Dans le prochain chapitre, nous allons lancer le ventilateur afin d'extraire les caractéristiques et grandeur caractérisant ce dernier.

Chapitre III :

Acquisition

Et

Supervision des

données.

III.1. Introduction :

Ce dernier chapitre portera sur l'acquisition et la supervision des mesures en temps réel. Deux méthodes de mesure ont été adoptées, une basée sur des appareils de mesure à lecture directe tel que l'anémomètre et le tachymètre, l'autre basée sur des capteurs électroniques pour une acquisition sur ordinateur.

L'estimation de la valeur du courant, de la tension et de la vitesse de rotation du ventilateur axial à partir des essais pratique sur le banc d'essai sera discutée en détail dans ce chapitre.

Afin de valider le bon fonctionnement du banc d'essai, les courbes caractéristiques du ventilateur axial, pression, puissance et rendement en fonction de débit volumique, seront afficher sur l'écran LCD et enregistrées sur ordinateur.

III.2. Étapes de mesure :

III.2.1. Mesure de débit de l'air :

- **Mesure de la vitesse de l'air :**

Nous allons déterminer la vitesse de l'air en fonction de la pression différentielle (dp) entre la pression atmosphérique et la pression d'air en aval du ventilateur (la pression dans la conduite d'admission), afin de trouver une relation mathématique entre eux, pour l'utiliser dans le calcul de débit.

Pour effectuer ce travail on a utilisé l'anémomètre (**Figure III.1**) pour obtenir les valeurs de la vitesse de l'air, premièrement on va ouvrir le papillon (conduite de refoulement). Puis allumer le ventilateur à vitesse maximum après on va commencer à fermer le papillon peu à peu, et chaque fois on lit les mesures de l'anémomètre et ce qui lui correspond en pression différentielle affichées sur l'écran LCD. On obtient alors le tableau suivant :



Figure III.1 : Anémomètre.

dp [mbar]	v [m/s]	Qv [m ³ /s]
0	0	0
0.05	0.6	63.72
0.15	1.72	182.66
0.2	2.18	213.516
0.390	3.06	324.972
0.480	3.59	381.258
0.72	4.65	493.83
1.08	5.53	587.286
1.17	5.83	621.27
1.27	6.22	660.564
1.620	6.90	732.78

Tableau III.1 : Résultats de mesure de la vitesse et le débit de l'air.

Les résultats de débit été calculer à partir de l'équation suivant :

On a :
$$Q_v = v * S$$

Avec :
$$S = \pi \frac{d^2}{4}$$

Q_v : Débit de l'air [m³/S].

v : vitesse de l'air [m/s].

S : Surface de la conduite [m²].

d : Diamètre intérieur de la conduite [m].

En traçant les valeurs de tableau en utilisant Excel, on obtient la courbe ci-dessous :

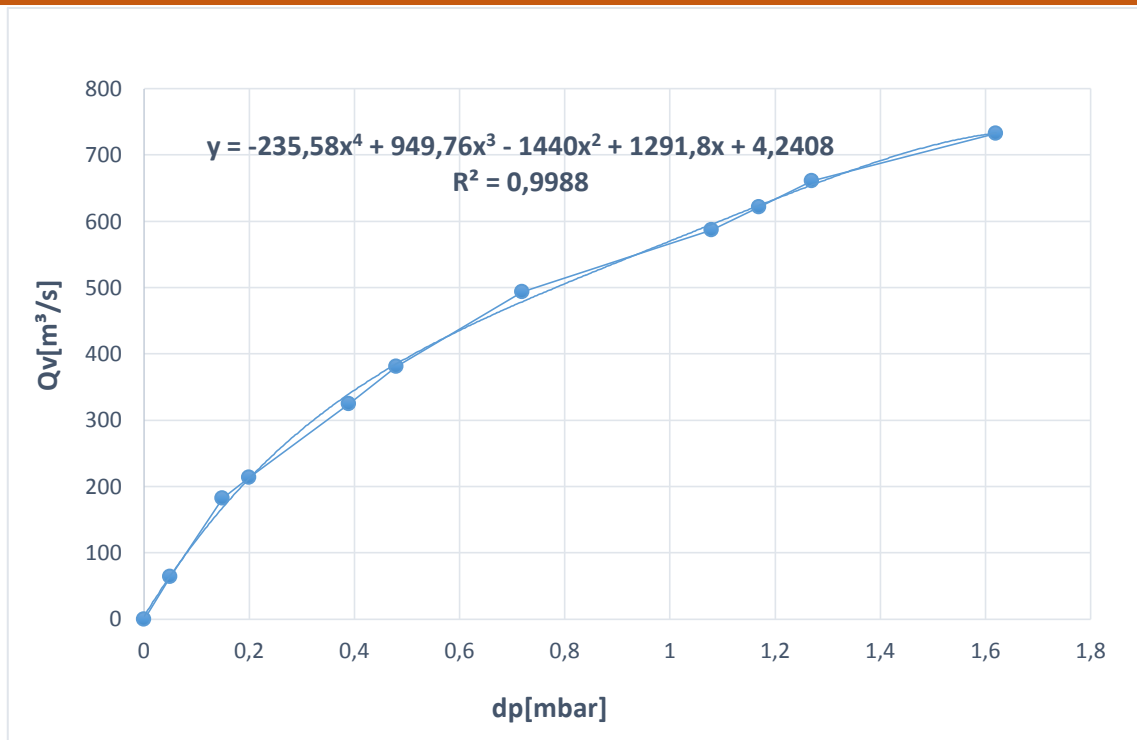


Figure III. 2 : Courbe $Qv = f(dp)$.

Grâce à l'équation issue de la courbe tracée sur Excel représentée par les **Figures III.2**, on a pu établir la relation entre le débit et la pression d'air en aval du ventilateur, comme suit :

$$y = -235,58x^4 + 949,76x^3 - 1440x^2 + 1291,8x + 4,2408$$

(III.1)

Cette équation est utilisée dans le programme Arduino pour calculer le débit de l'air.

```

//*****
double Patm= ((pressure/100)-1.2); // atmospheric pressure
double P1=(d1._pres_value-4.05); // pressure measurment in the delivery pipe
double P2=(d2._pres_value); // pressure measurment in the intake pipe
double dp=(Patm-(d2._pres_value)); //delta P in mbar (intake pipe)
double Dp=((d1._pres_value-4.05)-(d2._pres_value));
// y = -235,58x4 + 949,76x3 - 1440x2 + 1291,8x + 4,2408
double Qv= -235.58*pow((dp),4)+949.76*pow((dp),3)-1440*pow((dp),2)+1291.8*(dp) + 4.2408;
//*****

```

Figure III.3 : Déclaration de variables (code Arduino(Qv)).

III.3. Estimation des grandeurs physiques :

Afin de minimiser le nombre de capteurs ainsi que le coût du banc d'essai réalisé, l'estimation de certaine grandeur est jugée indispensable, pour cela une série d'essais pratiques nous permettra d'estimer la valeur du courant, de la tension et de la vitesse de rotation du ventilateur à l'aide d'un ampèremètre, un voltmètre et un tachymètre.

III.3.1. Estimation de courant :

Dans le but de déterminer le rendement du ventilateur, on doit connaître la puissance électrique absorbée par le moteur électrique entraînant le ventilateur axial. En l'absence de capteur de courant on doit procéder à l'estimation de cette grandeur à partir des essais, les données des mesures pour différentes vitesses de rotation sont enregistrées sur le **Tableau III. 2** :

$Qv [m^3/s]$	$I[A]$			
	2100 tr/min	1800 tr/min	1500 tr/min	1200 tr/min
0	0.35	0.36	0.36	0.35
100	0.36	0.36	0.36	0.36
200	0.36	0.37	0.37	0.36
300	0.37	0.38	0.39	0.37
400	0.39	0.39	0.4	0.38
500	0.4	0.41	0.41	/
600	0.41	0.42	/	/
700	0.42	/	/	/

Tableau III.2 : Résultat de la mesure de courant.

III.3.2. Estimation de tension :

En l'absence de capteur de tension on doit estimer la valeur de la tension d'alimentation du moteur d'entraînement le ventilateur axial. Pour cela une série de mesures de cette grandeur en fonction de débit pour différentes vitesses de rotation a permis d'établir les relations suivantes :

- 216V pour N=2100tr/min.
- 189V pour N= 1800tr/min.
- 165V pour N= 1500tr/min.

- 150V pour $N=1200\text{tr/min}$.

III.3.3. Estimation de vitesse :

En utilisant un tachymètre, durant les différents essais effectués on a pu établir la relation entre la vitesse de rotation et le débit volumique du ventilateur axial, par des mesures directes de ces deux grandeurs, les résultats sont présentés ci-dessous :

- $QV=700\text{ m}^3/\text{s} \leftrightarrow N=2100\text{tr/min}$.
- $QV=600\text{ m}^3/\text{s} \leftrightarrow N=1800\text{tr/min}$.
- $QV=500\text{ m}^3/\text{s} \leftrightarrow N=1500\text{tr/min}$.
- $QV=400\text{ m}^3/\text{s} \leftrightarrow N=1200\text{tr/min}$.

III.4. Caractéristiques d'un ventilateur axial :

Dans la pratique, on choisit la vitesse de rotation en fonction de la gamme de débit souhaitée pour cela nous allons tracer les différentes caractéristiques du ventilateur axial (pression, puissance pneumatique et électrique, rendement).

III.4.1. Caractéristique de pression différentielle (ΔP) en fonction de débit :

Le **Tableau III. 3** représente les données acquises lors des expériences dans le laboratoire sur le banc d'essai, il représente la pression différentielle (ΔP) en fonction du débit volumique Q_V pour différentes vitesses de rotation.

Qv [m^3/s]	ΔP [mbar]			
	2100 tr/min	1800 tr/min	1500 tr/min	1200 tr/min
0	1.85	1.53	1.515	1.007
100	1.79	1.53	1.355	0.977
200	1.72	1.48	1.265	0.847
300	1.66	1.4	1.115	0.697
400	1.64	1.303	1.025	0.567
500	1.59	1.27	0.845	/
600	1.57	1.24	/	/
700	1.53	/	/	/

Tableau III.3 : Résultats de mesure (ΔP).

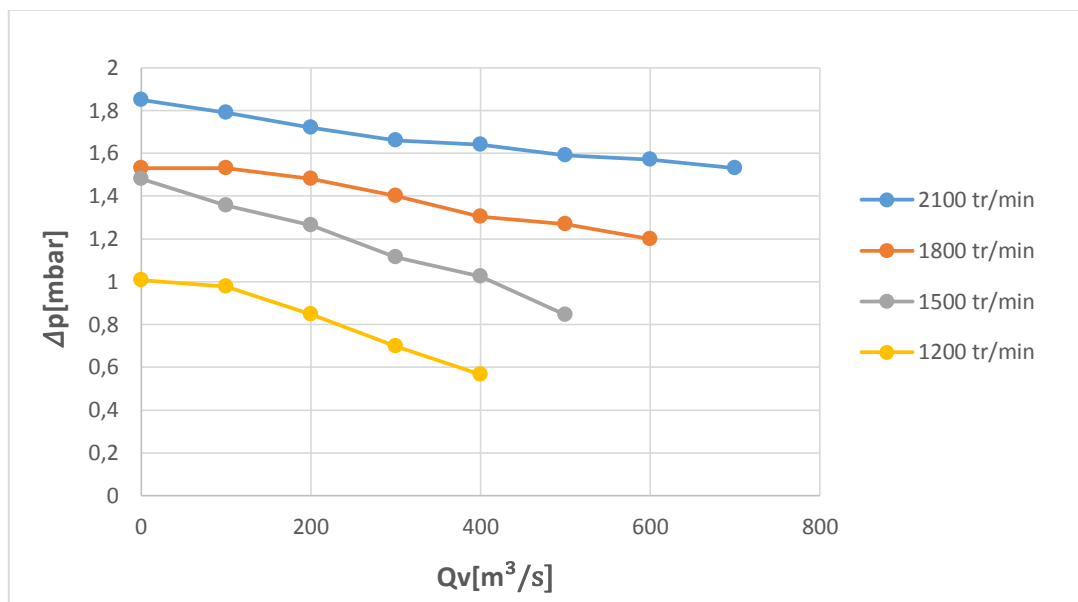


Figure III.4 : Courbe caractéristique $\Delta P = f(Qv)$ pour différentes vitesses de rotation.

La Figure III.4 représente la variation de la pression différentielle (ΔP) en fonction du débit volumique Q_V pour différentes vitesses de rotation, d'une part on voit clairement que la pression du ventilateur axial augmente avec l'augmentation de la vitesse de rotation d'autre part on déduit que la pression décroît avec l'augmentation de débit du fait des pertes.

III.4.2. Caractéristique de la puissance pneumatique et électrique en fonction de débit :

Chapitre III : Acquisition et supervision des données.

➤ **Relation de la puissance pneumatique :**

$$P_{pn} = Q_v \cdot \Delta p \quad (\text{III.2})$$

Avec :

p_{pn} : La puissance pneumatique [watt].

Q_v : Le débit de l'air [m^3 / s].

Δp : La pression d'air en aval du ventilateur [Pa].

➤ **Relation de la puissance électrique :**

$$P_{elec} = U \cdot I \quad (\text{III.3})$$

Avec :

P_{elec} : La puissance électrique [watt].

U : La tension [V].

I : Le courant [A].

1) La puissance pneumatique :

Le **Tableau III.4** résume la puissance calculée à partir des données acquises lors des expériences dans le laboratoire sur le banc d'essai, il représente la puissance pneumatique :

Q_v [m^3/s]	P [W]			
	2100 [tr/min]	1800 [tr/min]	1500 [tr/min]	1200 [tr/min]
0	0.050	0.10	0.079	0.05
100	5.076	4.388	3.811	2.710
200	9.569	8.078	7.101	4.820
300	13.80	13.19	9.408	5.690
400	18.81	14.43	11.38	6.230
500	22.08	20.04	11.63	/
600	26.29	23.25	/	/
700	29.75	/	/	/

Tableau III.4 : Résultats de la mesure de puissance pneumatique.

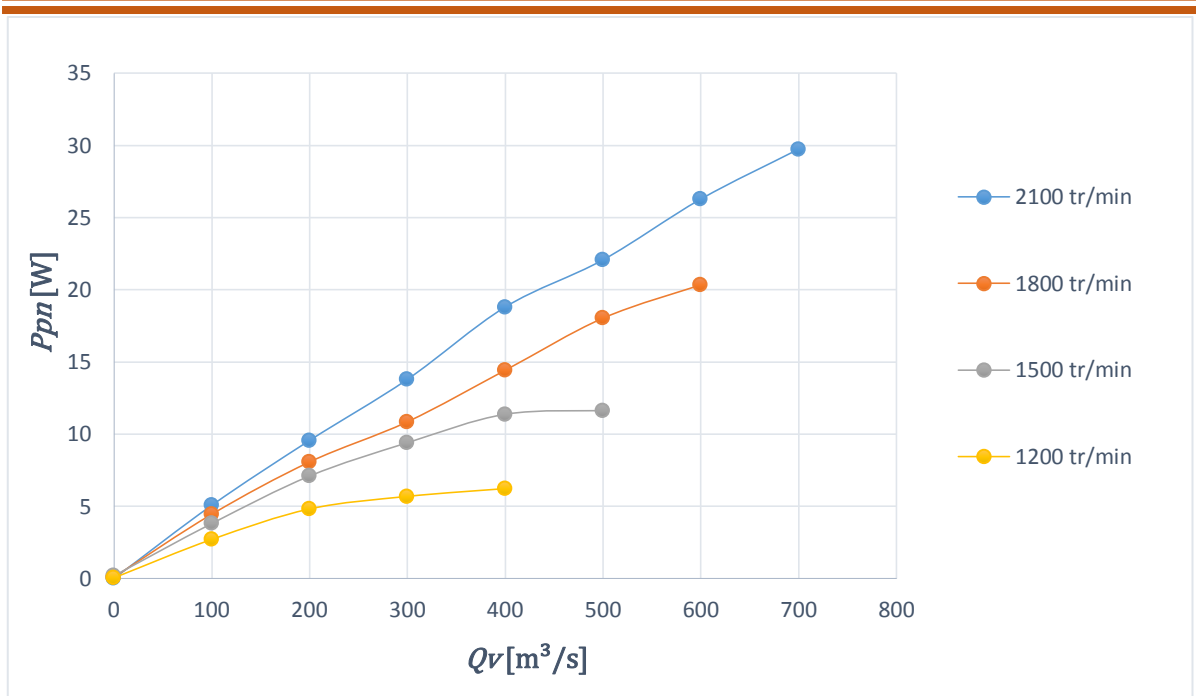


Figure III.5 : Courbe caractéristique $P_{pn} = f(Qv)$ pour différentes vitesses de rotation.

La Figure III.5 représente la variation de la puissance pneumatique du ventilateur axial en fonction du débit volumique pour différentes vitesses de rotation. On remarque que la puissance pneumatique du ventilateur axial est proportionnelle à la vitesse de rotation quel que soit le débit, on voit clairement que la puissance augmente proportionnellement avec le débit dans la zone des faibles débits jusqu' à un maximum qui correspond au rendement max.

2) **La puissance électrique :**

Le Tableau III.5 résume la puissance calculée à partir des données acquises lors des expériences dans le laboratoire sur le banc d'essai, il représente la puissance électrique :

$Qv [m^3/s]$	$P_{éle} [watt]$			
	2100 tr/min	1800 tr/min	1500 tr/min	1200 tr/min
0	75.25	67.68	59.04	52.15
100	77.4	68.04	59.04	53.64
200	77.76	69.93	60.68	54
300	79.92	71.82	64.35	55.5
400	84.24	74.1	66.4	57
500	86.4	77.9	68.06	/
600	88.97	80.22	/	/

700	91.14	/	/	/
-----	-------	---	---	---

Tableau III.5 : Résultats de la mesure de puissance électrique.

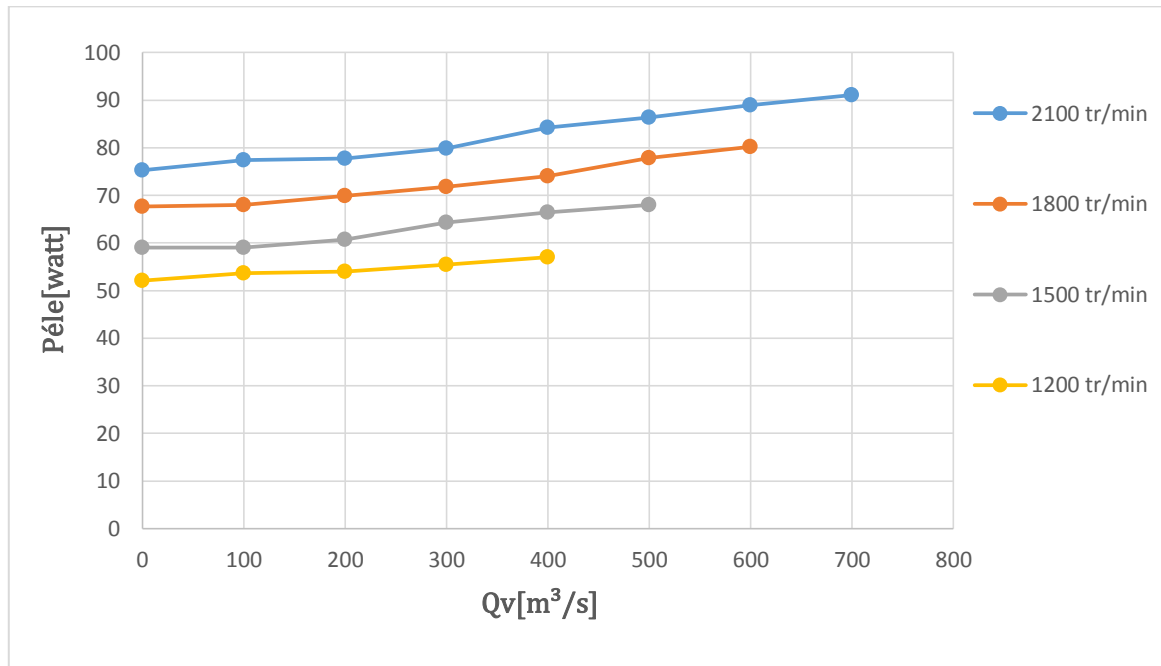


Figure III.6 : Courbe caractéristique $Péle = f(Qv)$ pour différentes vitesses de rotation.

La Figure III.6 représente la variation de la puissance électrique du ventilateur axial en fonction du débit volumique pour des différentes vitesses de rotation. On remarque que la puissance électrique du ventilateur axial augmente proportionnellement avec le débit.

III.4.3. Caractéristique du rendement en fonction du débit :

Le Tableau III.6 résume le rendement calculé à partir des données acquises lors des expériences dans le laboratoire sur le banc d'essai, il représente le rendement η du ventilateur axial en fonction du débit volumique Q_v pour différentes vitesses de rotation.

Q_v [m^3/s]	η [%]			
	2100 tr/min	1800 tr/min	1500 tr/min	1200 tr/min
0	0.067	0.10	0.03	0.09
100	7.56	6.45	6.02	5.05
200	12.3	11.56	10.77	8.68
300	17.27	15.12	13.62	10.14
400	22.32	19.48	19.14	10.92
500	25.56	23.2	19.89	/

Chapitre III : Acquisition et supervision des données.

600	29.55	26.60	/	/
700	32.64	/	/	/

Tableau III.6 : Résultats de la mesure de rendement.

La **Figure III.7** représente la variation du rendement η du moto-ventilateur en fonction du débit volumique pour des différentes vitesses de rotation.

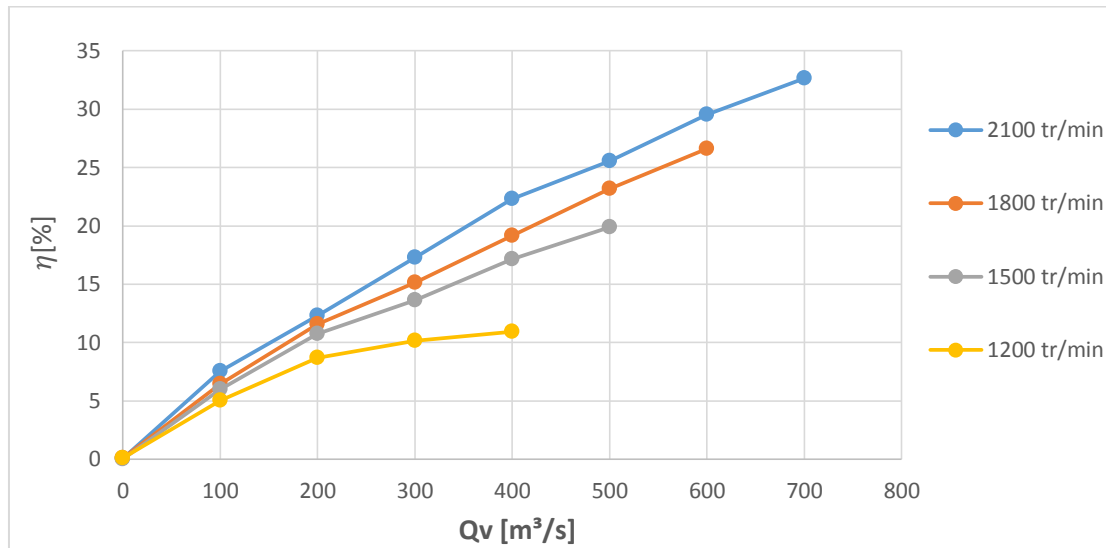


Figure III.7 : Courbe caractéristique $\eta = f(Q_v)$ pour différentes vitesses de rotation.

D'après les courbes de la **Figure III.7**, on voit clairement que le rendement du ventilateur axial est proportionnel à la vitesse de rotation quel que soit le débit.

On remarque que les courbes de rendement ont la même forme que les courbes de puissance.

III.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les étapes de la conception du système de mesure des grandeurs caractérisant le ventilateur axial.

L'estimation de la valeur du courant, de la tension et de la vitesse de rotation du ventilateur axial ont permis de minimiser le nombre de capteurs ainsi que le coût du banc d'essai réalisé. On a fait l'acquisition des courbes caractéristiques du ventilateur axial, pression, puissance et rendement en fonction du débit volumique.

Conclusion générale.

Conclusion générale :

Ce projet de fin d'études était un défi qu'on a relevé afin de proposer quelque chose bénéfique pour notre société, université et aux étudiants du département électromécanique. Ce projet de fin d'études nous a permis d'utiliser tous les acquis et connaissances acquises durant notre formation,

L'objectif consiste à l'amélioration de banc d'essai permettant d'effectuer des travaux pratiques sur les ventilateurs axiaux, qui doit à la fois être moderne, de faible coût, bien instrumenté et permet l'acquisition des données.

En utilisant nos propres moyens, l'amélioration du banc a commencé par l'ajout d'un capteur barométrique BMP 280. On a développé notre programme d'acquisition et de supervision.

Le code développé dans ce mémoire utilise une fonctionnalité pour assurer l'envoi des données des capteurs et aussi la réception des instructions de fonctionnement envoyés par l'utilisateur.

L'étalonnage des capteurs de pression par rapport aux instruments de mesure est effectué avec succès, les valeurs capteur-instrument de mesure collent parfaitement.

L'estimation de la valeur du courant, de la tension et de la vitesse de rotation du ventilateur axial ont permis de minimiser le nombre de capteurs ainsi que le coût global du banc d'essai.

Toutes les grandeurs physiques sont acquises en temps réels sur l'afficheur LCD avec une très grande précision.

L'acquisition des courbes caractéristiques du ventilateur axial indique qu'on a atteint l'objectif visé dans ce projet de fin d'études.

Nous projetons comme perspectives, l'extension de notre banc d'essai, pour permettre d'effectuer de nouveaux travaux pratiques.

Bibliographie

- [1]. OTTAVY, Xavier. *Cours de turbomachine*. Lyon : Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique.
- [2]. O., BENTATA. *Turbomachines 1 A Fluides incompressibles Cours et Exercices*. Oran : Département de Génie Mécanique Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, 2018.
- [3]. http://jltimin.free.fr/STI2D/doc/EE3_1/EE_3_2_Technologie_Regulation_Ventilateurs.pdf.
- [4.] Sebih Mohamed Amine, Nabi Nasro. *mémoire fin d'étude VENTILATEUR AXIAL*. Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen : s.n., 2014 - 2015.
- [5]. Alain GUEDEL, Agus RIDWAN. *INSTALLATION des VENTILATEURS*.
- [6]. Khelifi sofian, boubaaya said. *Realization of a multi-station supervisory system with Software*. Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi : s.n., 2018-2109.
- [7]. <http://www.generationrobots.com/fr/152-arduino>. consulter le : mars 2015. .
- [8]. <http://fr.flossmanuals.net/arduino/index>.
- [9]. MALHA, Mlle INGUEL. *Mémoire de Fin d'étude de MASTER ACADÉMIQUE, Conception et réalisation d'un système Domotique par GSM*. Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou : s.n., 2017.
- [10]. Kara lydia, GUELLAL SOFIANE. *mémoire fin d'étude, Conception et réalisation d'un système de mesure et transmission de paramètres météorologiques*. UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU : s.n., 12 juillet 2018.
- [11]. REGUIG BERRA Imadeddine, ALLAM Yassine. *Etude et réalisation d'une station météoconnectée par wifi*. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA : s.n., 2016-2017.
- [12]. FOUFOU Nour Elhouda, Radi Nadjlaa. *mémoire de master, Réalisation d'une station météo connectée*. Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen- : s.n., 1 juillet 2019.
- [13]. MOUAIZ, HILAB. *MÉMOIRE DE MASTER, Réalisation d'une station météorologique à base d'Arduino UNO*. Université Mohamed Khider de Biskra : s.n., Dimanche 24 juin 2018.
- [14]. Prototype, groupe PPP. *Branchement et utilisation d'un écran LCD*. MiFobio : s.n., 2018.
- [15]. *Arduino pour bien commencer en électronique et en programmation ; Licence Créatives*. 4/08/2012 : s.n.
- [16]. Ismail, Ben khalfa. *Mémoire, Réalisation d'un système de contrôle autour de Raspberry Pi pour la domotique*. Soutenu le : 23 Juin 2018.

Annexe A: Programme Arduino

```
/*
Reading Two Barometric Pressure Sensor BMP180 and one barometric
pressure BMP 280 using Two MUX 74HC4052
Hardware connections:
using Arduino Uno :
SCL -> PIN A5
SDA -> PIN A4
GND -> 3.3 V
PIN 9 -> MUX1 PIN 10 with a pull down 10K resistor.
PIN 8 -> MUX2 PIN 9 with a pull down 10K resistor.
MUX1 PIN 6 , 7 , 8 ,9 is connected to GND.
MUX1 PIN 6 , 7 , 8 ,10 is connected to GND.
*/

#include <SFE_BMP180.h>
#include <Wire.h>
#include "typedef.h"
#include <Adafruit_Sensor.h> // include Adafruit sensor library
#include <Adafruit_BMP280.h> // include adafruit library for BMP280
sensor
#include <LiquidCrystal.h>

const int pini=4;
#define selctpin_pini 4// S1_MUX2
#define BMP280_I2C_ADDRESS 0x76
#define SELECT_PIN 3 //S0_MUX1
#define P1_ACTIVE digitalWrite(SELECT_PIN,HIGH); //delay(10);
#define P2_ACTIVE digitalWrite(SELECT_PIN,LOW); //delay(10);

//Initialise the LCD with the arduino. LiquidCrystal(Rs, enable, d4,
d5, d6, d7)
LiquidCrystal lcd(8, 9, 10, 11, 12, 13);

SFE_BMP180 bmp1,bmp2;
Adafruit_BMP280 bmp280 ;

boolean readSensors(Data *data1, Data *data2);
Data newData(char id)
{
    Data d ;
    d._id = id ;
    return d ;
}
void setup(){

    Serial.begin(9600L);
    lcd.begin(20, 4);

    pinMode(SELECT_PIN,OUTPUT);
    pinMode(pini,OUTPUT);
    /*****
digitalWrite(pini,HIGH);
    if (!bmp280.begin(0x76 )) { // 0x77 par dC) faut
```

Annexe A: Programme Arduino.

```
    Serial.println(F("Could not find a valid BMP280 sensor, check
wiring!"));
    while (1);}
//*****

boolean failed = false ;

    P1_ACTIVE

if(bmp1.begin()){
    Serial.println("BMP #1 init success.");
}
else
    failed = true ;

//*****

    P2_ACTIVE
if(bmp2.begin()){
    Serial.println("BMP #2 init success.");
}
else
    failed = true ;

if(failed){
    Serial.println("Error in BMP180 init.");
    while (1);
}

lcd.setCursor(3,1);
lcd.write("** STARTING **");
delay(2000);
lcd.clear();

}

void loop(){

    digitalWrite(pini,HIGH);
    delay(1000);

    float temperature = bmp280.readTemperature(); // get temperature
    float pressure    = bmp280.readPressure(); // get pressure

//*****

    Data d1 = newData('1');
    Data d2 = newData('2');
    boolean read = readSensors(&d1,&d2);

    if(read)
    {
        /* print the value to serial terminal */
        /* Pressure Sensor #1 value */
        // Print out the measurement:
        Serial.println("Sensor #1 Data:");
        Serial.print("temperature: ");
        Serial.print(d1._temp_value,3);
    }
}
```

Annexe A: Programme Arduino.

```
Serial.print(" deg C, ");
Serial.print("    ");

// Print out the measurement:
Serial.print("absolute pressure: ");
Serial.print(d1._pres_value,3);
Serial.print(" mbar, ");

Serial.println();
/* Pressure Sensor #2 value */
// Print out the measurement:
Serial.println("Sensor #2 Data:");
Serial.print("temperature: ");
Serial.print(d2._temp_value,3);
Serial.print(" deg C, ");
Serial.print("    ");

// Print out the measurement:
Serial.print("absolute pressure: ");
Serial.print(d2._pres_value,3);
Serial.print(" mbar, ");

//*****

double Patm= ((pressure/100)-1.2); // atmospheric pressure
double P1=(d1._pres_value-4.05); // pressure measurment in the
delivery pipe
double P2=(d2._pres_value); // pressure measurment in the intake pipe
double dp=(Patm-(d2._pres_value)); //delta P in mbar (intake pipe)
// y = -235,58x4 + 949,76x3 - 1440x2 + 1291,8x + 4,2408
double Qv= -235.58*pow((dp),4)+949.76*pow((dp),3)-
1440*pow((dp),2)+1291.8*(dp) + 4.2408;// air flow in m^3/h
double Dp=((d1._pres_value-4.05)-(d2._pres_value));
double Ppneu=(Qv*Dp/36);//Puissance pneumatique [Watt]
double Pelec=110;//Puissance C)lectrique [Watt]

//*****

Serial.println();
Serial.print("Delevery pipe Differantial pressure: ");
Serial.print(dp,3);
Serial.print("mbar");
Serial.print("    ");

Serial.print("Intake pipe Differntial pressure: ");
Serial.print(Dp,3);
Serial.print("mbar");
Serial.println();

Serial.print(" Flow :");
Serial.print(Qv,3);
Serial.print("m^3/h");
Serial.print("    ");

Serial.print("Patm    = ");
Serial.print(pressure/100);
```

Annexe A: Programme Arduino.

```
Serial.println(" mbar");

// print data on the serial monitor software
// print Temperature
Serial.print("Temperature = ");
Serial.print(temperature);
Serial.println(" B0C");

Serial.print("Puissance pneumatique= ");
Serial.print(Ppneu);
Serial.println(" Watt ");

//*****

lcd.setCursor(0,0);
lcd.write("P1="); //p2 - patm
lcd.print(P1);

lcd.setCursor(9,0);
lcd.write(" Q=");
lcd.print(Qv);

lcd.setCursor(0,1);
lcd.write("P2=");
lcd.print(P2);

lcd.setCursor(9,1);
lcd.write(" Dp=");
lcd.print(Dp);

lcd.setCursor(0,2);
lcd.write("Pa=");
lcd.print(Patm);

lcd.setCursor(9,2);
lcd.write(" T=");
lcd.print(temperature);

lcd.setCursor(0,3);
lcd.write("Ppn=");
lcd.print(Ppneu);

lcd.setCursor(9,3);
lcd.write("dp=");
lcd.print(dp);

//*****
delay (4000);
}
else
Serial.println("ERROR");

//delay(100);
}

boolean readSensors(Data *data1, Data *data2 )
```

Annexe A: Programme Arduino.

```
{
  char status1,status2 ;
  double T1 , T2 , P1 , P2;

  P1_ACTIVE /* make active 1 */
  status1 = bmp1.startTemperature();

  P2_ACTIVE /* make active 2 */
  status2 = bmp2.startTemperature();

  if (status1 != 0 && status2!=0 ){
    // Wait for the measurement to complete:
    delay(max(status1,status2));

    P1_ACTIVE /* make active 1*/
    status1 = bmp1.getTemperature(T1);

    P2_ACTIVE /* make active 2*/
    status2 = bmp2.getTemperature(T2);

    if(status1!=0 && status2!=0){
      /* save the temperature */
      data1->_temp_value = T1 ;
      data2->_temp_value = T2 ;

      P1_ACTIVE /* make active 1*/
      status1 = bmp1.startPressure(3);

      P2_ACTIVE /* make active 2*/
      status2 = bmp2.startPressure(3);

      if(status1!=0 && status2!=0){

        delay(max(status1,status2));

        P1_ACTIVE /* make active 1*/
        status1 = bmp1.getPressure(P1,T1);

        P2_ACTIVE /* make active 2*/
        status2 = bmp2.getPressure(P2,T2);

        if(status1!=0 && status2!=0){
          /* save pressure value */
          data1->_pres_value = P1 ;
          data2->_pres_value = P2 ;
          // delay(100);

          return true ;

        }
        else Serial.println("error reading pressure measurement\n");
      }
      else Serial.println("error starting pressure measurement\n");
    }
    else Serial.println("error reading temperature measurement\n");
  }
  else Serial.println("error starting temperature measurement\n");
}
```

```
return false ;
```

Annexe B : Tableau de TP :

N vitesse de rotation [tr/min]		700	600	500	400	300	200	100	0
N=2100	P_1 [mbar]								
	P_2 [mbar]								
	ΔP [mbar]								
	U [V]	217	217	216	216	216	216	215	215
	I [A]	0.42	0.41	0.40	0.39	0.37	0.36	0.36	0.35
	$P_{\acute{e}le}$ [W]								
	P_{pn} [W]								
	η [%]								
N=1800	P_1 [mbar]								
	P_2 [mbar]								
	ΔP [mbar]								
	U [V]		191	190	190	189	189	189	188
	I [A]		0.42	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36	0.36
	$P_{\acute{e}le}$ [W]								
	P_{pn} [W]								
	η [%]								
N=1500	P_1 [mbar]								
	P_2 [mbar]								
	ΔP [mbar]								
	U [V]			166	166	165	164	164	164
	I [A]			0.41	0.40	0.39	0.37	0.36	0.36
	$P_{\acute{e}le}$ [W]								
	P_{pn} [W]								
	η [%]								
N=1200	P_1 [mbar]								
	P_2 [mbar]								
	ΔP [mbar]								
	U [V]				150	150	150	150	149
	I [A]				0.38	0.37	0.36	0.36	0.35
	$P_{\acute{e}le}$ [W]								
	P_{pn} [W]								
	η [%]								

Annexe C : L'afficheur LCD.

