

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hassiba Benbouali de Chlef

Faculté de la Technologie

Département de Génie Mécanique



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN GÉNIE MÉCANIQUE

Spécialité : Maintenance Industrielle

Par

**KHELIL MOHAMMED
BELGUEBLI ELAID**

Thème :

Étude et conception d'une soufflerie subsonique

Encadré par :

Pr. KHELIL ALI

Année Universitaire 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Tout d'abord, nous souhaitons rendre grâce à Dieu Tout-Puissant pour nous avoir accordé la force, la sagesse et la persévérance nécessaires à l'accomplissement de ce travail. Sans sa bénédiction, ce projet n'aurait pas été possible.

Nous tenons également à remercier notre superviseur, M. Khelil Ali, Pour le temps qu'il lui a consacré et les précieuses informations qui nous sont fournies grâce à votre intérêt et votre compréhension.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Nous adressons également nos remerciements à nos familles et amis pour leur soutien moral et leur compréhension durant cette période exigeante.

Enfin, nous tenons à nous remercier mutuellement. BELGUEBLI ELAID, travailler avec toi sur ce mémoire a été une expérience des plus enrichissantes. Ta rigueur, ta créativité et ton dévouement ont été essentiels à la réussite de ce travail. Ton soutien et ta collaboration ont rendu cette tâche non seulement plus facile, mais aussi agréable et stimulante. Je suis reconnaissant pour tous les efforts que tu as investis et pour la patience dont tu as fait preuve.

Merci à tous pour votre précieuse contribution.

KHELIL MOHAMMED et BELGUEBLI ELAID

Dédicace

Ce mémoire est dédié à toutes les personnes qui ont rendu possible cette aventure académique.

À mes parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs encouragements constants. Votre foi en moi a été une source inépuisable de motivation.

À mes amis, pour leur compréhension et leurs encouragements tout au long de ce parcours. Merci pour les moments de détente et de réconfort qui ont équilibré les périodes de travail intense.

À mes professeurs et encadrants, pour leur guidance précieuse, leur expertise et leurs conseils avisés. Votre patience et votre dévouement ont été essentiels à la réalisation de ce travail.

Enfin, à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à ce projet par leur soutien moral, intellectuel ou matériel.

Merci à tous.

KHELIL Mohammed

Dédicace

Je dédie ce mémoire à tous ceux qui ont été une source d'inspiration et de soutien tout au long de mon parcours.

À mes parents, dont l'amour, la patience et le soutien inconditionnel m'ont donné la force de persévérer et d'atteindre cet objectif. Votre confiance en moi a été le pilier de ma réussite.

À ma famille, pour leur présence constante, leurs encouragements et leur compréhension durant les moments de doute et de stress. Merci pour vos mots d'encouragement et votre affection.

À mes amis, pour leur camaraderie, leurs encouragements et leur compréhension. Vous avez été un soutien précieux durant cette période exigeante et votre présence a rendu ce voyage plus agréable.

À mes professeurs et encadrants, pour leur guidance, leur expertise et leur disponibilité. Merci de m'avoir orienté et soutenu dans cette quête de savoir et de compréhension.

À tous ceux qui ont partagé cette aventure avec moi, directement ou indirectement, vos contributions ont été inestimables.

Avec toute ma gratitude,

BELGUEBLI Elaid

Liste des figures

Figure I.1 Modèle de soufflerie à circuit ouvert	5
Figure I.2 Modèle de soufflerie à circuit fermé	6
Figure I.3 Test en soufflerie sur un monoplace de type Formule 1 'automobile'	9
Figure I.4 Étude de l'effet du vent sur des panneaux solaires	9
Figure I.5 Exemples tests en soufflerie	10
Figure I.6 Exemples tests en soufflerie	11
Figure I.7 Rotor de la soufflerie du centre de recherche Glenn, NASA. Cleveland, OH	13
Figure I.8 Fonctionnement des souffleries à unité de stockage de pression	13
Figure I.9 Classification des souffleries	14
Figure I.10 le schéma des trois types des souffleries	16
Figure I.11 Circuit ouvert	17
Figure I.12 Circuit fermé	18
Figure II.1 Soufflerie aérodynamique	22
Figure II.2 Planche en bois MDF	23
Figure II.3 Plaque de plexiglass	23
Figure II.4 Convertisseur de fréquence	24
Figure II.5 Appareil multifonction	25
Figure II.6 Filtre	27
Figure II.7 Multimètre	28
Figure II.8 la configuration 1 «SG»	29
Figure II.9 la configuration 2 «AG »	30

Figure II.10 l'installation des fils de multimètre, convertisseur et moteur	30
Figure III.1 la distance entre les stations axial radial.....	32
Figure III.2 : Distribution axiale de la vitesse à $y=0$ pour la configuration AG (noir, rouge, bleu) et SG (vert, violet, jaune)	32
Figure III.3 : Distribution radiale de la vitesse à $x=0,4D$ pour la configuration AG (noir, rouge, bleu) et SG (vert, violet, jaune)	33
Figure III.4 : Distribution radiale de la vitesse à $x=0,81D$ pour la configuration AG (noir, rouge, bleu) et SG (vert, violet, jaune)	34
Figure III.5 : Distribution radiale de la vitesse à $x=1,21D$ pour la configuration AG (noir, rouge, bleu) et SG (vert, violet, jaune)	34
Figure III.6 : Distribution radiale de la vitesse à $x=1,62D$ pour la configuration AG (noir, rouge, bleu) et SG (vert, violet, jaune)	35
Figure III.7 : Distribution radiale de la vitesse à $x=2,03D$ pour la configuration AG (noir, rouge, bleu) et SG (vert, violet, jaune)	36
Figure III.8 : Distribution radiale de la vitesse à $x=2,43D$ pour la configuration AG (noir, rouge, bleu) et SG (vert, violet, jaune)	36
Figure III.9 : Distribution radiale de la vitesse à $x=2,84D$ pour la configuration AG (noir, rouge, bleu) et SG (vert, violet, jaune)	37
Figure III.10 : Distribution radiale de la vitesse à $x=3,24D$ pour la configuration AG (noir, rouge, bleu) et SG (vert, violet, jaune)	37
Figure III.11 : Distribution radiale de la vitesse à $x=3,65D$ pour la configuration AG (noir, rouge, bleu) et SG (vert, violet, jaune)	38

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les différents types de souffleries.....	18
Tableau II.1 : Les caractéristiques de moteur.....	22

Nomenclature

P : Puissance du moteur [w].

C : Couple en [N.m].

U : vitesse maximale de chaque configuration pour une fréquence donnée [m/s].

u : vitesse axiale [m/s].

x : composant axial [m].

y : composant radial [m].

N : fréquence [Hz].

v : vitesse radiale [m/s].

V : Vitesse de l'objet [m/s]

a : la vitesse de de propagation [m/s].

Ma : nombre de mach

Résumé

Dans le cadre du projet de réalisation d'une soufflerie au sein de la faculté de technologie de Chlef, ce projet constitue l'étape de validation et d'amélioration d'avant-projet pour passer à la réalisation. Il vient pour compléter et améliorer la conception d'une soufflerie subsonique. L'objectif de ce mémoire est de concevoir et réaliser d'une soufflerie aérodynamique subsonique à faible vitesse pour des applications pédagogiques qui soit conforme à toutes les normes de similitudes afin de se rapprocher le plus possible aux conditions réelles. Après la réalisation, des tests de performances seront appliqués pour évaluer l'efficacité de ce produit, pour cela des profils et des maquettes à échelles réduites sont confectionnées à partir des principes de dimensionnement adapté à ceux de la soufflerie afin de faire l'objet de ces tests d'une part et donner une vision globale et simplifiée des phénomènes aérodynamique d'une autre part. Les résultats obtenus sont comparés avec les résultats numériques ainsi de la littérature scientifique spécialisée.

Abstract

As part of the project to create a wind tunnel within the Chlef faculty of technology, this project constitutes the stage of validation and improvement of the preliminary project to move on to implementation. It completes and improves the design of a subsonic wind tunnel. The objective of this dissertation is to design and produce a low-speed subsonic aerodynamic wind tunnel for educational applications which complies with all similarity standards in order to come as close as possible to real conditions. After production, performance tests will be applied to evaluate the effectiveness of this product; for this, profiles and reduced-scale models are made using sizing principles adapted to those of the wind tunnel in order to be the subject of these tests on the one hand and give a global and simplified vision of aerodynamic phenomena on the other hand. The results obtained are compared with the numerical results as well as the specialized scientific literature.

ملخص

في إطار مشروع إنشاء نفق الرياح داخل كلية التكنولوجيا بالشلف، يشكل هذا المشروع مرحلة التحقق من المشروع الأولي وتحسينه للانتقال إلى التنفيذ. إنه يكمل ويحسن تصميم نفق الرياح دون سرعة الصوت. الهدف من هذه الأطروحة هو تصميم وإنتاج نفق هوائي ديناميكي دون سرعة الصوت منخفض السرعة للتطبيقات التعليمية والذي يتوافق مع جميع معايير التشابه من أجل الاقتراب قدر الإمكان من الظروف الحقيقية. بعد الإنتاج، سيتم تطبيق اختبارات الأداء لتقييم فعالية هذا المنتج؛ ولهذا السبب، يتم تصنيع التشكيلات الجانبية والنماذج ذات الحجم الصغير باستخدام مبادئ التحجيم التي تتكيف

مع تلك الخاصة بنفق الرياح من أجل أن تكون موضوع هذه الاختبارات من ناحية. وإعطاء رؤية عالمية ومبسطة للظواهر
النتائج العددية وكذلك الأدبيات العلمية الهوائية من ناحية أخرى. وتمت مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع
المتخصصة.

Introduction générale

L'aérodynamique, en tant que discipline scientifique, a joué un rôle central dans l'évolution des domaines aérospatial et automobile. Comprendre et maîtriser les forces en jeu lors de l'interaction d'objets avec un écoulement d'air est essentiel pour concevoir des véhicules plus efficaces, plus sûrs et plus performants. Au cœur de cette compréhension se trouvent les souffleries subsoniques, des installations qui simulent les conditions atmosphériques afin de permettre des expérimentations contrôlées. Cependant, malgré les progrès significatifs réalisés dans le domaine, des défis subsistent quant à l'optimisation de ces souffleries pour des études plus précises et plus diversifiées.

La nécessité d'une recherche approfondie sur les souffleries subsoniques découle de l'évolution constante des exigences technologiques. Les innovations dans l'aéronautique, l'industrie automobile, et d'autres secteurs requièrent une compréhension plus fine des phénomènes aérodynamiques. En outre, la pression croissante pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire les émissions a conduit à une demande accrue de solutions novatrices dans le domaine de la dynamique des fluides.

Cette thèse se fixe pour objectif principal d'approfondir notre compréhension des souffleries subsoniques en mettant l'accent sur la conception et l'étude de leur fonctionnement. Les objectifs spécifiques incluent l'optimisation des paramètres de conception. En réalisant ces objectifs, nous aspirons à contribuer significativement à l'avancement des connaissances dans le domaine de l'aérodynamique expérimentale.

Les résultats de cette recherche auront des implications directes dans des secteurs cruciaux tels que l'industrie aérospatiale, l'ingénierie automobile, et la conception de structures exposées à des écoulements d'air. Une soufflerie subsonique optimisée non seulement améliorera la précision des essais aérodynamiques, mais favorisera également le développement de solutions novatrices et durables pour les défis contemporains liés à la propulsion et à l'aérodynamique.

Ce mémoire est structuré de manière à suivre une progression logique de la revue de la littérature à la méthodologie, de la conception à la construction, des tests aux discussions des résultats. Chaque chapitre est conçu pour aborder des aspects spécifiques de la problématique, visant à apporter des contributions tangibles à la compréhension globale des souffleries subsoniques.

Introduction générale

En résumé, ce mémoire s'engage à repousser les frontières de la connaissance dans le domaine des souffleries subsoniques, en proposant des solutions novatrices pour la conception, l'exploitation et l'amélioration continue de ces installations cruciales dans le domaine de l'aérodynamique expérimentale.

Chapitre I

Généralités sur la soufflerie subsonique

I.1 Introduction

Une soufflerie est un dispositif utilisé pour étudier le comportement des fluides, en particulier l'écoulement de l'air autour des objets. Elle permet de simuler et de contrôler les conditions aérodynamiques afin de mieux comprendre les forces, les pressions et les interactions entre l'air et les objets. Dans une soufflerie, un flux d'air est généré et accéléré à des vitesses contrôlées, ce qui permet d'observer et de mesurer les effets aérodynamiques sur les modèles d'objets. Cela peut inclure des tests sur des avions, des voitures, des bâtiments et bien d'autres applications. Les souffleries sont des outils essentiels dans de nombreux domaines, notamment l'aéronautique, l'automobile, l'architecture et la recherche scientifique. Elles permettent de tester et de valider les performances des prototypes, d'améliorer les designs et de développer de nouvelles technologies.

I.2 Historique

L'histoire des souffleries subsoniques remonte au début du 20e siècle, et elles ont évolué considérablement au fil des décennies pour devenir des outils essentiels dans le domaine de l'aérodynamique et de la recherche aérospatiale. Voici une brève rétrospective historique :

1. Débuts (1900-1930) :

- Les premières expériences aérodynamiques ont été réalisées à la fin du 19e siècle, mais les premières souffleries subsoniques n'ont émergé qu'au début du 20e siècle.
- Les pionniers tels que les frères Wright ont utilisé des tunnels à vent rudimentaires pour tester leurs conceptions d'aéronefs.
- En 1909, le physicien allemand Gustav Eiffel a construit une soufflerie à Paris pour étudier le comportement aérodynamique.

2. Évolution au cours des années 1930-1940 :

- L'avancement de l'aviation a stimulé la demande de souffleries plus sophistiquées.
- Le National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) aux États-Unis a joué un rôle majeur dans le développement des souffleries.
- Les souffleries de NACA ont contribué à la compréhension de la traînée, de la portance, et d'autres aspects cruciaux de l'aérodynamique.

3. Seconde Guerre mondiale (1940-1945) :

- La Seconde Guerre mondiale a accentué la nécessité de comprendre les performances aérodynamiques des avions militaires.

- Des souffleries subsoniques avancées ont été utilisées pour améliorer l'efficacité des avions de chasse et des bombardiers.

4. Période de Guerre Froide (1945-1990) :

- La Guerre Froide a vu un investissement massif dans la recherche aérospatiale.
- Des souffleries subsoniques de plus grande envergure ont été construites pour répondre aux besoins de l'industrie aérospatiale et de la défense.
- Des avancées dans les technologies de mesure et de simulation ont contribué à améliorer la précision des essais.

5. L'Ère Moderne (1990 à Aujourd'hui) :

- Les souffleries subsoniques continuent d'évoluer avec l'introduction de technologies informatiques et de modélisation numérique.
- Les souffleries climatiques sont développées pour simuler des conditions environnementales réalistes.

Aujourd'hui, les souffleries subsoniques jouent un rôle clé dans le développement des aéronefs, des véhicules automobiles, des structures architecturales, et d'autres domaines nécessitant une compréhension approfondie de la dynamique des fluides. Les avancées continues dans les technologies de mesure et de simulation garantissent que les souffleries restent des outils indispensables pour la conception et l'optimisation de divers produits.

I.3 Définition de la soufflerie

Une soufflerie est une installation d'essais utilisée en aérodynamique pour étudier les effets d'un écoulement d'air sur un corps, généralement un modèle de dimension réduite par rapport au réel. On peut effectuer dans une soufflerie des mesures, par exemple d'efforts, et des visualisations d'écoulement le plus souvent impossibles à faire dans les conditions réelles de déplacement. Il existe plusieurs centaines de souffleries dans le monde, dont le plus grand nombre sont aux États-Unis.

Une soufflerie désigne aussi un simulateur de chute libre. Dans ce cas l'écoulement d'air est dirigé vers le haut.

I.4 Les types des souffleries

Il existe deux types principaux de souffleries, les souffleries à circuit ouvert et les souffleries à circuit fermé. Chacun de ces types comporte une infinité de configurations qui fait que

presque chaque soufflerie qui existe dans le monde est unique. L'air qui circule dans une soufflerie à circuit ouvert (figure I.1) suit une trajectoire qui est grand partie rectiligne de l'entrée et à travers une contraction en passant par la section d'essais suivi par un diffuseur, une section pour ventilateur et en fin une sortie d'échappement. La soufflerie peut avoir une section d'essais sans parois solides (on parle là d'une soufflerie "Open Jet" ou de type "Eiffel") ou une section d'essais avec parois solides (on parle dans ce cas d'une soufflerie "Closed Jet")



Figure I.1 Modèle de soufflerie à circuit ouvert.

D'autre part, l'air dans une soufflerie à circuit fermé (aussi connue sous l'appellation "de type Prandtl" ou "Göttingen") (figure I.2) est ré-circulé de manière continue avec peu voir aucun échange avec le milieu extérieur.



Figure I.2 Modèle de soufflerie à circuit fermé.

Là encore, les souffleries à circuit fermé peuvent disposer d'une section d'essais à parois solides ou sans parois. La majorité des souffleries à circuit fermé ont un seul retour, néanmoins des souffleries avec un retour double ont déjà été construites. Des souffleries ont été construites pouvant être interchangeable en circuit fermé et circuit ouvert pour des programmes spécifiques [1].

I.4.1 Avantages et inconvénients de chaque type

Comme dans tout autre problème d'ingénierie, il existe des avantages et des inconvénients avec chaque type de soufflerie. En général, le choix du type de soufflerie se fait sur la base des objectifs et des fonds mis à disposition pour le projet en question.

- **Souffleries à circuit ouvert**

Ici sont cités les avantages et les inconvénients des souffleries à circuit ouvert [2]:

Avantages:

1. Coûts de construction moins élevés.
2. Le problème d'évacuation de fumée, lors d'essai de refroidissement de moteur à combustion interne par exemple, ne se pose dans ce cas du fait que l'entrée et la sortie sont ouvertes à l'atmosphère.

Inconvénients:

1. Si la soufflerie se trouve à l'intérieur d'un laboratoire/atelier fermé, l'application de plusieurs écrans doit être envisagée (selon la proportion de la taille de la soufflerie à la taille de l'endroit où elle se trouve) pour aboutir à des écoulements de qualité élevée.
2. En fonction du flux souhaité, les souffleries à circuit nécessitent plus d'énergie pour fonctionner. Ceci est un facteur à prendre en compte si la soufflerie sera utilisée dans des projets où elle travaillera à plein temps.
3. La plus part du temps, les souffleries à circuit ouvert produisent beaucoup de bruit. Les grandes souffleries (Souffleries dont la section d'essais est plus large que 6.5m² [2]) peuvent causer des problèmes de pollution sonore ce qui peut influencer/limiter temps d'opération et/ou nécessite d'investir dans un système de réduction de bruit.

Grace aux couts initiaux réduits, les souffleries à circuit ouvert sont idéales pour les écoles et les universités où une telle installation est indispensable pour des travaux pratiques et de recherche et où le temps d'emploi n'est pas long.

- **Souffleries à circuit fermé**

Ici sont cités les avantages et les inconvénients des souffleries à circuit ouvert [2]:

Avantages

1. Grace à l'utilisation des écrans et des vannes de redressement dans les coins, la qualité de l'air qui s'écoule peut être mieux contrôlée et sera d'autant plus indépendante des activités de l'atelier et du climat extérieur.
2. L'énergie requise pour une certaine section et/ou vitesse est faible comparée à une soufflerie à circuit ouvert, ceci s'avère important lorsque la soufflerie est utilisé dans des expériences où elle fonctionne à longueur de jour.
3. Moins de bruit est produit lors du fonctionnement de la soufflerie.

Inconvénients

1. Les coûts de construction sont nettement plus élevés à cause du conduit de retour et des vannes de redressement additionnels.

2. SI la soufflerie est utilisée dans des tests où un modèle produisant de la fumée est étudié (comme le refroidissement des moteurs à combustion interne), un système d'évacuation de fumée doit être mis en place.

3. Si la soufflerie est utilisée durant de longues périodes, un système de refroidissement tel qu'un échangeur de chaleur pourrait être nécessaire pour contrôler la température de l'air qui circule à l'intérieur

I.5 Objectifs de la soufflerie

I.5.1. Étudier l'aérodynamique :

La soufflerie permet de comprendre et d'analyser les forces, les pressions et les interactions entre l'air et les objets. Cela aide à concevoir des formes plus aérodynamiques pour améliorer l'efficacité et les performances des véhicules, des avions, des bâtiments, etc.

I.5.2. Tester les prototypes:

La soufflerie permet de tester les prototypes de manière contrôlée et reproductible. Cela permet de valider les performances des objets dans des conditions réelles ou spécifiques, avant leur mise en production.

I.5.3. Optimiser les designs :

En utilisant la soufflerie, les ingénieurs peuvent tester différentes configurations, formes et matériaux pour optimiser les designs. Cela permet de réduire la traînée, d'augmenter l'efficacité énergétique et d'améliorer les performances globales des objets.

I.5.4. Développer de nouvelles technologies :

Les souffleries sont également utilisées pour développer de nouvelles technologies aérodynamiques. Cela peut inclure des recherches sur les énergies renouvelables, les véhicules électriques, les drones, etc.

En résumé, les objectifs de la soufflerie sont de mieux comprendre l'aérodynamique, de tester les prototypes, d'optimiser les designs et de développer de nouvelles technologies.

I.6 Les utilisateurs de la soufflerie

Les utilisateurs de la soufflerie sont généralement des ingénieurs, des chercheurs, des concepteurs et des scientifiques qui travaillent dans des domaines tels que l'aéronautique,

l'automobile, l'énergie solaire, et d'autres industries liées à l'aérodynamique. Ils utilisent la soufflerie pour mener des études, des tests et des recherches sur les propriétés aérodynamiques des objets.



Figure I.3 Test en soufflerie sur un monoplace de type Formule 1 'automobile' [3].



Figure I.4 Étude de l'effet du vent sur des panneaux solaires [3].

I.7 Les tests en soufflerie

Voici quelques-uns des tests couramment réalisés en soufflerie sont :

1. Tests de traînée : Ces tests permettent de mesurer la résistance à l'écoulement de l'air sur un objet.

2. Tests de portance : Ces tests évaluent la force de portance générée par un objet, comme une aile d'avion. Ils aident à optimiser la conception des profils aérodynamiques.

3. Tests de turbulence : Ces tests étudient les effets de la turbulence de l'air sur les objets. Ils aident à améliorer la stabilité et la tenue de route des véhicules.

4. Tests de bruit : Ces tests évaluent le niveau de bruit généré par un objet en mouvement. Ils aident à réduire le bruit aérodynamique des véhicules et des avions.

5. Tests de refroidissement : Ces tests évaluent l'efficacité du refroidissement d'un objet, comme un moteur de voiture. Ils aident à concevoir des systèmes de refroidissement plus efficaces.

6. Tests de turbulence d'écoulement : Ces tests étudient les effets de la turbulence de l'air sur les objets en mouvement. Ils aident à améliorer la stabilité et la sécurité des véhicules.

Ce ne sont que quelques exemples parmi de nombreux autres tests réalisés en soufflerie.



Figure I.5 Exemples tests en soufflerie [4].



Figure I.6 Exemples tests en soufflerie [5].

I.7.1 Les avantages et inconvénients des tests en soufflerie

Les tests en soufflerie présentent à la fois des avantages et des inconvénients. Voici quelques-uns :

Avantages

- 1. Précision** : Les tests en soufflerie permettent d'obtenir des mesures précises des performances aérodynamiques d'un objet, ce qui est essentiel pour optimiser sa conception.
- 2. Contrôle expérimental** : En utilisant une soufflerie, les conditions de test peuvent être contrôlées et reproduites de manière précise, ce qui facilite la comparaison des résultats et l'analyse des données.
- 3. Sécurité** : Les tests en soufflerie permettent de simuler des conditions réelles sans mettre en danger des personnes ou des équipements coûteux. Cela contribue à assurer la sécurité des tests.

Inconvénients

- 1. Coût** : La construction et l'entretien d'une soufflerie peuvent être coûteux. De plus, les tests en soufflerie nécessitent souvent des équipements spécialisés et du personnel qualifié, ce qui peut augmenter les coûts.
- 2. Limitations de taille** : Les dimensions de la soufflerie peuvent limiter la taille des objets testés. Les tests en soufflerie sont plus adaptés aux objets de taille moyenne à petite.

3. Limitations environnementales : Les conditions de test en soufflerie peuvent différer des conditions réelles, notamment en ce qui concerne les effets atmosphériques tels que les turbulences ou les variations de température.

Ce ne sont que quelques-uns des avantages et inconvénients des tests en soufflerie. Il est important de prendre en compte ces facteurs lors de la planification des tests aérodynamiques.

I.7.2 Les conditions de l'essai en soufflerie

Voici les conditions d'essai ou de tests en soufflerie :

- ✓ La taille de la maquette utilisée est importante car elle doit être proportionnelle à l'objet réel afin de reproduire fidèlement les effets aérodynamiques. Une maquette trop petite ou trop grande pourrait fausser les résultats de l'essai.
- ✓ Du support de la maquette qui risque de perturber l'essai.
- ✓ De la qualité de l'écoulement arrivant sur la maquette qui doit être exempt de perturbations.
- ✓ Du réalisme de certains essais. Par exemple si on veut mesurer l'effet de sol d'une voiture, il suffit de poser la maquette sur une plaque fixe ? Si on fait cela, la « route » ne bouge pas et l'essai est différent de la réalité [6].

I.8 Critères de classification des souffleries aérodynamique

Nous avons discuté précédemment qu'il existe deux types de souffleries: les souffleries à circuit ouvert et les souffleries à circuit fermé. Chacun de ces deux types peut comporter une section d'essais à parois solides ou être sans parois. Cependant la distinction entre les souffleries ne s'arrête pas ici, en effet, il existe d'autres paramètres pour classer les souffleries, à savoir, le mode d'opération et le nombre de Mach.

I.8.1 Selon le mode d'opération

Ici on parle du système utilisé pour entrainer l'air en mouvement, deux classes principales sont utilisées: Les souffleries à rotor et les souffleries à unité de stockage de pression.

Les souffleries à rotor

Les souffleries à rotor sont le type le plus utilisé en pratique. Ce mode d'emploi est basé sur la rotation d'un ventilateur placé sur moteur généralement électrique. L'air est mis en circulation par le mouvement des aubes du ventilateur qui créent une différence de pression.



Figure I.7 Rotor de la soufflerie du centre de recherche Glenn, NASA. Cleveland, OH.

Les souffleries à unité de stockage de pression

Les souffleries à unité de stockage de pression ont vu le jour avec la deuxième guerre mondiale [7], époque durant laquelle les avions supersoniques étaient au centre d'intérêt des nations, ce qui fait que la réalisation d'installations de tests pour assurer la sécurité de ces engins était en hausse. La réalisation de tunnels supersoniques nécessita une énergie énorme ce qui a donné naissance aux unités de stockage qui garde l'air sous pression avant l'ouverture d'une vanne pour lancer l'écoulement. La figure I.6 illustre le fonctionnement de ce type de soufflerie

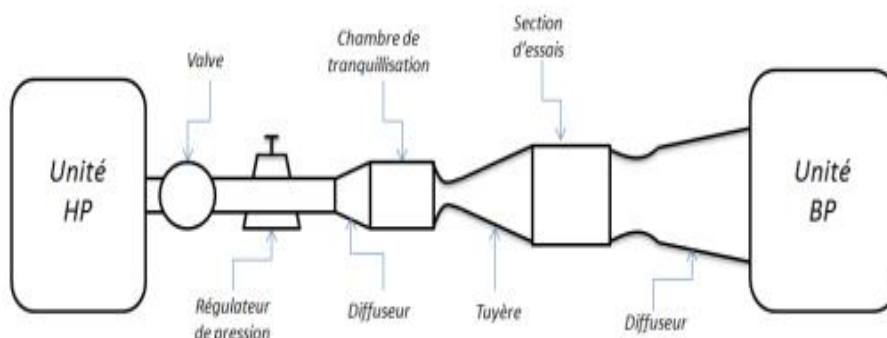


Figure I.8 Fonctionnement des souffleries à unité de stockage de pression.

✚ schéma générale

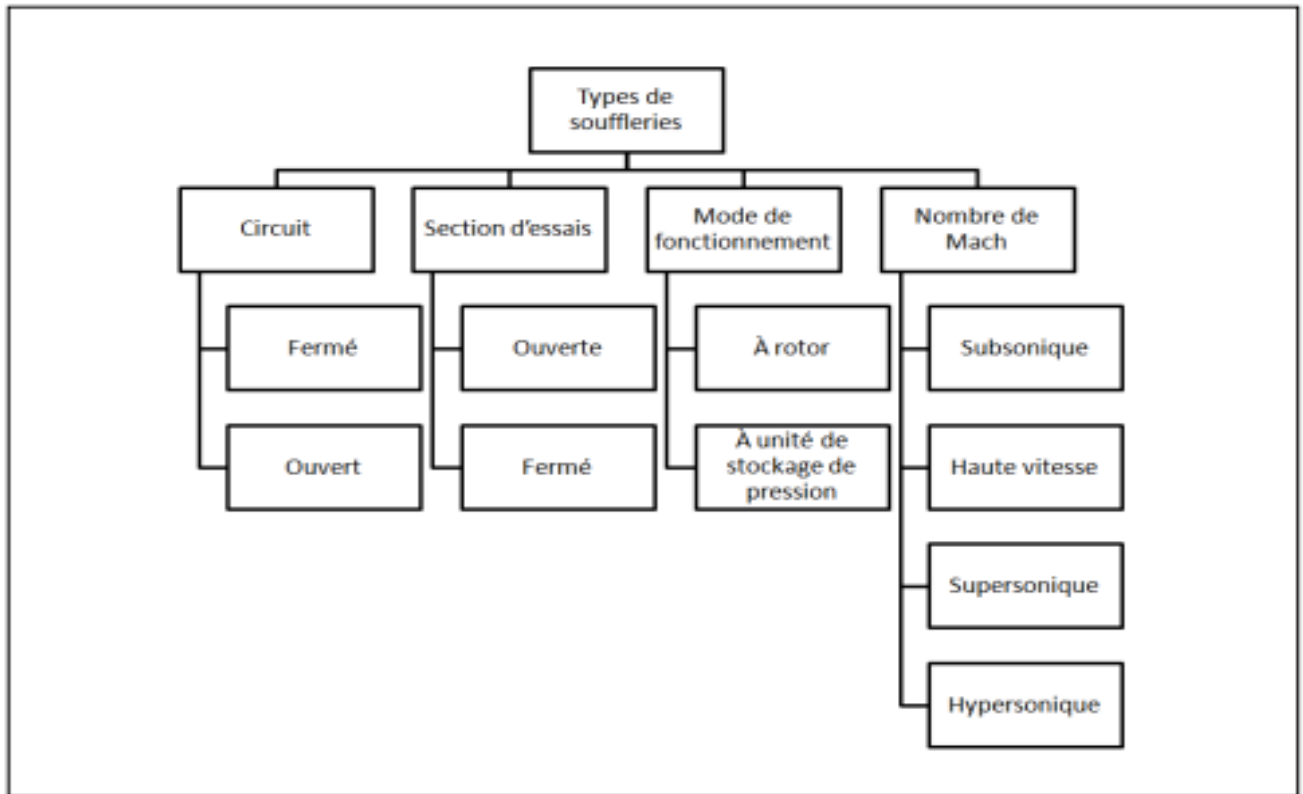


Figure I.9 Classification des souffleries [3].

Les souffleries aérodynamiques peuvent être classées en fonction de plusieurs critères, en prenant en compte différents aspects de leur conception et de leurs caractéristiques. Voici quelques-uns des critères de classification courants :

I.8.2 Nombre de mach: Le nombre de Mach mesure le rapport entre les forces liées au mouvement et la compressibilité du fluide. $Ma = \frac{V}{a}$

Ma: est le nombre de Mach.

V : est la vitesse de l'objet (par rapport à son environnement).

a : est la vitesse de propagation ou célérité du son dans l'environnement considéré. Elle représente la vitesse de propagation de tout ébranlement produit dans le milieu.

- **Subsonique** : Vitesses inférieures à la vitesse du son.
- **Transsonique** : Vitesses proches de la vitesse du son.
- **Supersonique** : Vitesses supérieures à la vitesse du son.
- **Hypersonique** : Vitesses beaucoup plus élevées que la vitesse du son.

I.8.3 La nature des parois dans la section de travail

➤ Soufflerie à Veine Libre

- Dans une soufflerie à veine libre, l'écoulement d'air n'est pas confiné par des parois spécifiques le long de la section d'essai.
- L'air circule librement autour du modèle testé sans être canalisé par des parois.
- Ce type de soufflerie est souvent utilisé pour des modèles de taille réduite où l'interaction avec l'environnement extérieur est limitée.

Avantages

1. Simplicité et coût potentiellement plus bas.
2. Interaction avec l'environnement extérieur.

Inconvénients

1. Difficulté à contrôler l'écoulement de manière précise.
2. Risque d'interférences extérieures non souhaitées.

➤ Soufflerie à Veine Guidée

- Dans une soufflerie à veine guidée, des parois spécifiques, telles que des parois latérales et un plafond, guident l'écoulement d'air autour du modèle testé.
- Ces parois aident à créer un écoulement plus uniforme et contrôlé, en minimisant les interférences extérieures.
- La veine guidée permet de mieux simuler des conditions aérodynamiques plus proches de celles rencontrées dans des environnements spécifiques.

Avantages

1. Contrôle amélioré de l'écoulement, permettant des tests plus précis.
2. Réduction des interférences extérieures.

Inconvénients

1. Coût potentiellement plus élevé en raison de la nécessité de parois spécifiques.
2. Moins d'interaction avec l'environnement réel.

➤ Soufflerie Semi-guidée

- Une soufflerie semi-guidée combine des éléments des souffleries à veine libre et à veine guidée.
- Certaines parois peuvent être présentes pour guider partiellement l'écoulement, mais l'environnement peut ne pas être complètement confiné.
- Cela offre un compromis entre les avantages des deux approches en termes de contrôle de l'écoulement et de réalisme par rapport à l'environnement extérieur.

Avantages

1. Un compromis entre contrôle d'écoulement et interaction avec l'environnement.
2. Coût potentiellement intermédiaire.

Inconvénients

1. Moins de contrôle d'écoulement par rapport à une veine complètement guidée.
2. Certains risques d'interférences extérieures.

Voilà le schéma des trois types des souffleries :



Figure I.10 le schéma des trois types des souffleries [4].

I.8.4 Le mode de fonctionnement des souffleries

Les souffleries peuvent être classées en deux catégories principales en fonction de leur mode de fonctionnement : continu (ou en circuit ouvert) et discontinu (ou en circuit fermé). Ces termes font référence à la manière dont l'air est manipulé à l'intérieur de la soufflerie, notamment s'il est évacué dans l'atmosphère (continu) ou s'il est recyclé à l'intérieur du circuit fermé (discontinu). Voici une explication détaillée pour chaque mode de fonctionnement :

Soufflerie Continue (Circuit Ouvert)

Les souffleries continues à circuit ouvert sont des installations où l'air est aspiré de l'extérieur, accéléré à travers la section d'essai, puis rejeté à l'extérieur.

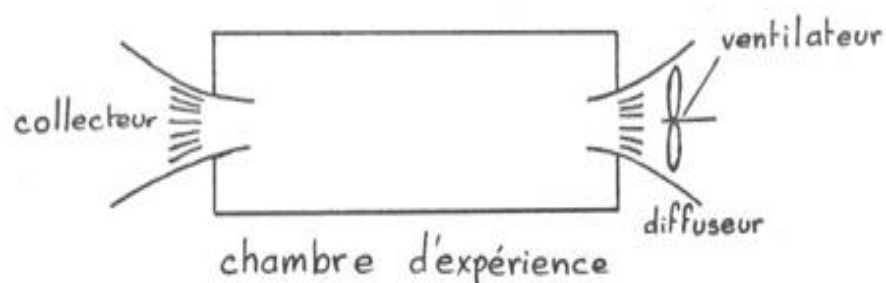


Figure I.11 Circuit ouvert [8].

Fonctionnement

1. Dans une soufflerie continue, l'air est aspiré par un ventilateur ou un compresseur à l'entrée de la soufflerie.
2. L'air traverse ensuite la section d'essai où se trouve le modèle à tester.
3. Après avoir interagi avec le modèle, l'air est évacué dans l'atmosphère à la sortie de la soufflerie.

Caractéristiques

1. Utilisée pour des tests aérodynamiques à court terme.
2. Convient aux essais qui n'exigent pas de continuité dans l'écoulement d'air.

➤ Soufflerie Discontinue (Circuit Fermé)

La plupart des souffleries modernes sont de ce type. Toutefois, le fait d'utiliser l'air en circuit fermé apporte un inconvénient; en effet, l'air s'échauffe pour des vitesses élevées, ce qui oblige à utiliser des réfrigérants afin d'obtenir des températures constantes [9].

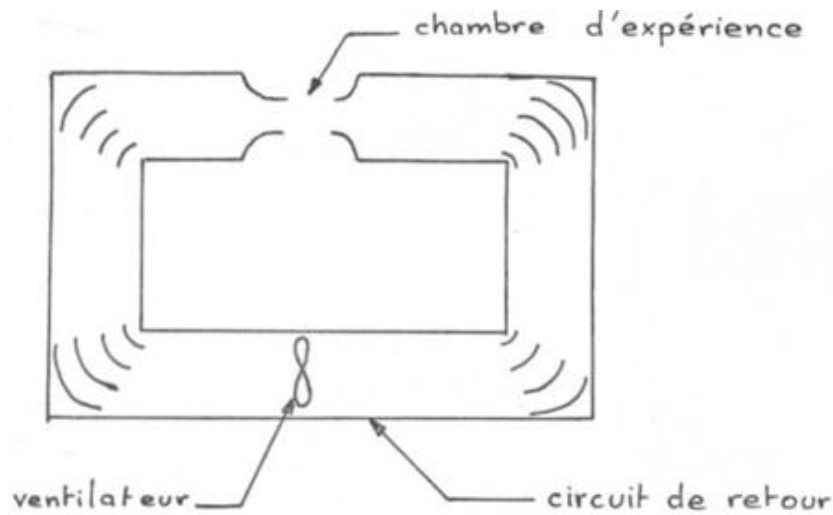


Figure I.12 Circuit fermé.

Fonctionnement

1. Dans une soufflerie discontinue, l'air est également aspiré par un ventilateur ou un compresseur à l'entrée de la soufflerie.
2. Cependant, au lieu d'évacuer l'air dans l'atmosphère après les tests, il est recyclé à l'intérieur du circuit fermé.
3. Cela permet des tests plus prolongés sans interruption.

Caractéristiques

1. Convient aux tests nécessitant une continuité dans l'écoulement d'air.
2. Permet des tests à long terme avec des conditions d'écoulement stables.

Voici un tableau expliquant les différents types de souffleries :

Type de soufflerie	Description	Applications typiques
Soufflerie à veine libre [9]	Dans une soufflerie à veine libre, le flux d'air n'est pas confiné par des parois latérales. L'air circule librement et le flux est généralement contrôlé par la forme des entrées et des sorties d'air.	Études de phénomènes aérodynamiques à grande échelle, tests de véhicules ou d'objets en conditions de vent naturel.
Soufflerie à veine guidée [10]	Une soufflerie à veine guidée	Test en aérodynamique

	utilise des parois latérales pour confiner et diriger le flux d'air. Le contrôle du flux est plus précis grâce à ces parois, ce qui permet de reproduire des conditions de test spécifiques.	automobile, aéronautique et maritime, recherche et développement en aérodynamique.
Soufflerie semi-guidée [11]	Une soufflerie semi-guidée combine des éléments de veine libre et de veine guidée. Les parois ne sont présentes que sur certaines parties de la veine d'air, permettant un certain contrôle du flux tout en laissant une partie de l'air circuler librement.	Études intermédiaires où une certaine flexibilité est nécessaire, telles que les essais de prototypes ou les expériences avec des configurations variées.
Soufflerie continue [12]	Dans une soufflerie continue, l'air circule sans interruption. Cela permet des essais prolongés et continus sur les modèles testés, assurant une grande stabilité et constance dans les conditions de flux.	Recherche fondamentale, essais de longue durée sur la performance aérodynamique, optimisation de conceptions pour réduire la traînée ou améliorer les caractéristiques de vol.
Soufflerie discontinue [13]	Une soufflerie discontinue fonctionne par intermittence, créant des flux d'air pulsés ou en séquence. Ce type de soufflerie est utilisé pour des tests spécifiques où des conditions de flux variables et transitoires sont nécessaires.	Études de phénomènes transitoires et instationnaires, simulations de rafales de vent, tests d'impact et d'oscillations aéroélastiques.

Tableau I.1 Les différents types de souffleries.

Ces types de souffleries permettent de tester différents aspects de l'aérodynamique selon les besoins spécifiques des études ou des essais en cours.

Conclusion :

Ce premier chapitre a fourni une vue d'ensemble des souffleries subsoniques, couvrant leur définition, les types disponibles, et leurs objectifs. Nous avons identifié les principaux utilisateurs et examiné les tests effectués, avec leurs avantages et inconvénients. Les conditions d'essai et les critères de classification ont également été abordés. Cette base générale servira à approfondir les aspects techniques dans les chapitres suivants, soulignant l'importance des souffleries pour les performances aérodynamiques.

Chapitre II

Conception et Réalisation d'une Maquette de Soufflerie Subsonique

I.1 Introduction

La réalisation et la conception d'une maquette de soufflerie subsonique représentent une étape cruciale dans le processus de développement des installations expérimentales pour l'aérodynamisme. Les souffleries subsoniques sont des équipements essentiels utilisés dans divers domaines de recherche, tels que l'aérospatiale, l'ingénierie automobile, et la conception des bâtiments. Ces installations permettent de simuler les conditions de vol ou d'écoulement d'air autour d'objets à des vitesses inférieures à la vitesse du son. La conception et la réalisation d'une maquette de soufflerie subsonique exigent une compréhension approfondie des principes aérodynamiques, ainsi qu'une expertise en ingénierie mécanique et électrique.

Ce chapitre se concentrera sur les différentes étapes impliquées dans la réalisation et la conception d'une maquette de soufflerie subsonique, en mettant l'accent sur les aspects techniques, les considérations de sécurité, et les défis rencontrés lors du processus. Nous examinerons également les composants clés de la maquette, tels que le compresseur, la chambre de test, les sections de confinement, et les systèmes de contrôle et d'instrumentation. En outre, nous aborderons les méthodes de fabrication, les matériaux utilisés, ainsi que les techniques de calibration et de validation nécessaires pour assurer la précision et la fiabilité des résultats expérimentaux.

La réalisation et la conception d'une maquette de soufflerie subsonique requièrent une approche multidisciplinaire, impliquant des experts en mécanique des fluides, en ingénierie électrique, en matériaux, et en conception mécanique. Ce chapitre vise à fournir un aperçu détaillé de ce processus complexe, en soulignant les meilleures pratiques, les innovations récentes, et les défis potentiels auxquels les chercheurs et les ingénieurs peuvent être confrontés. En comprenant les principes fondamentaux et en maîtrisant les techniques de conception et de réalisation, les professionnels peuvent développer des maquettes de soufflerie subsonique hautement performantes, contribuant ainsi à l'avancement de la recherche en aérodynamique et en ingénierie.

II.2 Principes de conception d'une maquette de soufflerie subsonique

Les principes de conception d'une maquette de soufflerie subsonique reposent sur plusieurs aspects clés qui visent à garantir la précision des expériences et la sécurité des opérations. Voici les principaux principes à considérer :

- **Objectifs de recherche** : Avant de concevoir la maquette, il est crucial de définir clairement les objectifs de recherche et les conditions d'essai requises. Cela inclut la vitesse de l'écoulement, les dimensions des modèles à tester, les paramètres à mesurer, et les résultats attendus.
- **Échelle et dimensionnement** : La maquette doit être dimensionnée de manière appropriée pour reproduire les phénomènes d'écoulement à l'échelle souhaitée. Cela implique de choisir la taille et les proportions des composants de la soufflerie en fonction des caractéristiques de l'écoulement à simuler.

- **Sélection des composants** : Choisir les bons composants, tels que le compresseur, les conduits, les chambres de test, et les systèmes de contrôle, est essentiel pour assurer le bon fonctionnement de la soufflerie et la qualité des résultats expérimentaux.
- **Distribution d'écoulement** : Concevoir la maquette de manière à obtenir une distribution d'écoulement uniforme et stable dans la chambre de test est crucial pour des résultats précis et reproductibles. Cela implique la conception de conduits de confinement, de diffuseurs, et d'autres dispositifs pour minimiser les perturbations de l'écoulement.
- **Contrôle et instrumentation** : Intégrer des systèmes de contrôle et d'instrumentation précis permet de surveiller et de réguler les conditions d'essai, ainsi que de collecter des données pertinentes pour l'analyse ultérieure. Cela inclut des capteurs de pression, des sondes de température, des systèmes d'acquisition de données, et des dispositifs de contrôle de débit.
- **Sécurité** : Assurer la sécurité des opérateurs et des installations est une priorité lors de la conception d'une maquette de soufflerie. Cela implique la mise en place de dispositifs de sécurité, de procédures d'urgence, et de mesures de protection contre les risques liés à la haute pression et aux turbulences d'air.

En suivant ces principes de conception, les ingénieurs peuvent concevoir des maquettes de soufflerie subsonique efficaces et fiables, capables de répondre aux besoins spécifiques de la recherche en aérodynamique et en ingénierie.

II.3 Composants clés d'une maquette de soufflerie subsonique

3.1. Le compresseur : Le compresseur est l'un des composants les plus critiques d'une maquette de soufflerie subsonique. Son rôle principal est de fournir un flux d'air à haute pression et à débit constant pour créer l'écoulement d'air nécessaire à l'expérience. Les compresseurs peuvent être de différents types, notamment les compresseurs centrifuges et les compresseurs axiaux. Ils doivent être choisis en fonction des besoins spécifiques de la soufflerie, tels que la pression et le débit requis pour simuler les conditions d'écoulement souhaitées.

3.2. La chambre de test : La chambre de test est l'endroit où les modèles ou les échantillons sont placés pour être soumis à l'écoulement d'air contrôlé. Elle doit être conçue pour permettre une observation claire du modèle tout en assurant des conditions d'écoulement uniformes et stables. La conception de la chambre de test peut varier en fonction de la taille des modèles testés, de la vitesse d'écoulement requise, et des exigences spécifiques de l'expérience.

3.3. Les sections de confinement : Les sections de confinement sont des structures qui entourent la chambre de test et le compresseur pour contrôler et diriger l'écoulement d'air. Elles doivent être conçues pour minimiser les perturbations de l'écoulement et assurer des conditions d'écoulement uniformes dans la chambre de test. Les sections de confinement peuvent inclure des conduits, des diffuseurs, des conduits de récupération, et d'autres dispositifs destinés à optimiser les performances de la soufflerie.

3.4. Systèmes de contrôle et d'instrumentation : Les systèmes de contrôle et d'instrumentation sont essentiels pour surveiller et réguler les paramètres de l'écoulement d'air, tels que la vitesse, la pression, la température, et la turbulence. Ils permettent également de contrôler les conditions expérimentales et de collecter des données précises pour l'analyse. Les systèmes de contrôle peuvent inclure des régulateurs de débit, des vannes de réglage, des capteurs de pression, des sondes de température, et des systèmes d'acquisition de données. Une intégration efficace de ces systèmes garantit la reproductibilité des expériences et la fiabilité des résultats.

II.4 Les matériels utilisés

- ✚ **Moteur soufflerie :** Le moteur AKTIF ASPIRATOR monophasé de la marque FANSAN est un dispositif électrique utilisé principalement dans les systèmes de ventilation et de soufflerie pour générer un flux d'air. Il est conçu pour fonctionner avec une alimentation électrique monophasée, ce qui le rend adapté à une utilisation dans des environnements résidentiels ou commerciaux où l'alimentation électrique standard est monophasée. Ce type de moteur est apprécié pour sa capacité à fournir une ventilation efficace, réduisant ainsi la concentration de polluants et améliorant la qualité de l'air dans les espaces intérieurs.



Figure II.1 Souffleur.

Ses caractéristiques sont :

Fansan	AKTIF ASPIRATOR	OBR monophasé
Puissance (P)	250 w	
Tension (V)	230 v	
Vitesse de rotation (Ω)	2800 tr/min	
Fréquence (N)	50 Hz	

Tableau II.1 Les caractéristique de moteur.

- ✚ **Planche en bois :** Dans cette réalisation, nous avons utilisé une planche en bois MDF car elle est résistante à la taille du moteur et facile à utiliser. Nous avons pris trois pièces. La première était la surface de finition, qui mesurait 1 mètre de long et 45

centimètres de large. La seconde et le troisième avait les mêmes mesures, 40 centimètres de large et 30 centimètres de haut, à utiliser dans les séparateurs entre le moteur et la salle d'expérimentation, et le second entre la salle d'expérimentation et le lieu de sortie de l'air.



Figure II.2 Plaque en bois MDF.

- ✚ **Le plexiglass :** Nous avons utilisé ce type de verre pour permettre de voir ce qui se passe à l'intérieur de la salle expérimentale et ce type est un matériau léger qui conserve sa résistance même lorsqu'il est exposé aux éléments. Nous avons utilisé trois pièces de verre pour la première mesurait **45 cm** de longueur et **40 cm** de largeur, la deuxième et la troisième avaient la même taille et étaient considérées comme les deux façades de la salle expérimentale, elles mesuraient **45 cm** de longueur et **30 cm** de hauteur.



Figure II.3 Plaque de plexiglass.

- ✚ **Convertisseur de fréquence :** Un convertisseur de fréquence, également appelé variateur de vitesse ou variateur de fréquence, est un dispositif électronique utilisé pour contrôler la vitesse d'un moteur électrique en ajustant la fréquence de l'alimentation électrique fournie au moteur. Il permet de faire varier la vitesse de rotation du moteur sur une large plage, généralement de manière progressive et précise, en modifiant la fréquence de l'alimentation électrique. Cela permet d'adapter

la vitesse du moteur aux besoins spécifiques de l'application, ce qui peut permettre des économies d'énergie, une meilleure efficacité de fonctionnement et un contrôle précis des processus industriels. Les convertisseurs de fréquence sont largement utilisés dans de nombreux domaines industriels, notamment dans l'automatisation, la production, la manutention, et les systèmes de pompage et de ventilation.

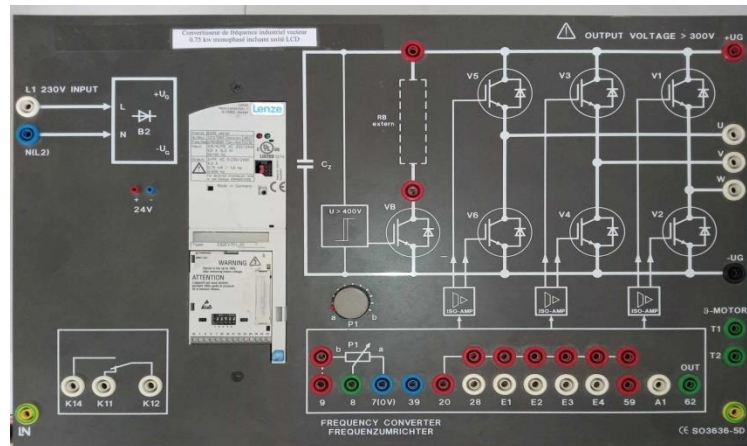


Figure II.4 Convertisseur de fréquence.

✚ Appareil multifonction VELOCICALAC 9565 :

L'appareil multifonction de mesure de vitesse d'air VELOCICALC® 9565 est doté d'une interface utilisateur avec navigation par menu pour en faciliter l'utilisation dans votre langue locale. Des invites à l'écran et des instructions étape par étape guident l'utilisateur tout au long des procédures de configuration, de fonctionnement, et d'étalonnage sur site.

Le 9565 dispose également d'un boîtier surmoulé au design ergonomique avec porte-sonde et d'une fonction de verrouillage clavier pour prévenir toute manipulation inopinée. Le 9565 sont équipés d'une sonde anémométrique droite 964 et il est compatible avec une vaste palette de sondes enfichables.



Figure II.5 Appareil multifonction VELOCICALCL 9565.

Applications

- Test et équilibrage de systèmes de chauffage, ventilation et climatisation,
- Test de salle blanche,
- Test d'armoire de sécurité biologique et hotte de laboratoire,
- Mise en service et dépannage de systèmes de chauffage, ventilation et climatisation,
- Études sur la qualité de l'air intérieur,
- Études sur le confort thermique,
- Évaluations de la ventilation,
- Test d'écoulement d'air industriel.

Caractéristiques

1. Mesures Multiples :

- **Vitesse de l'air** : Mesure précise avec des sondes thermiques ou à hélice.
- **Débit d'air** : Calculé à partir de la vitesse de l'air et de la surface du conduit.
- **Température** : Mesure à l'aide de sondes intégrées ou externes.
- **Humidité relative** : Avec des sondes combinées température/humidité.
- **Pression différentielle** : Pour évaluer les variations de pression dans les systèmes HVAC.

2. Capteurs Amovibles :

- **Sondes interchangeables** : Compatibles avec diverses sondes pour différentes applications, y compris les sondes de vitesse, de température, et de débit volumétrique.

3. Affichage :

- **Écran couleur haute résolution** : Facilite la lecture des données et l'interprétation des résultats.
- **Interface utilisateur intuitive** : Navigation facile grâce à des menus clairs.

4. Enregistrement des Données :

- **Mémoire interne étendue** : Capacité de stockage pour jusqu'à 26 500 points de données.
- **Logiciel de gestion des données** : Inclut le logiciel TrakPro™ Data Analysis Software pour l'analyse et la création de rapports.

5. Connectivité :

- **USB** : Transfert de données simplifié vers un PC.
- **Bluetooth** (modèles spécifiques) : Pour une communication sans fil pratique.

6. Fonctions Avancées :

- **Calculs intégrés** : Volume d'air, taux de renouvellement de l'air, etc.
- **Compensations automatiques** : Pour la température et la pression barométrique, améliorant la précision des mesures.

7. Construction Robuste :

- **Design durable** : Conçu pour les conditions difficiles sur le terrain, avec une protection contre les chocs.

Avantages

1. Précision et Fiabilité :

- **Capteurs de haute qualité** : Assurent des mesures fiables et précises.
- **Compensations automatiques** : Réduisent les erreurs potentielles.

2. Polyvalence :

- **Large gamme d'applications** : Convient pour les systèmes HVAC, la qualité de l'air intérieur, et les études environnementales.

3. Facilité d'Utilisation :

- **Interface utilisateur intuitive** : Simplifie l'utilisation même pour les utilisateurs non techniques.

- **Écran couleur graphique** : Améliore la visualisation et l'analyse des données.
4. **Portabilité** :
- **Design compact et léger** : Facilite le transport et l'utilisation sur le terrain.
5. **Enregistrement et Analyse des Données** :
- **Grande capacité de mémoire** : Permet l'enregistrement de longues sessions de mesure.
 - **Logiciel inclus** : Pour l'analyse approfondie des données et la génération de rapports.
6. **Maintenance et Flexibilité** :
- **Sondes interchangeables** : Adaptabilité à diverses tâches sans besoin de multiples appareils.
 - **Mises à jour firmware** : Pour ajouter de nouvelles fonctionnalités et améliorer les performances [16].

- ✚ **Grille de soufflage** : utilisé ce dispositif pour orienter l'écoulement dans la salle de test.



Figure II.6 Grille de soufflage.

✚ **Multimètre Total TMT47803:**

Ce multimètre est un Multi-tests précis: Mesure sur tension DC/AC, courant AC/DC, fréquence, résistance, continuité de circuit, capacité, NCV, assemblage diode, remplacement de la batterie et des fusibles , grâce à sa haute fiabilité qui peut également donner à votre travail une haute efficacité et pratique, il est un outil idéal pour les opérations de terrain, les laboratoires, les usines, les amateurs de radio et les applications domestiques. Doté d'un écran LCD rétro éclairé d'une dimension de 60×40 mm avec lecture claire même dans l'obscurité. Affiche les résultats super vit, ayant une performance excellente. Ce modèle est équipé d'un convertisseur RMS autorisant la mesure des valeurs moyennes sur des signaux de type Sinusoïdaux [6].



Figure II.7 Multimètre.

Caractéristiques

1. Multimètre numérique professionnel à pince 1000V

- **Écran:** Écran LCD
- **Rétro éclairage:** Équipé d'un rétro éclairage pour améliorer la visibilité dans des conditions de faible luminosité

2. Mesures de tension

- **Tension continue (DC):**
 - ✓ 600 millivolts
 - ✓ 6 volts
 - ✓ 60 volts
 - ✓ 600 volts
 - ✓ 1000 volts $\pm (0,5 \% + 3)$
- **Tension alternative (AC):**
 - ✓ 6 volts
 - ✓ 60 volts
 - ✓ 600 volts
 - ✓ 750 volts $\pm (0,8 \% + 3)$

3. Mesures de courant

- **Courant continu (DC):**

- ✓ 60 milliampères
- ✓ 6 milliampères
- ✓ 60 milliampères
- ✓ 600 milliampères $\pm (0,8 \% + 3)$
- ✓ 10 ampères $\pm (1,2 \% + 3)$

4. Mesures de résistance

- Résistance:

- ✓ 600 Ω
- ✓ 6 k Ω
- ✓ 60 k Ω
- ✓ 600 k Ω
- ✓ 6 M Ω
- ✓ 60 M Ω

II.5 Les étapes de réalisation :

On prend d'abord cette première planche de bois, qui mesure un mètre de long, puis on perce des lignes dessus et sur les deux planches restantes pour placer le plexiglas. Après cela, nous plaçons les deux panneaux restants verticalement sur le panneau, puis installons le plexiglas à l'endroit approprié, en tenant compte des distances pour placer le moteur et de l'endroit de sortie de l'air. Ensuite, nous installons le moteur à l'aide de colle. Nous prenons le plexiglas supérieur et plaçons les allumettes à égales distances afin de mesurer la vitesse avec la sonde depuis l'appareil multifonction. Voilà le résultat d'installation des matériaux pour les deux configurations étudié:

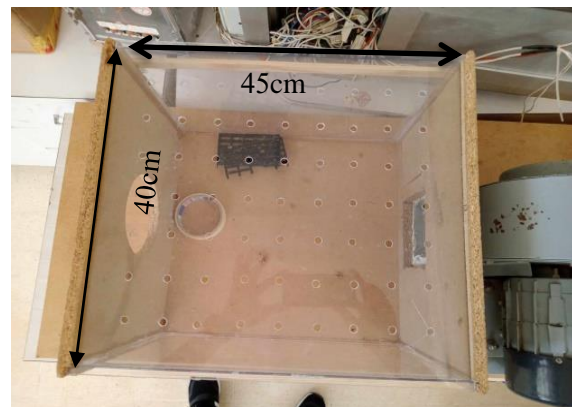
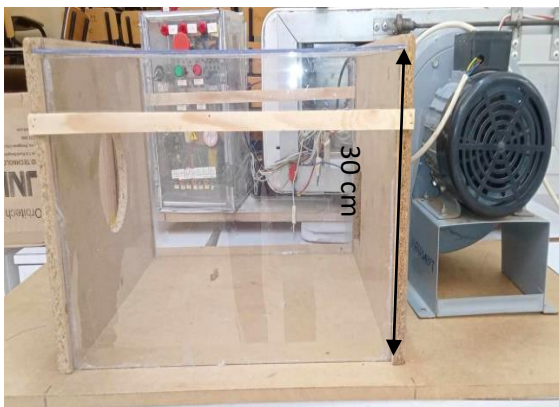


Figure II.8 La configuration 1 «SG».

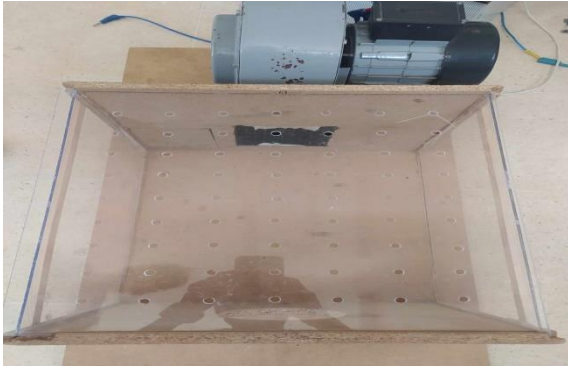


Figure II.19 la configuration 2 «AG»

Et l'installation des fils de multimètre, convertisseur et moteur :

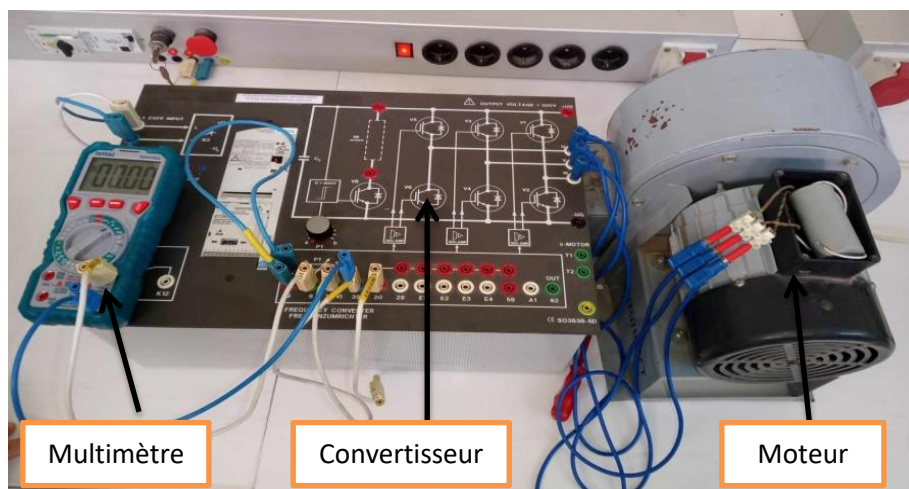


Figure II.10 l'installation des fils de multimètre, convertisseur et moteur.

Conclusion :

En conclusion, ce deuxième chapitre a offert un aperçu détaillé des différentes phases impliquées dans la création d'une maquette de soufflerie subsonique. Nous avons abordé les principes de conception, essentiels pour garantir la précision et la fonctionnalité de la maquette. Ensuite, nous avons identifié et décrit les composants clés, tels que la section de test, les systèmes de propulsion, et les instruments de mesure.

L'utilisation de matériaux appropriés a été soulignée, montrant leur importance dans la performance et la durabilité du projet. Enfin, nous avons détaillé les étapes de réalisation, de la conception initiale à l'assemblage final. Ce chapitre établit ainsi une base solide pour la construction de maquettes efficaces et fiables, facilitant des tests aérodynamiques précis.

Chapitre III

Résultats et discussions

III.1 Méthode de mesure

III.1.1 Matériel nécessaire

Pour réaliser les mesures, plusieurs équipements spécifiques sont requis. Un appareil multifonction est utilisé pour mesurer la vitesse. Un convertisseur de fréquence permet de régler la fréquence, tandis qu'une sonde de mesure doit être positionnée dans les trous de mesure. La chambre de test dispose de trous de mesure en positions axiale et radiale. Enfin, une règle ou un mètre est nécessaire pour vérifier les distances entre les trous.

III.1.2 Étapes de la méthode

Les étapes pour effectuer les mesures sont les suivantes :

Tout d'abord, la préparation de l'équipement est essentielle. Il faut s'assurer que l'appareil multifonction et le convertisseur de fréquence sont correctement calibrés et fonctionnent correctement. La sonde de mesure doit être connectée à l'appareil multifonction.

Ensuite, il est important de positionner la sonde correctement. Pour ce faire, les orifices de mesure dans la chambre de test doivent être identifiés avec précision. En position axiale, les orifices sont espacés de 4,3 cm, tandis qu'en position radiale, ils sont espacés de 4,9 cm. La sonde de mesure doit être insérée dans le premier trou axial.

Le réglage de la fréquence suit. Le convertisseur de fréquence est utilisé pour régler la fréquence initiale à 40 Hz. Il est crucial de s'assurer que la fréquence est stable avant de commencer les mesures.

Une fois la fréquence réglée, la mesure de la vitesse peut commencer. Avec la fréquence fixée à 40 Hz, il faut mesurer la vitesse dans chaque trou axial à l'aide de l'appareil multifonction et noter soigneusement les valeurs mesurées. Ensuite, la sonde doit être déplacée dans chaque orifice radial pour répéter les mesures de vitesse. Toutes les données de mesure doivent être enregistrées.

La prochaine étape consiste à régler de nouvelles fréquences et à répéter les mesures. Le convertisseur de fréquence doit être réglé sur 45 Hz. Les mesures de vitesse doivent être répétées pour chaque orifice axial et radial, comme décrit précédemment, et les résultats doivent être enregistrés. Ensuite, la fréquence doit être réglée à 50 Hz, et les mesures pour chaque trou axial et radial doivent être répétées. Toutes les données collectées doivent être soigneusement notées.

En suivant ces étapes méthodiquement, des mesures précises et fiables peuvent être assurées pour l'étude des variations de vitesse en fonction des fréquences réglées.

Voilà les stations des mesures pour les deux configurations :

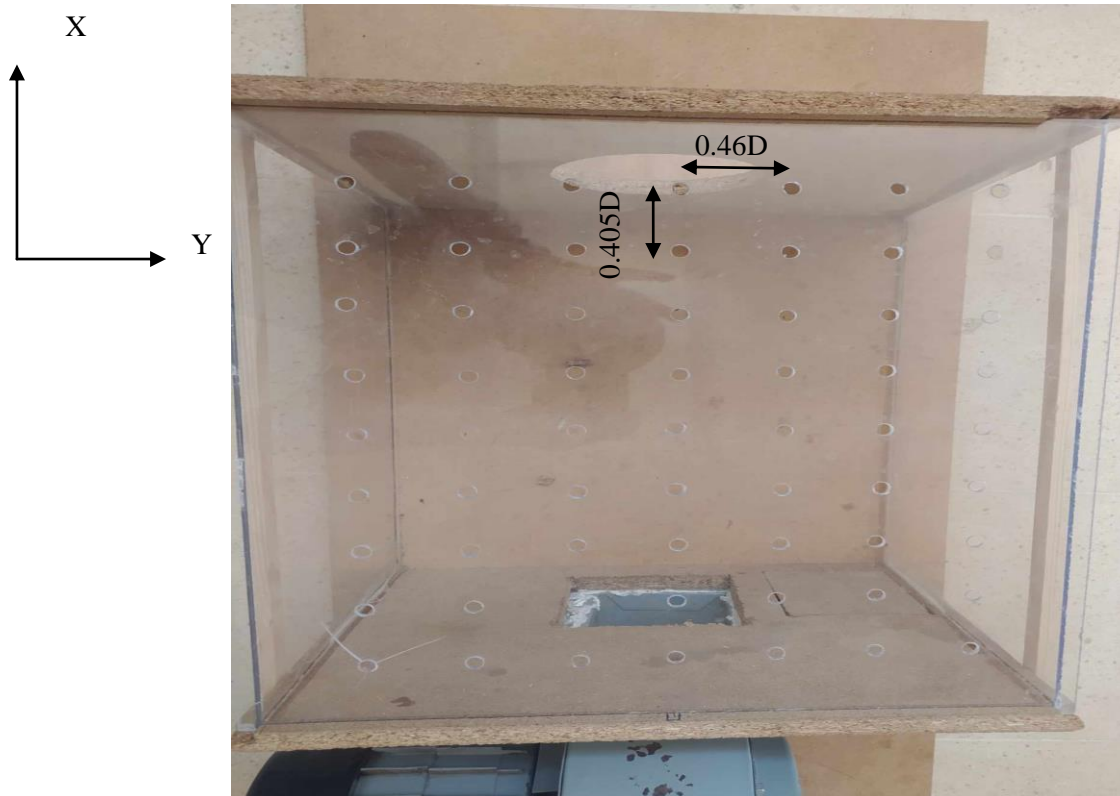


Figure III.1 la distance entre les stations axial et radial.

III.2 Résultats

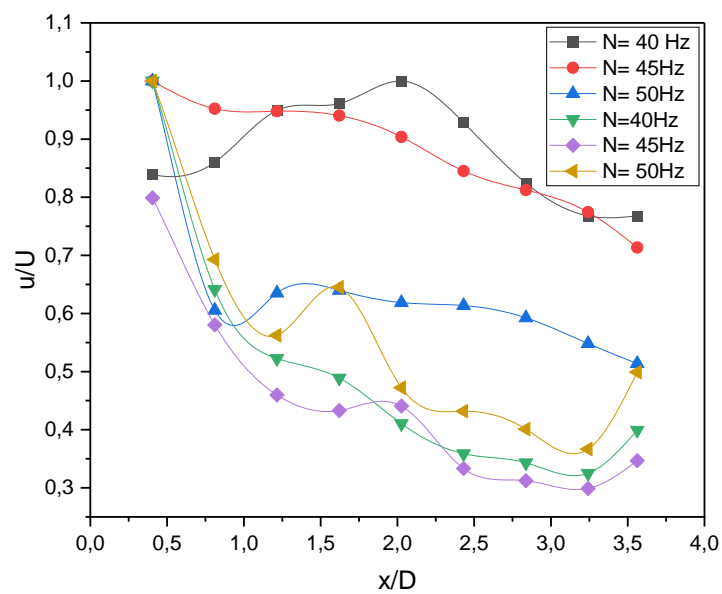


Figure III.2 : Distribution axiale de la vitesse à $y=0$ pour la configuration AG (noir, rouge, bleu) et SG (vert, violet, jaune).

Discussion :

La distribution présentée sur la figure 2 donne la distribution de la vitesse axiale à différentes fréquences pour les deux configurations (avec grille et sans grille). Pour la configuration avec grille aux fréquences $N=40\text{Hz}$ et $N=45\text{Hz}$ nous avons des vitesses qui commencent à croître jusqu'à un certain seuil puis chute. Ce changement de direction s'explique par la présence de zone de recirculation qui tend à améliorer le mélange et par la même occasion ralentir la chute de la valeur de la vitesse axiale. A la fréquence $N=50\text{Hz}$ nous constatons une distribution de vitesse qui décroît à partir de la sortie de la grille puis subit un changement de direction à la station $x=0,81D$ avant de se continuer avec une allure assez stable. En ce qui concerne la configuration sans grille c'est une distribution contraire à celle de la précédente configuration. Une distribution axiale assez appréciable est remarquable pour les fréquences $N=40\text{Hz}$ et $N=45\text{Hz}$ avec une petite zone de recirculation à partir de la station $x=2,03D$. Cette fois-ci à la fréquence $N=50\text{Hz}$ c'est deux zones de recirculation qui apparaissent. De l'une à l'autre de fortes zones de recirculations sont observées à la fréquence $N=50\text{Hz}$ due à la forte vitesse à cette fréquence.

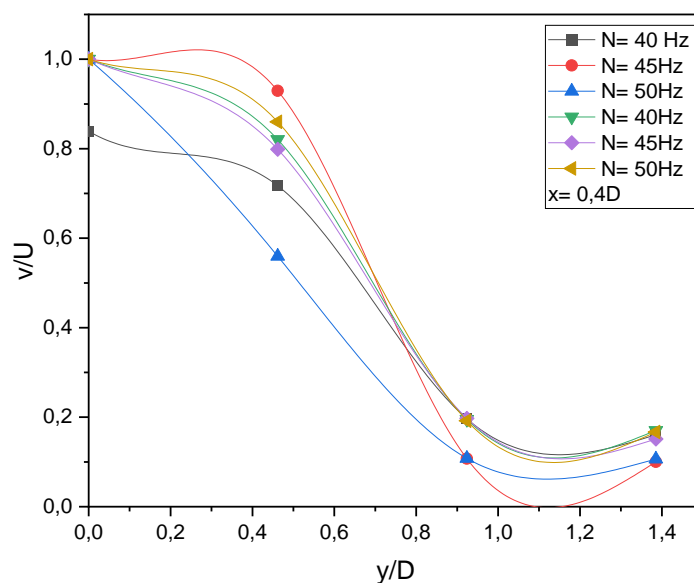


Figure III.3 : Distribution radiale de la vitesse à $x=0,4D$ pour la configuration **AG** (noir, rouge, bleu) et **SG** (vert, violet, jaune).

Discussion :

La distribution radiale de la vitesse à $x=0,4D$ représentée sur la figure 3 démontre une bonne distribution de la vitesse radiale pour différentes fréquences avec un élargissement radiale plus important pour les fréquences de la configuration avec grille où le meilleur est obtenu à la fréquence $N=50\text{Hz}$.

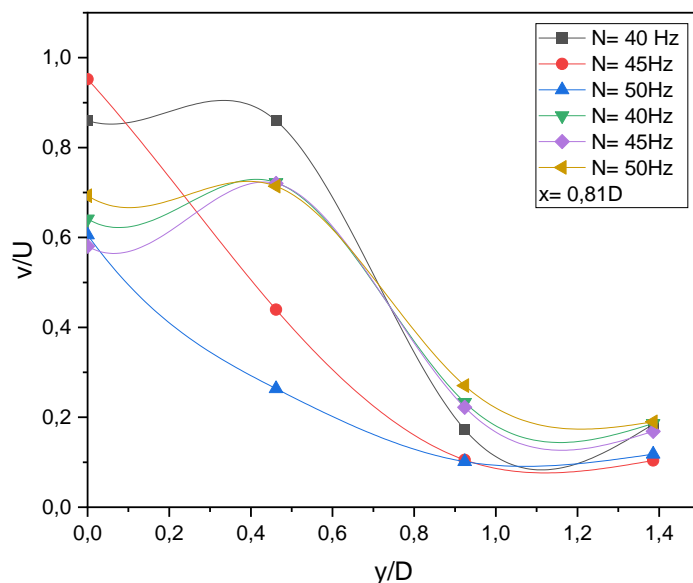


Figure III.4 : Distribution radiale de la vitesse à $x=0,81D$ pour la configuration **AG** (noir, rouge, bleu) et **SG** (vert, violet, jaune).

Discussion :

A la station $x= 0,81D$ la distribution radiale de la vitesse illustrée par la figure 4 montre des déflexions pour la configuration sans grille et celle de la configuration avec grille ayant la plus faible fréquence c'est-à-dire à $N= 40$ Hz. Au delà de cette fréquence c'est une bonne distribution radiale de la vitesse qui apparait.

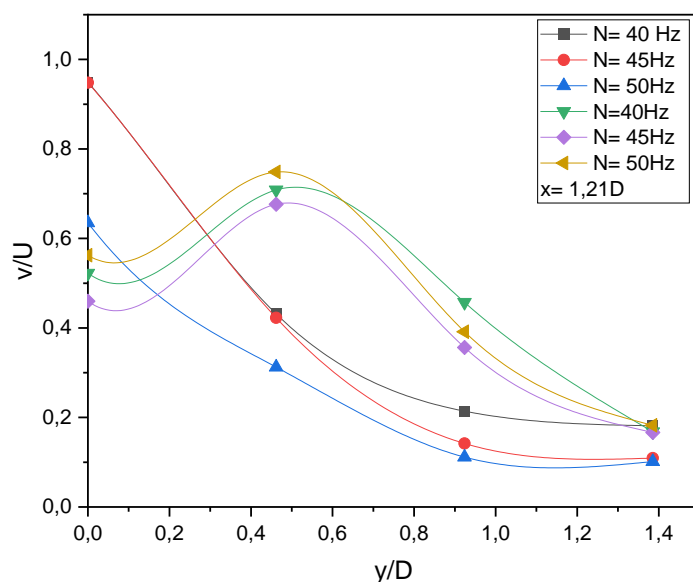


Figure III.5 : Distribution radiale de la vitesse à $x=1,21D$ pour la configuration **AG** (noir, rouge, bleu) et **SG** (vert, violet, jaune).

Discussion :

A partir de la station $x=1,21D$ la distribution radiale de la vitesse pour la fréquence $N= 40Hz$ suit ses homologues de la configuration avec offrant ainsi une bonne distribution. Contrairement à la configuration précitée la configuration sans grille présente toujours des déflexions dues aux zones de recirculations.

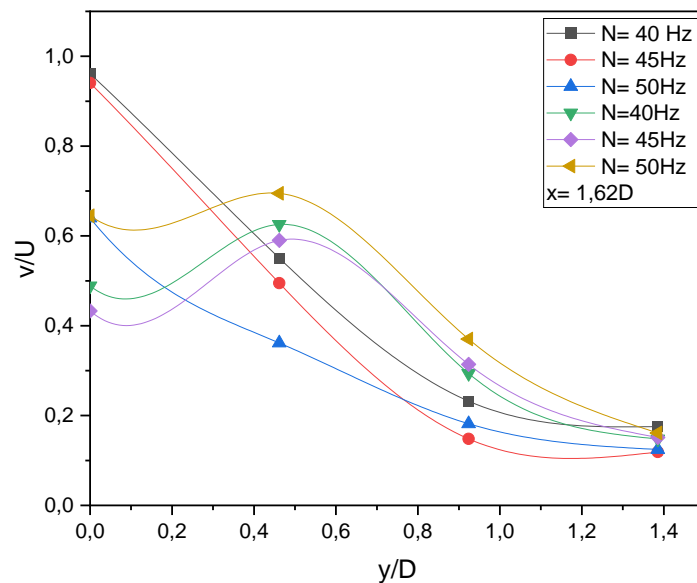


Figure III.6 : Distribution radiale de la vitesse à $x=1,62D$ pour la configuration **AG** (noir, rouge, bleu) et **SG** (vert, violet, jaune).

Discussion :

Au-delà de la station $x= 1,62D$ les courbes de la configuration sans grille maintiennent leur allure contrairement à celles de la configuration avec grille où les courbes aux fréquences $N= 40 Hz$ et $N= 50Hz$ ont une allure monotone. A la fréquence $N=45Hz$ la courbe de distribution présente une certaine déflexion et cela jusqu'à la dernière station ($x= 3,65D$).

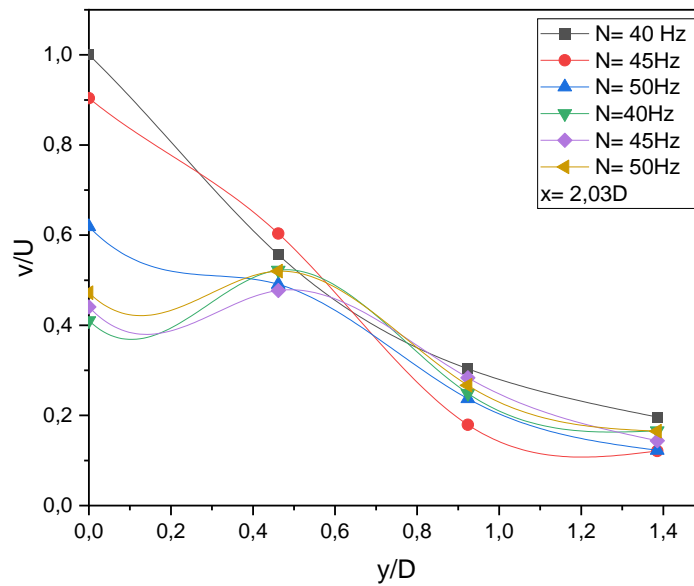


Figure III.7 : Distribution radiale de la vitesse à $x=2,03D$ pour la configuration **AG** (noir, rouge, bleu) et **SG** (vert, violet, jaune).

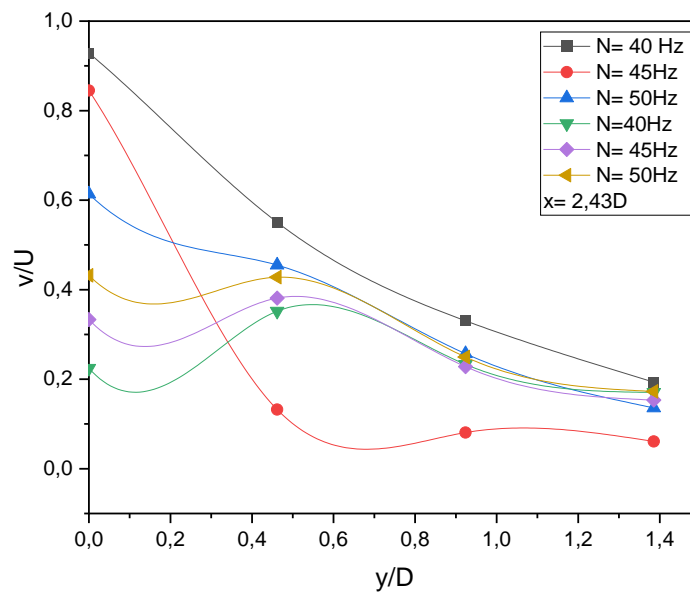


Figure III.8 : Distribution radiale de la vitesse à $x=2,43D$ pour la configuration **AG** (noir, rouge, bleu) et **SG** (vert, violet, jaune).

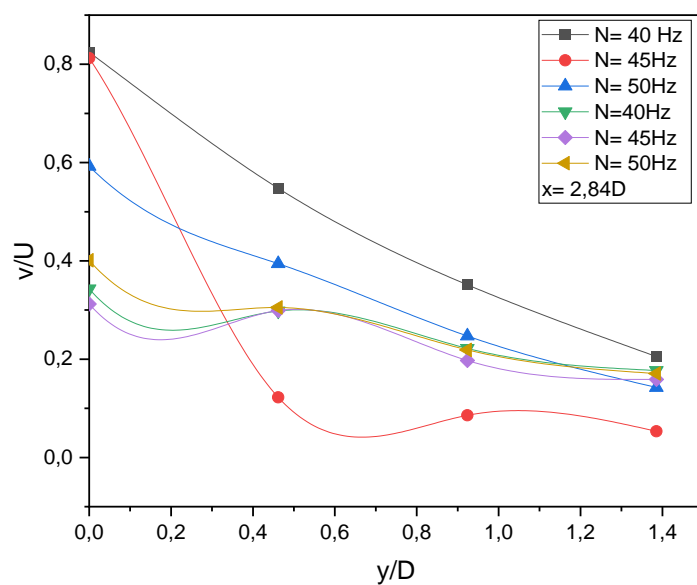


Figure III.9 : Distribution radiale de la vitesse à $x=2,84D$ pour la configuration **AG** (noir, rouge, bleu) et **SG** (vert, violet, jaune).

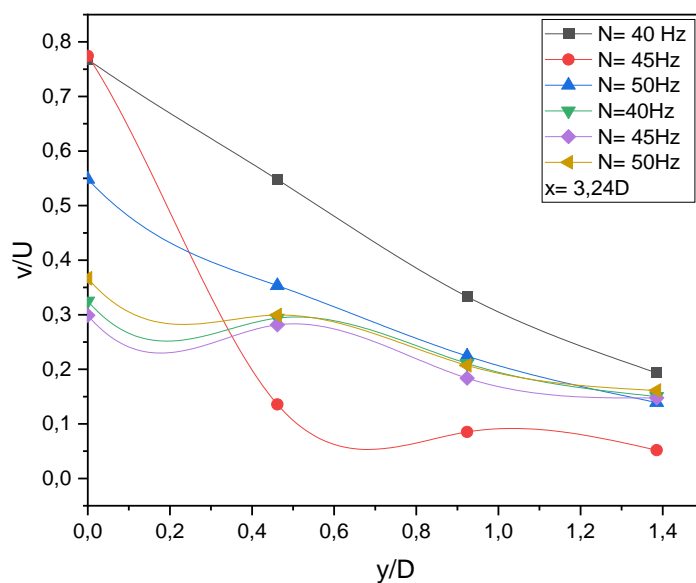


Figure III.10 : Distribution radiale de la vitesse à $x=3,24D$ pour la configuration **AG** (noir, rouge, bleu) et **SG** (vert, violet, jaune).

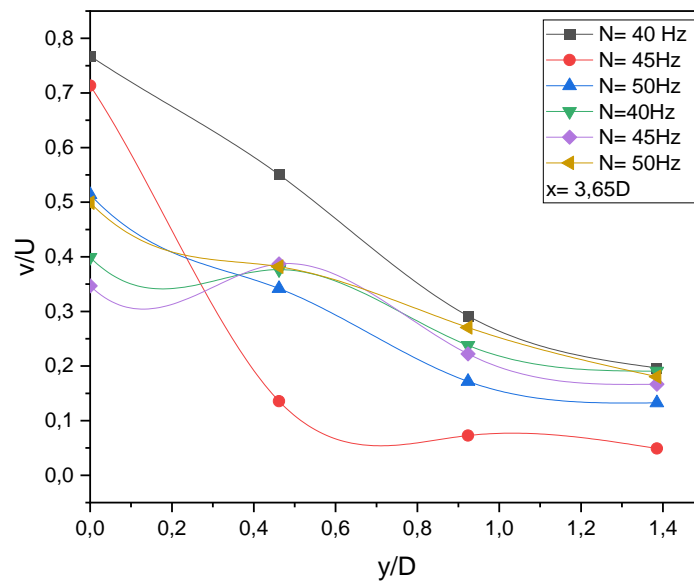


Figure III.11 : Distribution radiale de la vitesse à $x=3,65D$ pour la configuration **AG** (noir, rouge, bleu) et **SG** (vert, violet, jaune).

Conclusion :

A partir des données recueillies nous pouvons affirmer qu'il y'a une bonne distribution axiale de la vitesse axiale pour la configuration sans grille comparé à la configuration avec grille. La configuration avec grille est celle qui offre la meilleure distribution radiale de la vitesse. Il est également à noter qu'au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la grille l'amplitude de la vitesse diminue.

Conclusion générale

En premier chapitre a fourni une vue d'ensemble des souffleries subsoniques, couvrant leur définition, les types disponibles, et leurs objectifs. Nous avons identifié les principaux utilisateurs et examiné les tests effectués, avec leurs avantages et inconvénients. Les conditions d'essai et les critères de classification ont également été abordés. Cette base générale servira à approfondir les aspects techniques dans les chapitres suivants, soulignant l'importance des souffleries pour les performances aérodynamiques.

Après en deuxième chapitre a offert un aperçu détaillé des différentes phases impliquées dans la création d'une maquette de soufflerie subsonique. Nous avons abordé les principes de conception, essentiels pour garantir la précision et la fonctionnalité de la maquette. Ensuite, nous avons identifié et décrit les composants clés, tels que la section de test, les systèmes de propulsion, et les instruments de mesure. L'utilisation de matériaux appropriés a été soulignée, montrant leur importance dans la performance et la durabilité du projet. Enfin, nous avons détaillé les étapes de réalisation, de la conception initiale à l'assemblage final. Ce chapitre établit ainsi une base solide pour la construction de maquettes efficaces et fiables, facilitant des tests aérodynamiques précis.

En dernier chapitre, A partir des données recueillis nous pouvons affirmer qu'il y'a une bonne distribution axiale de la vitesse axiale pour la configuration sans grille comparé à la configuration avec grille. La configuration avec grille est celle qui offre la meilleure distribution radiale de la vitesse. Il est également à noter qu'au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la grille l'amplitude de la vitesse diminue.

Pour conclure, nous demandons aux étudiants de l'année prochaine, s'ils suivent notre thèse de mémoire, de compléter ce qui reste de nos mesures de vitesse sur les côtés et à partir de ferme la chambre de test pour mesurer la vitesse qui tourne dans la chambre et Ils augmentent la résistance du transformateur pour améliorer les résultats et bien préciser.

Références et Bibliographiques

- [1] – Barlow, J. B., Rae, W. H., et Pope, A. Low-Speed Wind Tunnel Testing (3rd ed.). (1999, Wiley-Interscience).
- [2] – N. A. Ahmed. Wind Tunnel: Designs And Their Diverse Engineering Applications (2013, IntechOpen).
- [3] – **Anonyme**. Histoire des souffleries [En ligne] **2013**.
- [4] – Mémoire de projet de fin d'études, intitulé: Étude numérique et expérimentale de l'écoulement à travers une soufflerie à circuit fermé. Étude de cas: soufflerie de l'ENP. Réalisé par : Mohamed Chakib BOUDEHANE. Présenté et soutenue publiquement le 05/10/2021 à Ecole Nationale Polytechnique, Département de Génie Mécanique Laboratoire de Génie Mécanique et Développement.
- [5] – **Trefny,C.(2002)** . NASA Wind-Tunnels Aérodynamics. USA.
- [6] – **Bedoin, S.(2012)**. Cours SUPAERO/Aérodynamique, Conception d'un Avion de Transport Subsonique. Airbus. France.
- [7] – "Intermittent Wind Tunnels and Transient Flow Studies." Journal of Experimental Fluid Mechanics. Springer. DOI: 10.1007/s00348-019-2736-4.
- [8] – Deron Hurley, Johnny Arteaga, Amir Elzawawy. Design and Fabrication of Small-Scale Supersonic Wind Tunnel, Vaughn College of Aeronautics and Technology. NY, USA.
- [9] – <http://aerodynamique.chez.com/souffleries.html>
- [10] – "Wind Tunnels: Design/Construction and Types of Wind Tunnels." American Association for Wind Engineering. Retrieved from aawe.org.
- [11] – "Guided Wind Tunnels and Their Applications." Aerodynamics Research Institute. Retrieved from aerodynamics-research-institute.org.
- [12] - "Hybrid Wind Tunnels: Semi-Guided Configurations." Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. Elsevier. DOI: 10.1016/j.jweia.2020.103942.
- [13] – "Continuous Wind Tunnel Operations and Their Advantages." National Aeronautics and Space Administration (NASA). Retrieved from nasa.gov.
- [14] - documentation officielle de TSI Incorporated pour la série VelociCalc 9565
- [15] – **Hamdia,S.(2012)**. Conception d'une soufflerie Subsonique. Mémoire de Fin d'études Master. Université Med Khider Biskra. Algérie.
- [16] - documentation officielle de TSI Incorporated pour la série VelociCalc 9565.