



**POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL**

AER1110 – PROJET INITIAL EN GÉNIE AÉROSPATIAL

Étude de cas 3 - Étude de réalisation d'une soufflerie

Travail présenté

à :

Jean-Paul Lemarquis, ing. Doyen

Patrice Rémy, ing.

Par

Équipe 4 :

Jean-François Chauvette 1682414

Philippe Desrosiers 1688782

Alexandre Dusablon 1681896

Karim Jamoussi 1603146

Guillaume Lanoue 1688409

Kaven Marcoux 1692347

Philippe St-Jean 1685338

Le 8 avril 2014

à Montréal

Remerciements

L'équipe remercie tout d'abord l'école Polytechnique Montréal pour avoir fourni tous les équipements et locaux permettant de réaliser ce travail. Ensuite, une grande reconnaissance va à M. JEAN-PAUL LEMARQUIS et M. PATRICE REMY pour l'encadrement et le soutien tout au long de la session.

Nous remercions également les équipes 2 et 7 pour leur grande implication et collaboration dans l'étude, le développement et la fabrication tout au long de la dernière phase du projet. La qualité du travail et les résultats obtenus dans ce rapport n'auraient pas pu être au point sans leur contribution. Nous tenons aussi à remercier l'équipe 3 pour leur aide matérielle dans le cadre de la fabrication de notre soufflerie.

Nous reconnaissons également la grande participation du centre de développement pédagogique et en particulier de M. ÉRIC MORISSETTE, responsable de l'assistance au développement de ce projet. Nous mentionnons aussi les clients (enseignants) suivants:

- Pierre-Étienne Lallier
- Hélène Maheu
- Nadia Renzo
- Patrice Comeau

Ils ont grandement participé à l'identification des besoins et à la recherche du meilleur produit pouvant répondre à leurs attentes. Finalement, l'équipe tient à remercier toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement à la réussite de ce projet.

Résumé

Ce rapport présente le développement et la fabrication de la solution sélectionnée pour le maintien structurel de la soufflerie. Il fait état du développement des différentes composantes nécessaires à l'élaboration finale de la structure de la soufflerie. Des tableaux, des diagrammes, de nombreux calculs, des diagrammes du corps libre (DCL), des images ainsi que des modélisations et dessins techniques ont servi pour le rapport.

Le rapport explique la démarche de l'équipe afin de déterminer théoriquement la viabilité de la soufflerie, particulièrement de la veine d'essai. En effet, différentes équipes s'occupaient de diverses parties de la soufflerie, sous forme d'une grosse compagnie. Le document présente les différents calculs qui permettent de déterminer les divers paramètres de la soufflerie afin d'assurer les meilleures performances possibles. Différentes modélisations et dessins techniques viennent démontrer tous les aspects de la veine d'essais ainsi que les modifications et améliorations apportées au cours de la conception.

Les calculs du rapport sont majoritairement centrés sur les mesures de forces externes et internes. Ils ont pour but d'aller chercher les contraintes appliquées dans les matériaux afin de s'assurer du choix judicieux de ceux-ci. Le système de pesée développé au cours de cette étude de cas est aussi décrit et illustré dans ce rapport. Une partie importante du rapport porte sur la fabrication elle-même, plus particulièrement la gamme de fabrication qui présente en détail chaque étape de la construction de la soufflerie en entier. Cela rend la reproduction de cette soufflerie très simple pour tous.

La veine d'essai finale est en MDF et en plexiglass, qui se démonte entièrement. Elle a une forme de prisme rectangulaire. L'accès à la zone utilisable se fait par une trappe en acrylique (plexiglas) sur le toit. Les autres équipes ont des systèmes qui s'assemblent à la veine d'essais. Les dessins de détail ainsi que les photos du produit final se retrouvent à la fin du rapport parmi la gamme de fabrication.

Mots-clés : soufflerie; résistance des matériaux, dessins de détails, système de pesé.

Abstract

This study report presents the research and development of the structure of the wind tunnel. It elaborates on the different components of the test section that were chosen. Different tables, diagrams, calculations, free body diagram, images without forgetting modeling and detail drawing that served for the development.

This document relates the work done by the team in order to build the structural facet of the testing zone. It also shows that other teams were involved to form a partnership so that the building of the complete wind tunnel is separated into departments. Furthermore, equations are solved in order to determine the best performance and the lowest cost of the wind tunnel testing zone. Several technical drawings are made to determine every aspect of the work that had to be done and the study shows the differences between the theory and the final result upon the building of it.

Equations are mainly centered on external and internal forces as well as the strength of materials in order to determine the major constraints of every component. The study also presents the weighing system used to weight the assembled wind tunnel. In addition, a manufacturing process is shown in the appendix of the document. It represents every step needed to build the complete wind tunnel.

Finally, the wind tunnel's testing zone is made out of MDF (*Medium Density Fiberboard*) and acrylic. The top, sides and engine zone are removable and the entire wind tunnel can be stored with minimum space usage. The specifications are given in the technical drawings included in the manufacturing process appended to this document.

Keywords: *Wind tunnel; Strength of materials, technical drawings, weighing system.*

Table des matières

Remerciements.....	iii
Résumé.....	v
Abstract.....	vii
Liste des tableaux.....	xi
Liste des graphiques.....	xi
Liste des figures.....	xi
Introduction.....	1
1. Sommaire des requis conceptuels et techniques.....	3
1.1 Données et restrictions.....	3
1.2 Retour avec le client.....	5
1.3 Aspects techniques à étudier.....	6
2. Analyse des efforts externes.....	7
2.1. Centre de masse.....	7
2.2. Forces externes.....	8
2.2.1. Force de gravité par la tuyère.....	9
2.2.2. Force du moteur.....	10
2.2.3. Force exercée par la différence de pression.....	11
3. Analyse des efforts internes (Systèmes de mesure).....	13
4. Réalisation - Sous-systèmes et composants.....	19
4.1 Pattes.....	19
4.1.1 Calculs, choix et justifications.....	19
4.1.2 Conséquences et répercussions.....	20
4.2 Parois en plexiglas.....	21
4.2.1 Calculs, choix et justifications.....	21
4.2.2 Conséquences et répercussions.....	23

4.3 Plafond en MDF	23
4.4 Plancher en plexiglas.....	26
4.5 Goujon en bois d'érable	28
4.6 Tolérances	30
5. Réalisation - Système de mesure et composants.....	31
5.1 Calculs choix et justifications	31
5.2 Conséquences et répercussions	32
5.3 Tolérances	33
6. Fabrication et essais	39
6.1 Sous-ensemble artisanal réalisé & système de mesure	39
6.2 Interfaçage avec les autres sous-systèmes.....	40
6.3 Sensibilité du système de mesure réalisé	41
7. Tests, analyse et interprétation des résultats	43
7.1 Protocole de mesure du poids.....	43
7.2 Écart entre la valeur calculée et la mesure obtenue	44
7.3 Interprétations des écarts	45
7.3.1 Hypothèses des causes des écarts	45
7.3.2 Aspects positifs.....	46
7.3.3 Éléments à améliorer	47
7.3.4 Solutions possibles	48
8. Tableaux synthèses des pièces et du produit.....	50
8.1 Nomenclature et numérotation des pièces.....	50
8.2 Coûts-matière, poids, dimensions et justifications.....	50
Conclusion	54
Référence	56
ANNEXE A	58
ANNEXE B	59
ANNEXE C	60
ANNEXE D	61

ANNEXE E.....	62
ANNEXE F.....	65
ANNEXE G.....	66
ANNEXE H.....	69
ANNEXE I.....	70

Liste des tableaux

Tableau 1: Position du centre de masse et masse de la soufflerie	31
Tableau 2: Position du centre géométrique de la soufflerie.....	31
Tableau 3 : Fiche de prise de données pour la masse de la soufflerie.....	44
Tableau 4: Numérotation des pièces pour les dessins d'ensemble et de détail.....	50
Tableau 5: Coût des pièces de la veine d'essais	51
Tableau 6: Dimensions des pièces de la veine d'essais	51
Tableau 7: Volume et masse de la veine d'essais	52

Liste des graphiques

Graphique 1: Diagramme des efforts tranchants sur le plafond de MDF	25
Graphique 2: Diagramme des efforts moments fléchissant sur le plafond de MDF.....	25
Graphique 3: Diagramme des efforts tranchants sur le plancher en plexiglas.....	27
Graphique 4: Diagramme des efforts tranchants sur le goujon de bois	29
Graphique 5: Diagramme des moments fléchissant sur le goujon de bois	29

Liste des figures

Figure 1: Concept initial de l'étude de cas 2.....	3
Figure 2: Concept retravaillé pour l'étude de cas 3	4
Figure 3: Exigences de Maison de la Qualité N°2.....	4
Figure 4: Forces externes de la zone utilisable	9

Figure 5: DCL masse tuyère	9
Figure 6: DCL de la force exercée par le moteur.....	11
Figure 7: DCL des forces exercées sur les parois par la pression de l'air	12
Figure 8: Parois de la base	13
Figure 9: Parois en plexiglas.....	14
Figure 10: DCL d'un cadre en MDF (plafond/faux-fond).....	15
Figure 11: DCL du plancher en plexiglas	16
Figure 12: DCL Goujons	17
Figure 13: Parois en MDF de la base.....	19
Figure 14: Toit en plexiglas et Figure 15: Vue du dessus du toit	21
Figure 16: Butées (4 en tout)	21
Figure 17: Parois de plexiglas.....	22
Figure 18: DCL des efforts sur le plafond	24
Figure 19: DCL des effort sur le plancher	24
Figure 20: Plancher de plexiglas.....	26
Figure 21: DCL d'un goujon de bois.....	28
Figure 22: DCL du poids agissant au centre de masse	32
Figure 23: Soufflerie artisanal compagnie équipe 2, 4,7	39
Figure 24: Balance utilisé pour peser la soufflerie	43

Introduction

Dans le processus de développement d'une soufflerie, plusieurs éléments sont à prendre en considération afin qu'elle soit efficace et réponde aux besoins des clients visés. D'abord, il y a évidemment la génération d'un flux d'air, sans quoi il n'y aurait tout simplement pas de soufflerie. Il y a également tout ce qui concerne la mesure de la portance, permettant ainsi de prendre des mesures tangibles et d'obtenir des valeurs concrètes. Enfin, il y a une partie du processus de développement extrêmement importante, mais que plusieurs oublient de penser, c'est-à-dire le maintien structurel de l'ensemble. En d'autres mots, la capacité qu'a la soufflerie à tenir et à offrir ce pour quoi elle a été créée de manière stable et sécuritaire. C'est ainsi sur ce sujet que ce rapport, et l'étude sur lequel il est basé, portera.

Cette troisième étude de cas fait évidemment suite aux deux premières, effectuées au cours des dernières semaines. Au niveau présent, elle portera sur les livrables demandés au niveau de la structure de la soufflerie et des sous-systèmes reliés.

Comme mentionné précédemment, le maintien structurel correspond à tout l'aspect matériel de la soufflerie. Il fut donc nécessaire de déterminer les valeurs critiques imposées à la soufflerie en fonction du concept choisi, de s'assurer que la soufflerie résistera aux efforts à la fois externes et internes qui lui sont imposés. Les calculs de vérification sont explicités dans le rapport, de même que les hypothèses sur lesquelles se basent les résultats obtenus.

Pour ce qui est des livrables demandés, plusieurs dessins de détails et de rendus Catia ont été réalisés. Le centre de masse de la soufflerie de même que son poids total ont également été calculés, et un système de pesée de l'ensemble a été conçu afin de valider ces résultats. Enfin, une gamme de fabrication complète et détaillée du montage de la soufflerie a été développée pour une reproduction future dans les écoles secondaires.

Le présent rapport détaille ainsi le processus de construction du concept final de soufflerie, axé sur un bon maintien structurel et respectant au mieux les besoins des clients.

1. Sommaire des requis conceptuels et techniques

1.1 Données et restrictions

Suite à l'Étude de Cas 2, l'équipe a décidé de changer son concept. En effet, le concept initial était celui d'un cylindre comme celui illustré ci-dessous.

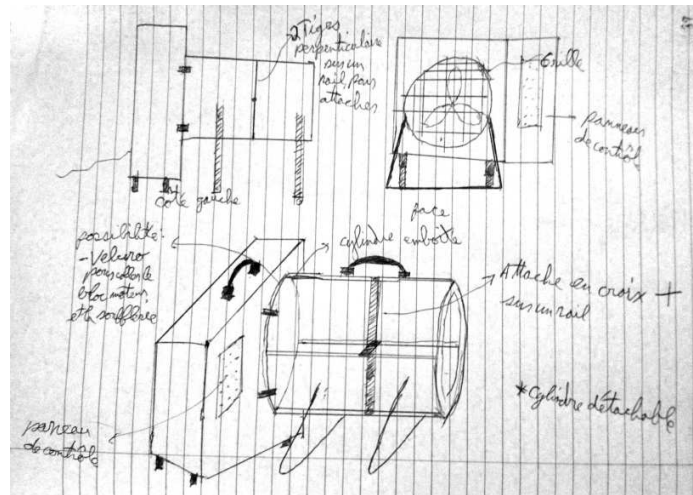


Figure 1: Concept initial de l'étude de cas 2

Cependant, le professeur Lemarquis a affirmé, après la remise de l'étude de cas 2, que le modèle cylindrique n'était pas le meilleur modèle pour une soufflerie et qu'une veine d'essai rectangulaire serait beaucoup plus efficace. Ce faisant, le modèle de l'équipe passa à une soufflerie avec une tuyère à chaque extrémité et une veine d'essai de forme rectangulaire. Ce concept ayant déjà été pensé, il a été facile de changer.

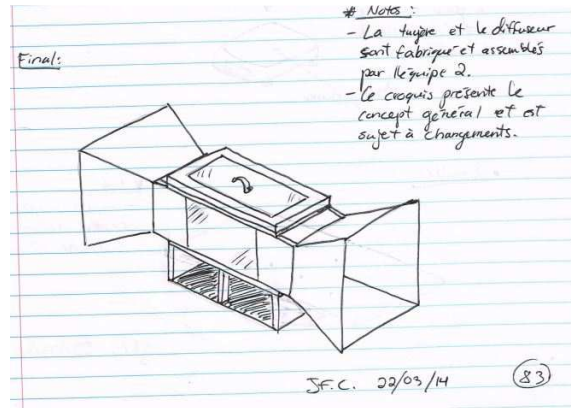


Figure 2: Concept retravaillé pour l'étude de cas 3

Cependant, le reste des requis déterminés dans l'Étude de Cas 2 s'appliquaient toujours dans le cas de la soufflerie rectangulaire. En effet, changer la forme de la soufflerie n'a aucun impact sur les exigences préétablies. Donc, la soufflerie rectangulaire doit aussi respecter toutes les exigences exprimées dans la *Maison de la Qualité N°2* (Annexe B).

Description	Éviter bords coupants et pointus
	Refroidissement de la chambre moteur
	Faible masse volumique
	Réduire la longueur
	Éviter les matériaux rapidement inflammables
	Formes planes standards
	polyvalence pour différente expérience
	S'adapter aux profils à tester
	emplacement d'accrochage
	choix du moteur possible
	Une personne
	2 couples de poignées
	Résistance et durabilité de la structure
	Résister à une chute libre
	Zone utilisable visible
	Pouvoir communiquer
	Disponibilité, coût, accessibilité
	Intervention pour changer une pièce
	Coût de l'achat du matériau
	Durée de fabrication
	30*30*60
	Durabilité
Cible	< 65 °C
	20 cm
	> 4
	< 25 kg
	2
	1,3 m
	< 60 dB
	1 heure
	< 100 \$
	3 jours
	> 7 ans

Figure 3: Exigences de Maison de la Qualité N°2

Ensuite, il fallait déterminer les requis qui allaient s'appliquer spécifiquement à l'équipe. Donc, il a été déterminé que la soufflerie devait respecter plusieurs points spécifiques.

- Éviter d'avoir des bords coupants ou pointus;
- Avoir des matériaux ayant une faible masse volumique;
- Éviter les matériaux rapidement inflammables;
- Concevoir une soufflerie ayant des formes planes standards;
- Avoir un poids inférieur à 25 kg, pour pouvoir être transportée par une seule personne;

- Avoir 2 poignées;
- Avoir une structure résistante et durable;
- Pouvoir résister à une chute libre de 1,3m;
- Avoir une zone utilisable visible;
- Avoir des matériaux peu coûteux et accessible;
- Le coût du matériau pour construire la veine d'essai ne doit pas dépasser 100\$;
- La durée de fabrication ne doit pas excéder 3 jours;
- Les dimensions de la veine d'essais sont de 30cm x 30cm x 60cm;
- La soufflerie doit pouvoir être fonctionnelle pendant 7 ans;

1.2 Retour avec le client

L'équipe s'est aussi assurée de retourner parler au client (Éric Morissette, agent de développement pédagogique au CDP) pour être certain que le produit final corresponde encore à ses besoins. Lors de la rencontre, le délégué de l'équipe commença par lui expliquer les développements du projet depuis la dernière rencontre. Il fut question de la nature de la troisième étude de cas, des coûts estimés de la soufflerie, des matériaux utilisés et des changements apportés depuis la deuxième étude de cas. Plusieurs questions lui ont été posées pour s'assurer que le résultat final allait toujours rencontrer ses besoins, qui sont énumérés dans la première maison de la qualité (Annexe A). Il est à noter que cette rencontre eut lieu avant le début de la construction de la veine d'essais. Monsieur Morissette sembla très enthousiaste face à l'avancement du projet et du concept. De plus, il était content que le prix de la soufflerie soit bien en-dessous de la limite de 1000\$ fixée. Ensuite, il donna son accord pour réduire le volume de la zone utilisable à 25 cm x 25 cm. Finalement, ses aspects préférés de la soufflerie sont :

- son aspect démontable;
- son faible poids;
- sa grande visibilité;
- l'accessibilité des matériaux et le faible coût de ceux-ci;

1.3 Aspects techniques à étudier

Dans le cadre de ce rapport, plusieurs aspects techniques sont à analyser pour s'assurer de la praticabilité de la solution trouvée. Tout d'abord, il faut étudier toutes les forces externes s'appliquant sur la veine d'essais. Ensuite, les forces internes sont analysées à l'aide notamment de la résistance des matériaux. À l'aide des forces internes et externes, l'équipe dispose des informations nécessaires pour estimer si la veine d'essais aura le potentiel de répondre aux besoins de notre client.

2. Analyse des efforts externes

Il est évident que, tout au long de sa durée de vie, la soufflerie devra supporter plusieurs charges. Évidemment, la soufflerie devra se supporter elle-même, mais elle devra aussi supporter certaines forces externes, parfois négligeables, parfois non. Les prochaines pages détaillent l'analyse de ces différents efforts agissant sur la soufflerie et leur implication.

2.1. Centre de masse

D'abord, il a été nécessaire de déterminer la masse et le centre de masse de la soufflerie. Ce point consistant également en un requis demandé pour la compagnie, une analyse plus approfondie a été effectuée à ce sujet. Pour ce faire, les dimensions utilisées furent celles déterminées dans la modélisation 3D sur Catia, et les masses volumiques des matériaux correspondent à celles fournies par les manufacturiers. Par conséquent, il sera assumé dans les calculs que les dimensions réelles de la soufflerie sont exactement les mêmes que celles modélisées et que les matériaux utilisés sont tous uniformes et de masses volumiques équivalentes à celles de référence. Il sera également assumé que la colle, les goujons, les vis et les butées sont de masse négligeable par rapport au reste de la soufflerie, et par conséquent n'interviennent pas dans le calcul du centre de masse.

La soufflerie a d'abord été divisée en figures plus simples, la plupart du temps en des prismes à bases rectangulaires. Le volume a ainsi pu être trouvé facilement en utilisant les équations appropriées. L'annexe C correspond au tableau des dimensions de chacune des pièces. Ensuite, pour chaque pièce subdivisée, il a fallu trouver les positions correspondantes des centroïdes selon les axes de coordonnées x , y et z . Il a également fallu trouver les masses de chacune des pièces en multipliant la masse volumique par le volume précédemment trouvé. Les valeurs de densité sont respectivement pour le MDF (*Medium Density Fiberboard*) $780 \cdot 10^{-9} \text{ kg/mm}^3$, pour le polyméthacrylate de méthyle (Acrylique ou Plexiglas) de $1190 \cdot 10^{-9} \text{ kg/mm}^3$ et pour le

chloroplaste : $780 \cdot 10^{-9} \text{ kg/mm}^3$ (voir en référence). Enfin, le centre de masse est trouvé en effectuant les sommes suivantes: $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{x}_i \times m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$ $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{y}_i \times m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$ et $\bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{z}_i \times m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$. Les détails de ces calculs sont explicités dans les prochaines sections.

2.2. Forces externes

De manière plus spécifique à la partie «structure» de la soufflerie, il est possible de noter certaines forces que l'on peut qualifier d'externes. Par contre, certaines d'entre elles sont négligeables et ne seront que nommées. Les forces externes exercées sur la soufflerie sont les suivantes:

- Force vers le bas entraînée par la gravité sur la tuyère
- Force du moteur
- Vibrations du moteur
- Force dans l'axe de l'écoulement par convergence dans la tuyère
- Friction de l'air sur les parois
- Différence de pression interne/externe

Dans le cas présent, les efforts de vibrations causés par le moteur pourront être négligés, car ces vibrations sont extrêmement petites par rapport à la taille et à la masse totale de la soufflerie. De plus, puisque la vitesse d'écoulement n'est pas faramineuse, la friction sur les parois sera également négligée. De plus, malheureusement, la force s'exerçant dans l'axe de l'écoulement causé par la convergence dans la tuyère n'a pas été calculée précisément, faute des connaissances techniques nécessaires. Il sera donc assumé que cette force est négligeable.

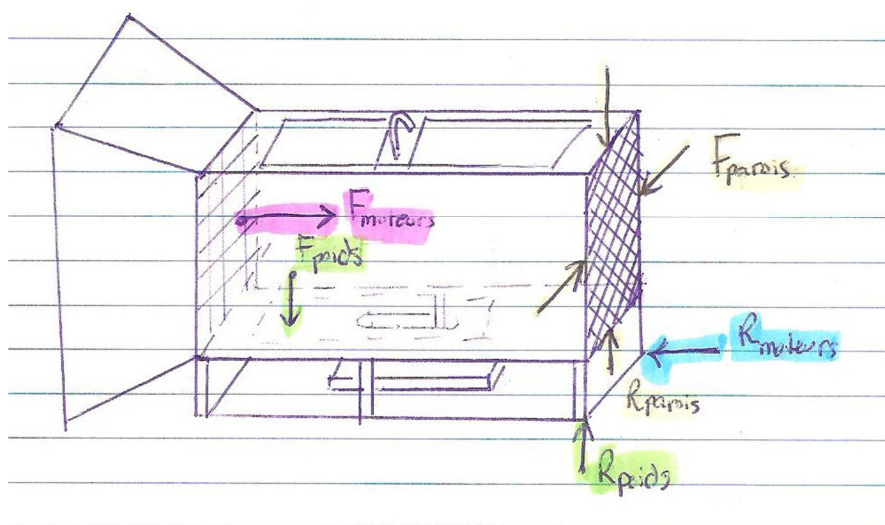


Figure 4: Forces externes de la zone utilisable

Ici sur la figure 4, on observe les forces externes exercées sur la soufflerie. Chaque force appliquée à la soufflerie a une réaction qui se retrouve également sur le diagramme du corps libéré de la soufflerie. Par hypothèse que la soufflerie est stable, toutes les forces devraient s'annuler.

2.2.1. Force de gravité par la tuyère

De la même manière que lors du calcul du centre de masse de la soufflerie entière, il a été possible de déterminer la masse de la tuyère ainsi que l'endroit où était exercée cette force. Le diagramme du corps libre (DCL) ci-dessous indique les valeurs nécessaires aux calculs qui s'ensuivront. Les détails de ces calculs sont présentés en annexe.

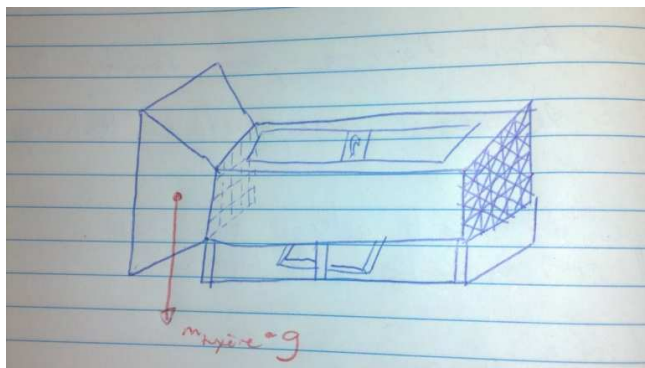


Figure 5: DCL masse tuyère

On retrouve à ce centre de masse une force, exercée vers le bas, de valeur :

$$F=m*a$$

$$F=4,4*9,81$$

$$F=43,16 \text{ N}$$

Cette force entraîne également un moment dans l'encastrement de la soufflerie, dans le sens horaire, et de valeur :

$$M=F*d$$

$$M=43,16*(796-600)$$

$$M=8,46 \text{ Nm}$$

Dans la pratique, ces efforts sont repris à la fois par les goujons et par les bords de la soufflerie. Par contre, les goujons étant plus faible, il sera assumé que tous les efforts sont repris par ceux-ci afin d'en vérifier la solidité suffisante.

2.2.2. Force du moteur

Une force de poussée sur la soufflerie est également entraînée par le moteur. La valeur de cette force est donnée par

$$F=\dot{m}*v$$

Ci-dessous se trouve le DCL de la figure 5 de la force exercée par le moteur et de la réaction de cette force sur la base de la soufflerie. La réaction sur la surface inférieure de la soufflerie est répartie sur l'aire de la base. On stipule comme hypothèse que la réaction est équivalente à la force du moteur, car il y a seulement ces deux forces appliquées à sens inverse.

Cette réaction est en fait causée par le frottement entre la soufflerie et la surface de contact.

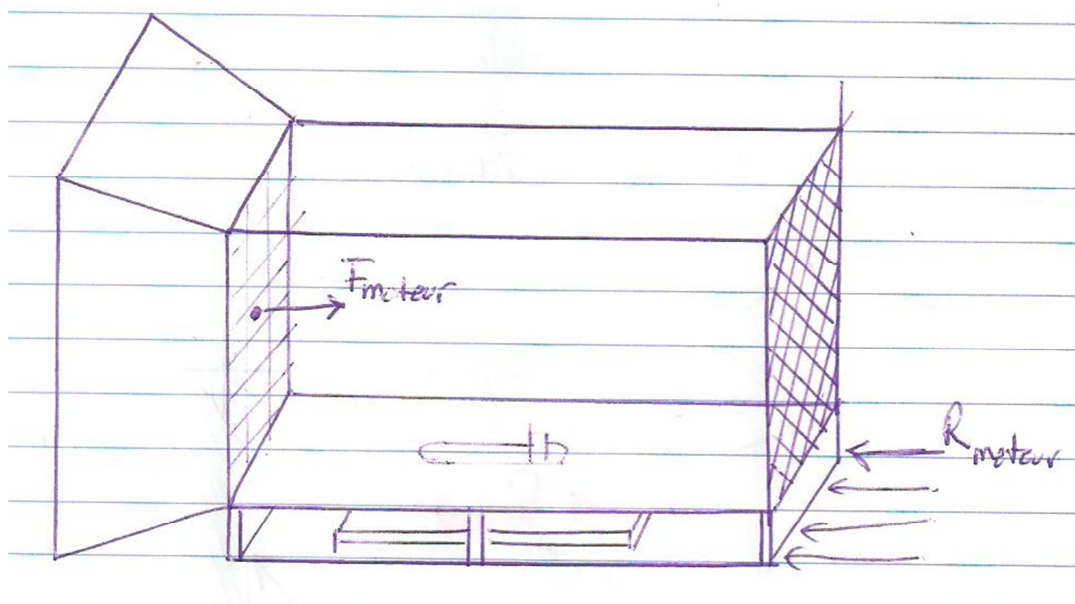


Figure 6: DCL de la force exercée par le moteur

Ici, a été calculé par EES, en utilisant les valeurs normales standards de température et de pression atmosphérique au niveau du sol. Le code programmé dans EES se trouve à l'annexe D. Enfin, la valeur de la force est $F = 22,11 \text{ N}$.

2.2.3. Force exercée par la différence de pression

Lorsqu'il y a une différence de pression entre deux parois, une force est exercée sur ces parois. De plus, puisqu'à l'intérieur de la soufflerie, l'écoulement de l'air est plus rapide qu'à l'extérieur, la pression est plus faible à l'intérieur. Il faut donc prendre en compte cette force. Pour ce calcul, il sera assumé que la vitesse de l'écoulement est constante tout au long de la soufflerie, compte tenu du fait que la friction sur les parois était négligeable. Cette valeur de vitesse est égale à 10 m/s (selon l'équipe 2 : génération de flux d'air). La masse volumique de l'air en tout point de la soufflerie sera aussi assumée constante, et égale à 1,2 kg/m³ (voir Références). Pour déterminer la pression à l'intérieur de la soufflerie, on peut utiliser l'équation de Bernoulli.

$$12 \cdot \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z + P = \text{Constante}$$

Puisque l'air demeure toujours à la même hauteur, le terme $g*z=0$. Pour trouver la valeur de la constante, posons d'abord la vitesse comme étant nulle à pression ambiante. La constante est donc égale à la pression, soit de 101,3 kPa. Trouvons maintenant la pression à l'intérieur de la soufflerie.

$$12*1,2*10^2+P=101,3$$

$$P=40,3 \text{ kPa}$$

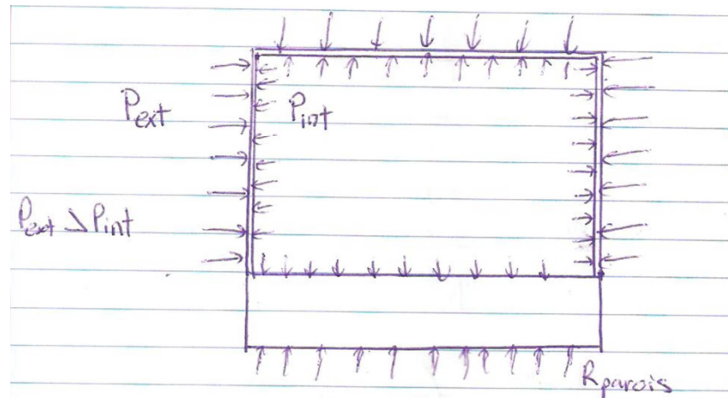


Figure 7: DCL des forces exercées sur les parois par la pression de l'air

On stipule comme hypothèse, avec le DCL de la figure 6, que la réaction à la base de la soufflerie équivaut à la force appliquée par la pression externe sur la surface supérieure, car toutes les autres forces s'annulent d'une part et d'autre de la soufflerie. La réaction et la force externe sont réparties à travers l'air de leur surface respective.

La force exercée sur les parois est :

$$F=A*P$$

où A est la surface sur laquelle la pression exerce une force.

$$A=2*A_{\text{plexi}} + A_{\text{toit}} + A_{\text{plancher}}$$

$$A=2*600*250+600*281,75+600*281,75$$

$$A=638100\text{mm}^2=0,6381\text{m}^2$$

$$F=0,6381*(101,3-40,3)$$

$$F=38,9241 \text{ N}$$

3. Analyse des efforts internes (Systèmes de mesure)

Suite à l'analyse de la résistance de la soufflerie aux efforts externes suivant les hypothèses et suppositions présentées, cette section sert à calculer la résistance de la soufflerie face aux efforts internes. Les pièces qui composent la structure de la soufflerie sont analysées une par une.

Pour commencer, suite à une première analyse, la soufflerie n'est soumise à aucune force de torsion. Par conséquent, aucune force de torsion ne sera présentée. De la même façon, aucune étude relative aux phénomènes de flambement ne sera présentée. Les seules pièces qui peuvent subir un tel phénomène sont les parois en plexiglas, l'analyse approfondie justifiera l'absence de cette étude. Le calcul numérique est présenté dans la section suivante.

L'analyse sera abordée dans l'ordre suivant:

- Parois de la base;
- Parois en plexiglas;
- Plafond en MDF;
- Plancher en plexiglas;
- Goujons de bois;

Les autres pièces qui composent la soufflerie ne seront pas étudiées en détail pour une des deux raisons suivantes:

- Ces pièces ne subissent aucune contrainte;
- Les contraintes sont négligeables par rapport à leurs capacités de résister.

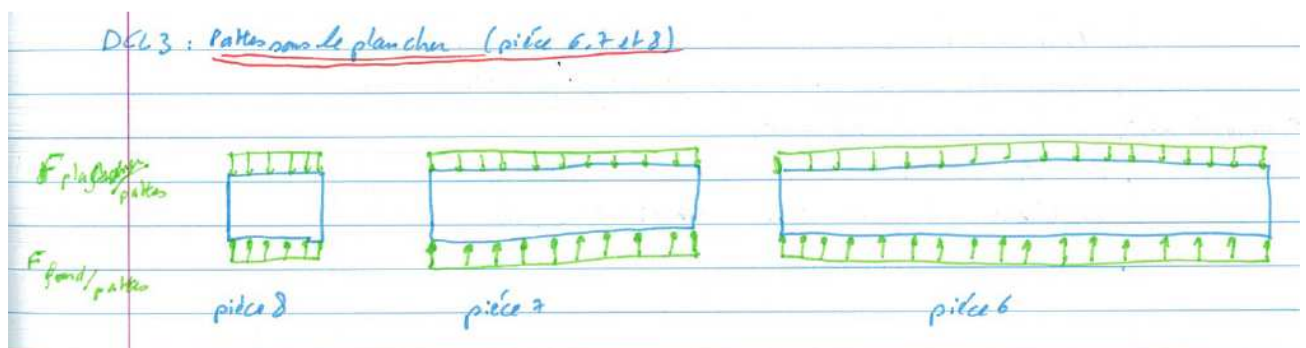


Figure 8: Parois de la base

Chargement uniaxial

On cherche à déterminer le chargement maximal que les pattes peuvent soutenir. Les étapes suivantes permettent de réaliser ce calcul:

1. Calcul d'aire totale mise sous contrainte;
2. Calcul du poids maximum en divisant la contrainte limitée par l'aire obtenue à l'étape 1;
3. Comparer la valeur limite avec la réalité.

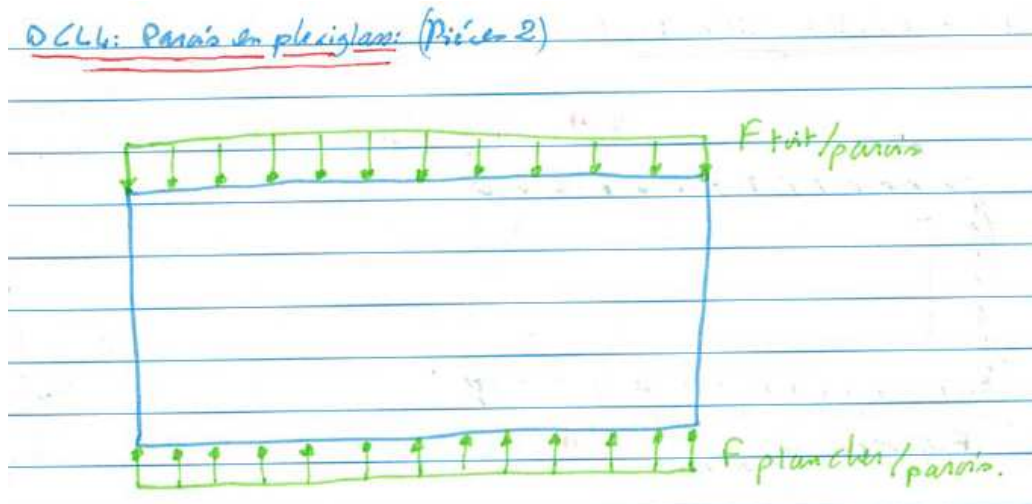


Figure 9: Parois en plexiglas

Le poids du toit est la seule charge que les parois subissent. À première vue, l'analyse doit couvrir une étude sur le chargement uniaxial en prenant en compte le risque de flambement.

Flambement

Sachons que les parois sont soutenues par quatre butées en bois, que la hauteur totale est de 250mm et le faible chargement uniaxial (les calculs si dessous valident cette hypothèse). Le risque de flambement peut être négligé. Par conséquent, aucun calcul ne sera présenté.

Chargement uniaxial

L'objectif est de calculer le chargement uniaxial et le comparer avec les valeurs limites fournies par le fournisseur. Les étapes de calculs sont les suivantes :

1. Calcul du volume total du MDF et du plexiglas;

2. Calcul de la masse totale du MDF et du plexiglas;
3. Calcul de la force totale engendrée par le poids;
4. Calcul de la force par unité de parois;
5. Calcul de l'aire mise sous contrainte par unité de parois;
6. Calcul de la contrainte par unité de parois;
7. Comparaison de la valeur obtenue avec la valeur limite;

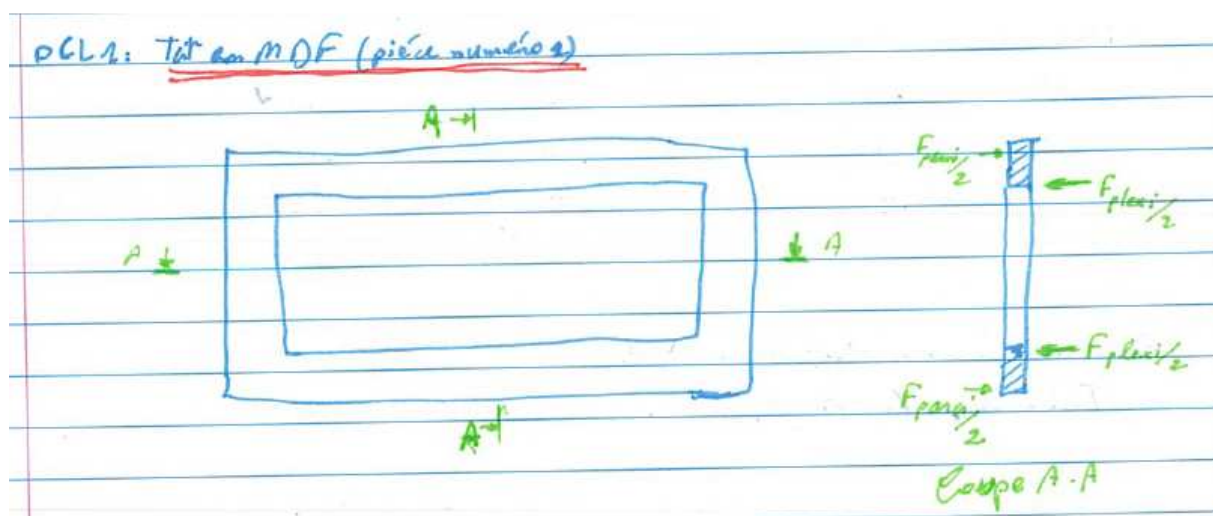


Figure 10: DCL d'un cadre en MDF (plafond/faux-fond)

Concernant le toit, l'analyse a permis d'identifier deux contraintes soient les suivantes:

Chargement uniaxial

Cette contrainte est due au poids associé à la fenêtre en plexiglas et les différentes pièces qui l'entourent. La première étape de calcul est la recherche de la masse volumique de chaque pièce et son volume afin de trouver le poids associé. Ensuite, la simple multiplication de la somme des poids par la constante gravitationnelle permet de trouver la contrainte associée à ce chargement. Il faut prendre en compte le résultat du calcul pour bien choisir le type de colle capable de supporter le chargement.

Flexion

La flexion est due au même chargement. L'objectif est de vérifier la résistance à la flexion en comparant la valeur numérique calculé avec la limite fournie par le fournisseur. Pour atteindre cette valeur, il faut faire plusieurs étapes de calculs dans l'ordre présenté ci-dessous:

1. Tracer le diagramme d'effort tranchant;
2. Calculer l'effort tranchant maximal;
3. Calcul de Q ;
4. Calcul du moment d'inertie;
5. Calcul du taux de cisaillement suivant la formule : $\tau_{xy} = \frac{VQ}{Ib}$;
6. Comparer la valeur obtenue avec la valeur limite;
7. Calcul du moment fléchissant suivant la formule : $\sigma = \frac{My}{I}$;
8. Comparer la valeur obtenue avec la valeur limite.

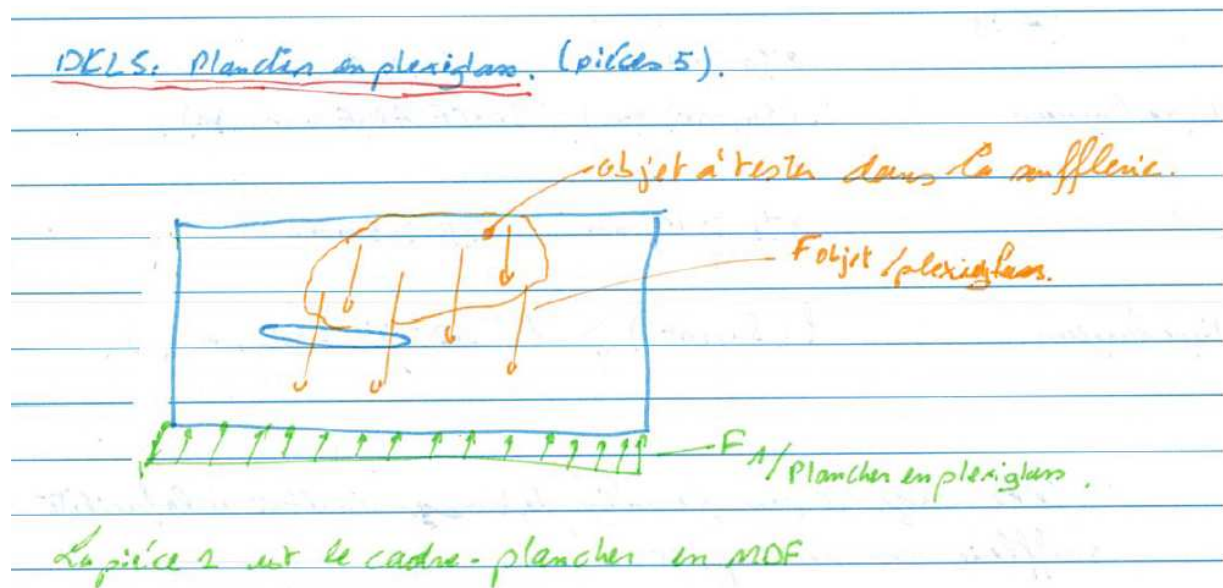


Figure 11: DCL du plancher en plexiglas

Chargement uniaxial

Cette contrainte est due aux poids des objets sujets de test à la soufflerie. La première étape de calcul est la recherche de la masse maximale supportable par le plancher suivant la formule

$V = \frac{\tau_{xy} I b}{Q}$. L'utilisation de cette formule exige le calcul de I et Q au préalable. Ensuite, la valeur

obtenue est divisée par la constante gravitationnelle. Ce calcul permet de trouver le poids maximal que le plancher pourra soutenir.

Flexion

La flexion est due à la même charge. L'objectif est de vérifier la résistance à la flexion. L'approche choisie est le calcul du moment maximal que la pièce peut soutenir suivant la formule : $M = \frac{\sigma I}{y}$. Ensuite, il faut calculer le poids associé à ce moment. Cette valeur peut aider à savoir si la structure résiste à la flexion.

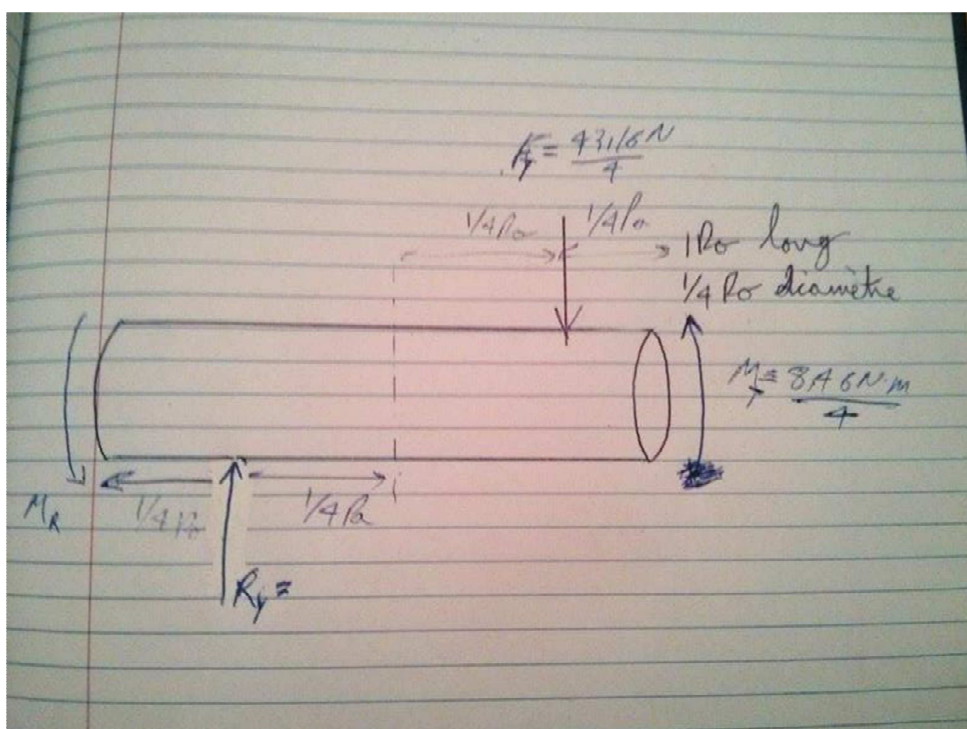


Figure 12: DCL Goujons

Goujons

Les goujons sont responsables en grande partie de la liaison entre la tuyère et la zone de test de la soufflerie. Par conséquent, l'étude de résistance des goujons doit être assez approfondie pour garantir la sécurité et la durabilité de la structure. Les étapes suivantes permettent de couvrir tous les calculs pertinents pour garantir la résistance de la pièce:

1. Somme des forces suivant l'axe vertical soit l'axe y (Newton)
2. Calcul de la réaction R_y ;
3. Somme des moments (Newton);
4. Calcul du moment M_T ;

5. Diagramme des efforts tranchants;
6. Diagramme des moments fléchissant ;
7. Calcul de l'aire, de Q et de I (premier moment);
8. Calcul du taux de cisaillement suivant la formule : $\tau_{xy} = \frac{VQ}{Ib}$;
9. Comparaison du résultat obtenu avec la valeur limite fournie par le fournisseur;
10. Calcul de la résistance à la flexion suivant la formule : $\sigma = \frac{My}{I}$;
11. Comparaison avec la valeur limite fournie par le fournisseur.

4. Réalisation - Sous-systèmes et composants

4.1 Pattes

À noter que toutes les valeurs de contraintes et de masses volumiques de cette section et de la section 5 proviennent des sites en référence à la fin du rapport.

4.1.1 Calculs, choix et justifications

Il est possible d'effectuer les calculs des efforts internes dans la veine d'essais en fonction des équations fournies dans l'analyse et des mesures prélevées sur la veine d'essais. Plusieurs méthodes ont été utilisées pour déterminer ces mesures. Tout d'abord, pour les mesures de longueurs, les dessins techniques ont été utilisés, car la construction est faite selon ces dessins techniques. Ensuite, pour les mesures d'aires et de volume, le logiciel CATIA™ a été utilisé. En effet, celui-ci possède des outils permettant d'afficher l'aire et le volume exact des pièces modélisées.

Parois de la base (pattes)

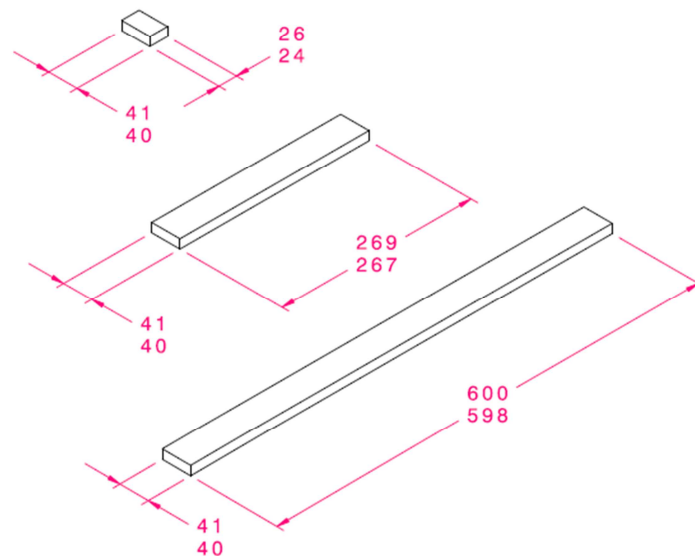


Figure 13: Parois en MDF de la base

Il est à noter que l'épaisseur des pattes est de 0,5 pouces, donc de 12,7mm. De plus, la deuxième patte sur le dessin se retrouve deux fois dans la veine d'essais.

$$\text{Aire totale} = 25 \cdot 12,7 + 599 \cdot 12,7 + 2(268 \cdot 12,7)$$

$$\text{Aire totale} = 14\,771,58 \text{mm}^2$$

Contrainte maximale selon le fabricant : 32N/mm^2

$$32 \text{N/mm}^2 = N_{\text{max}} / 14771,58 \text{mm}^2$$

$$N_{\text{max}} = 472\,690,56 \text{N}$$

$$\text{Poids max} = N_{\text{max}} / 9,81 \text{m/s}^2$$

$$\text{Poids max} = 48\,184,56 \text{kg}$$

4.1.2 Conséquences et répercussions

Ainsi, selon ce calcul, la soufflerie pourrait subir un poids uniaxial d'environ 48 tonnes avant de se briser. Évidemment, il serait totalement irréaliste de mettre une telle charge sur la soufflerie. De plus, cette mesure semble extrêmement douteuse, car un tel poids briserait sans aucun doute les pattes. Cela se ferait sans doute par flambement (action d'un corps qui fléchi sous une charge uniaxiale, mais comme les calculs de flambement ne sont maîtrisés par aucun membre de l'équipe, il a été décidé de les négliger. Cependant, il est à noter que ce résultat ne représente pas la charge maximale que la veine d'essais peut supporter, car celle-ci casserait sûrement à cause de d'autres contraintes telles que le flambement. De plus, les autres composantes, telles que les parois de plexiglas, briseraient bien avant cela. Au final, ce calcul est douteux, mais il permet à l'équipe d'affirmer sans l'ombre d'un doute que les pattes pourront très facilement supporter la charge de la soufflerie.

4.2 Parois en plexiglas

4.2.1 Calculs, choix et justifications

Masse du plafond

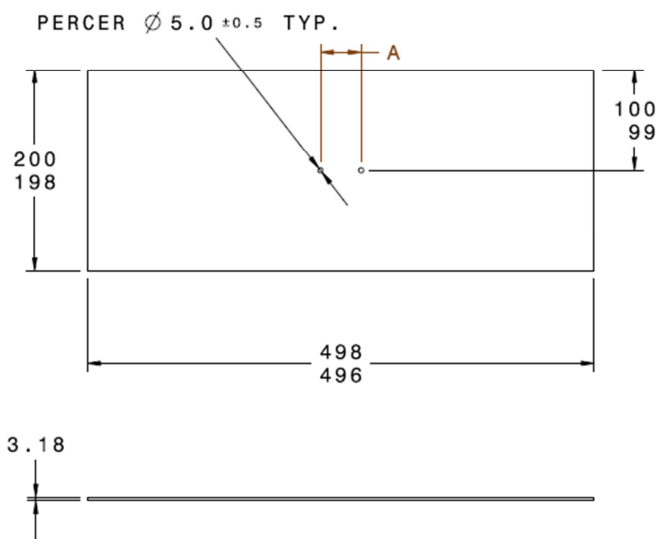


Figure 14: Toit en plexiglas

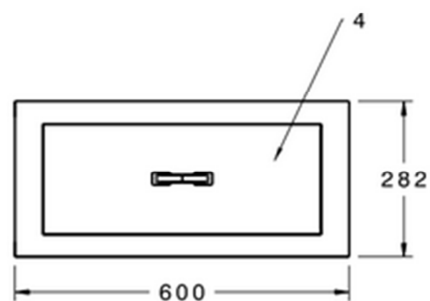


Figure 15: Vue du dessus du toit

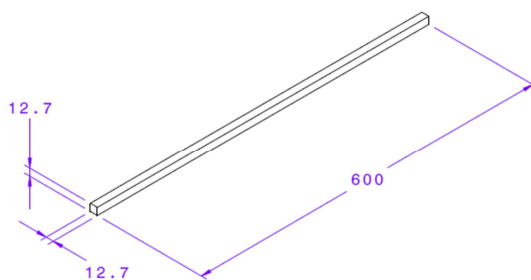


Figure 16: Butées (4 en tout)

Volume du MDF du toit : Volume butées*4+Volume MDF toit

$$V = 387\,096\text{mm}^3 + 875326,204\text{mm}^3$$

$$V = 1\,262\,422\text{mm}^3$$

Masse MDF toit = Volume MDF du toit * Densité MDF

$$m = 1\,262\,422\text{mm}^3 * 0,00000078\text{kg/mm}^3$$

$$m = 0,9847\text{kg}$$

Masse Plexiglas = Volume Plexiglas * Densité Plexiglas

$$m = 312943,018\text{mm}^3 * 0,00000119\text{kg/mm}^3$$

$$m = 0,3724\text{kg}$$

Force engendrée par le toit = Poids total du toit * $9,81\text{m/s}^2$

$$F = (0,9847\text{kg} + 0,3724\text{kg}) * 9,81\text{m/s}^2$$

$$F = 13,34\text{N}$$

Parois

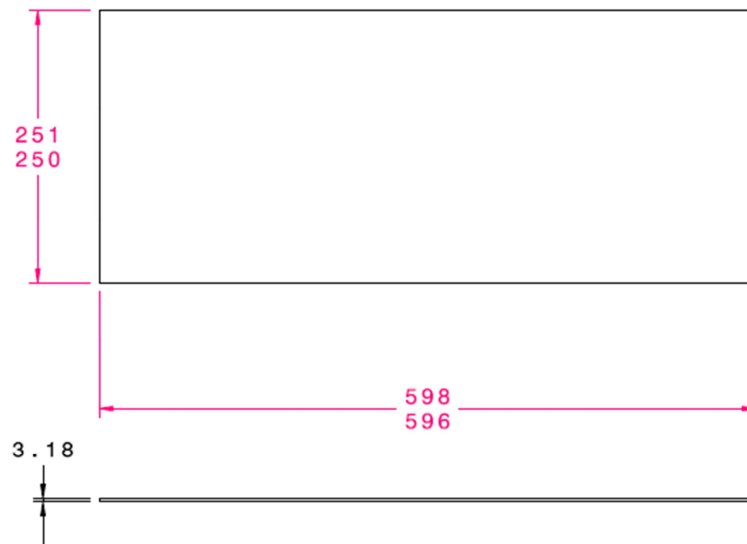


Figure 17: Parois de plexiglas

Force sur chacune des parois latérales :

$$F = \text{Force engendrée par le toit}/2$$

$$F = 5,672\text{N}$$

Aire de la coupe d'une paroi latérale de plexiglas :

$$\text{Aire} = 3.18\text{mm} * 598\text{mm}$$

$$\text{Aire} = 1901.64\text{mm}^2$$

Contrainte sur les parois latérales = Force sur chacune des parois latérales/Aire de la coupe d'une paroi latérale de plexiglas

$$\sigma = 5,672\text{N}/1901,64\text{mm}^2$$

$$\sigma = 0,00298\text{N}/\text{mm}^2$$

$$\sigma = 0.00298\text{MPa}$$

4.2.2 Conséquences et répercussions

Pour le plexiglas, le fabricant donne une limite pour la contrainte d'écrasement (compression uniaxiale du plexiglas) de 110 MPa. Ici, nous avons environ 0,03MPa. Ce résultat est extrêmement petit et signifie que la masse du toit ne crée aucune contrainte sur les parois de plexiglas. Cependant, il est clair que le flambement affecte plus significativement les parois, mais comme expliqué plus tôt, l'équipe ne possède pas les connaissances requises pour calculer le flambement. Au final, on peut dire que le poids du toit n'est pas suffisant pour faire briser les parois de plexiglas et donc que notre veine d'essais est sécuritaire, bien construite et pourra durer longtemps.

4.3 Plafond en MDF

Densité, Masse volumique moyenne (précision, $\pm 5\%$) : Pour une épaisseur de 10-12 mm : 780 kg/m³

Volume du plexiglas : $0.5 * 0.20 * 0.00318 = 0.000318 \text{m}^3$

Masse volumique du plexiglas : 1190kg/m^3

Poids du plexiglas sur le toit : $1190 * 0.000318 = 0.37842 \text{kg}$

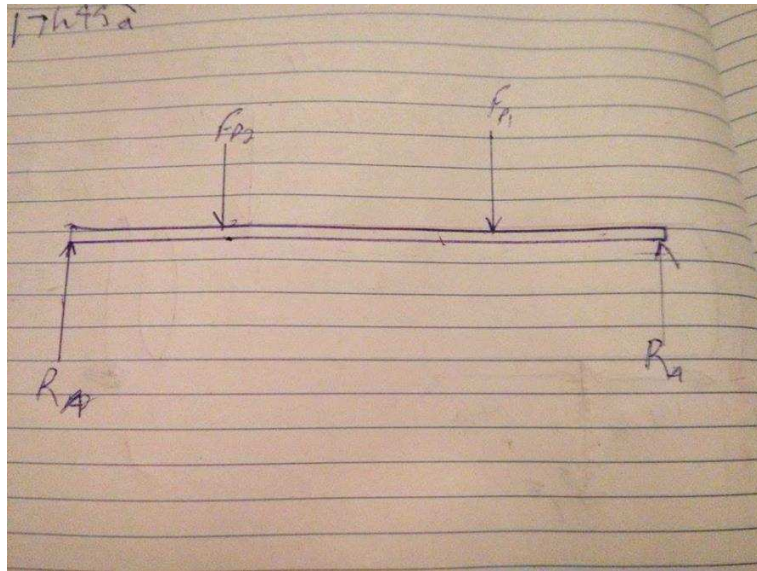


Figure 18: DCL des efforts sur le plafond

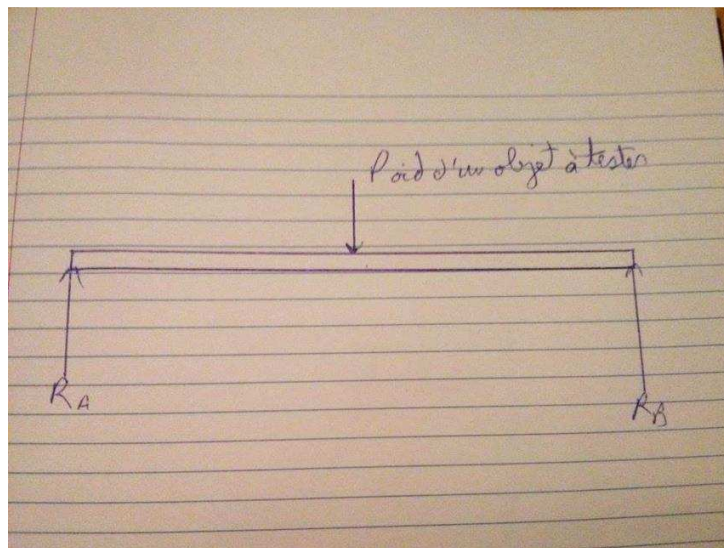
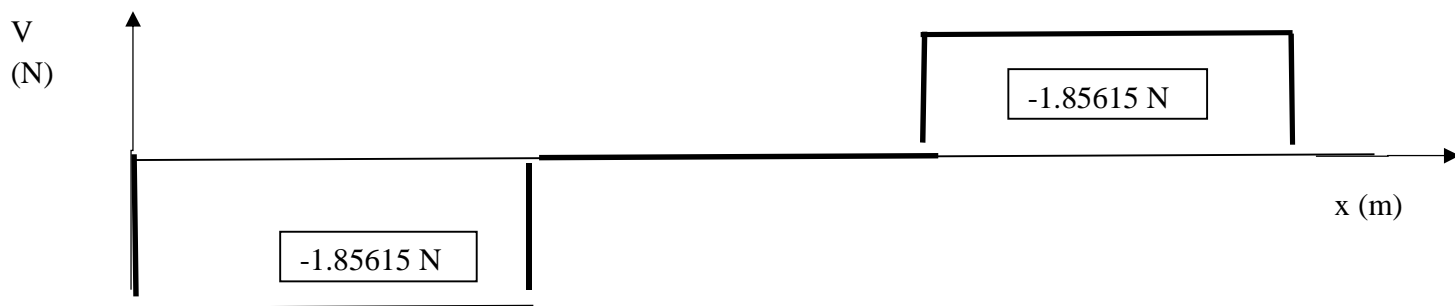


Figure 19: DCL des effort sur le plancher

$V = 0,37842 * 9.81/2 = 1.85615 \text{ N}$, valeur maximal d'effort tranchant sur le long du toit, par le graphique de V en fonction de x .



Graphique 1: Diagramme des efforts tranchants sur le plafond de MDF

$$Q = A * y = 6.35 * 600 * 3.175 = 12096.75 \text{ mm}^3$$

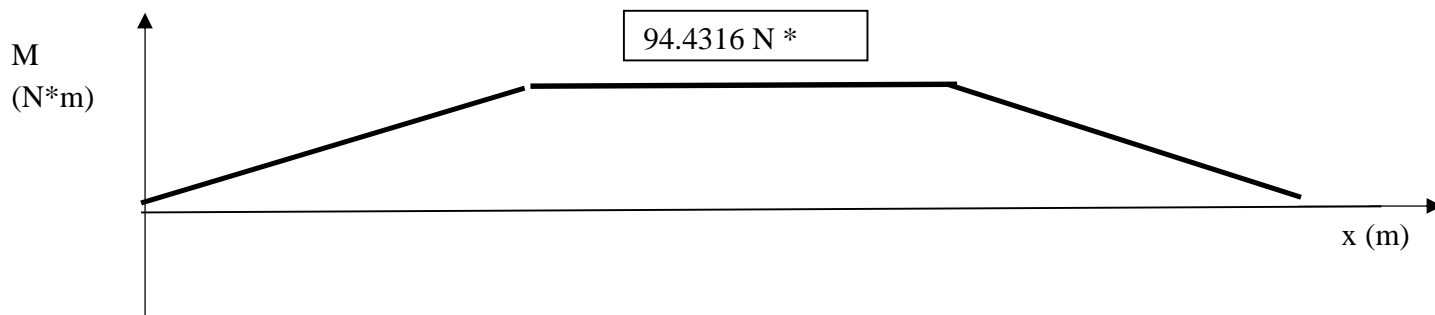
$$I = bh^3/12 = 600 * 12.7^3 / 12 = 102419.15 \text{ mm}^4$$

$b = 12,7 \text{ mm}$, endroit le plus mince dans le MDF

$$\tau_{xy} = \frac{VQ}{Ib}$$

$$\tau_{xy} = \frac{1.85615 * 12096.75}{102419.15 * 12,7} = 0.01726 \text{ MPa}$$

La résistance à la flexion du MDF est de 32 MPa, les matériaux choisis sont donc amplement capable de supporter la structure.



Graphique 2: Diagramme des efforts moments fléchissant sur le plafond de MDF

$$M = 1.85615 * 50.875 = 94.4316 \text{ N} * \text{mm}$$

$y = 6.25 \text{ mm}$, distance la plus éloignée du centroïde de la surface

$$\sigma = \frac{M y}{I}$$

$$\sigma = \frac{94.4316 * 6.35}{102419.15}$$

$$\sigma = 0.00585477 \text{ MPa}$$

La résistance maximale pour la contrainte en σ est de 0.65MPa.

Densité, Masse volumique moyenne (précision, $\pm 5\%$) : Pour une épaisseur de 10-12 mm : 780 kg/m³.

4.4 Plancher en plexiglas

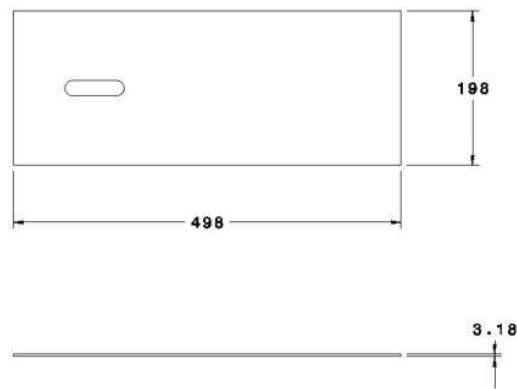


Figure 20: Plancher de plexiglas

$\tau_{\max} = 115 \text{ MPa}$ dans le plexiglas central.

$$Q = A * y = 3.175 * 500 * 3.175/2 = 2520.15625 \text{ mm}^3$$

$$I = bh^3/12 = 500 * 3.175^3/12 = 1333.5827 \text{ mm}^4$$

$b = 3.175 \text{ mm}$, endroit le plus mince dans le MDF

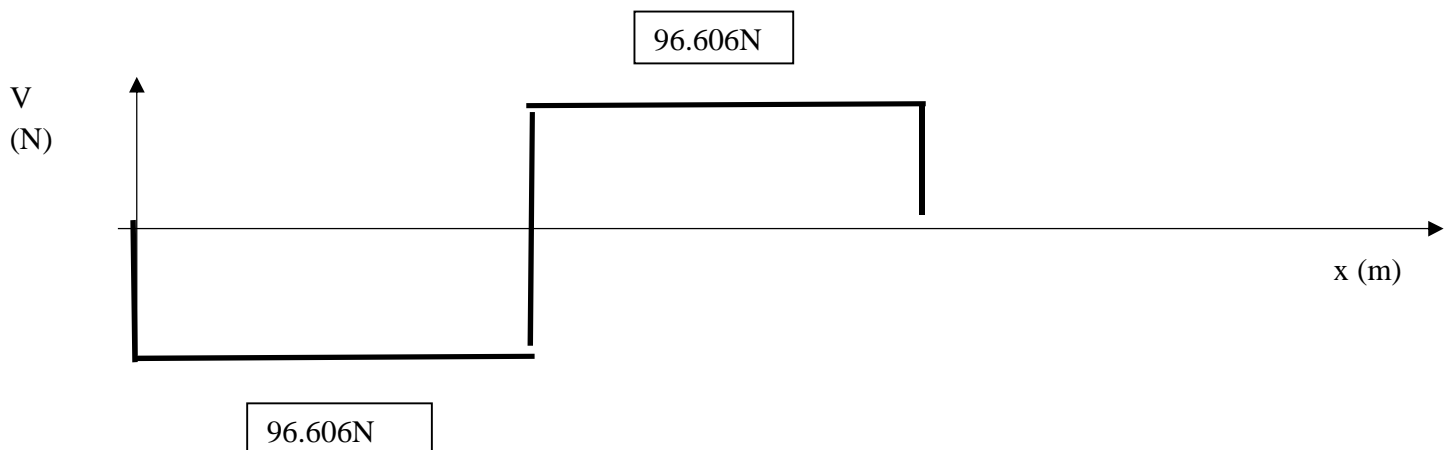
On cherche la valeur maximale de poids supportable par le plancher.

$$V = \frac{\tau_{xy} I b}{Q}$$

$$V = \frac{115 * 1333.5827 * 3.175}{2520.15625}$$

$$V = 193.212 \text{ N}$$

$$193.212/2 = 96.606 \text{ N}$$



Graphique 3: Diagramme des efforts tranchants sur le plancher en plexiglas

$$96.606/9.81 = \mathbf{9.8477 \text{ kg}}$$

Maintenant, il suffit de calculer la contrainte uniaxiale. Pour cela, il faut utiliser le I trouvé, la contrainte maximale donnée par le fabricant de plexiglas et le y, qui est la distance la plus éloignée du centroïde de la surface.

$y = 1.5875 \text{ mm}$, distance la plus éloignée du centroïde de la surface

$\sigma = 110,5 \text{ MPa}$ est choisi pour être prudent

$$M = \frac{\sigma I}{y}$$

$$M = \frac{110 * 1333.5827}{1.5875}$$

$$M = 92405.7304 \text{ N} * \text{mm}$$

$$92405.7304 / 250 = 369.623 \text{ N}$$

$$369.623 / 9.81 = \mathbf{37.678 \text{ kg}}$$

4.5 Goujon en bois d'érable

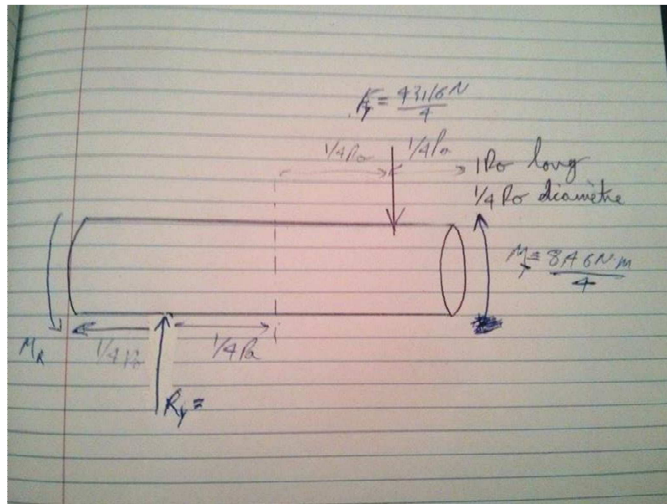


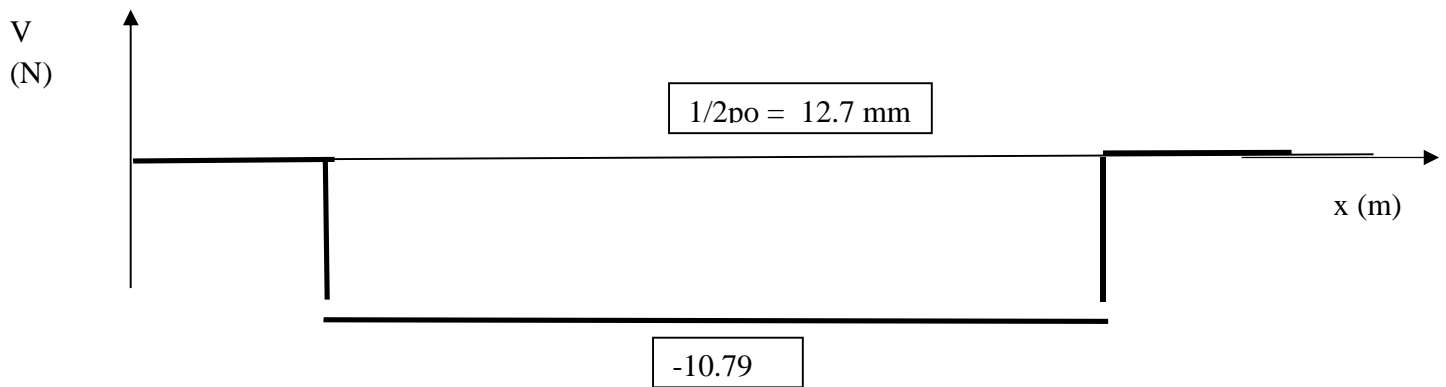
Figure 21: DCL d'un goujon de bois

$$\sum F_y = 0$$

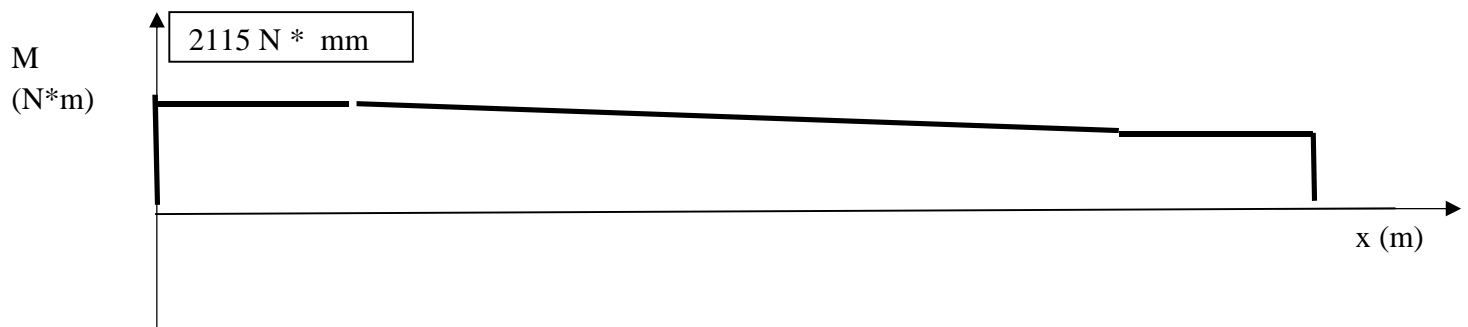
$$R_y = \frac{F_T}{4} = \frac{43.16}{4} = 10.79 \text{ N}$$

$$\sum M = 0$$

$$M_T = \frac{M_R}{4} = \frac{8.46}{4} = 2.115 \text{ N} * \text{m} = 2115 \text{ N} * \text{mm}$$



Graphique 4: Diagramme des efforts tranchants sur le goujon de bois



Graphique 5: Diagramme des moments fléchissant sur le goujon de bois

$$A = \pi * 3.175^2 = 31.67 \text{ mm}^2$$

$$Q = A/2 * y = 31.67/2 * 1.5875 = 25.138 \text{ mm}^3$$

$$I = \pi/4 * r^4 = \pi/4 * 3.175^2 = 79.81 \text{ mm}^4$$

$$b = 3.175 \text{ mm}$$

$$\tau_{xy} = \frac{VQ}{Ib}$$

$$\tau_{xy} = \frac{10.79 * 25.138}{79.87 * 3.175} = 1.07 \text{ MPa}$$

La contrainte maximale pour le bois du goujon serait $\tau_{xy} = 8.5$ à 11.0 MPa , ce qui veut dire que notre structure est suffisamment solide.

Pour la mesure du σ , $y = 3.175$ mm, distance la plus éloignée du centroïde de la surface

$$\sigma = \frac{M y}{I}$$

$$\sigma = \frac{2115 * 3.175}{79.81}$$

$$\sigma = 84.139 \text{ MPa}$$

La contrainte maximale pour le bois du goujon serait $\tau_{xy} = 85$ à 135 MPa , ce qui veut dire que la structure est suffisamment solide.

4.6 Tolérances

Cette section s'intéresse à l'étude des tolérances dimensionnelles et géométriques. L'étude de tolérances est faite dans l'objectif de garantir l'assemblage des différentes pièces lors de la fabrication de la soufflerie. Pour atteindre cet objectif, il a fallu dans un premier temps étudier la précision que peuvent fournir les équipements disponibles dans les laboratoires de fabrication du prototype et celles dans les laboratoires de notre client. Ensuite, il a fallu mettre en commun certaines tolérances qui touchent des pièces conçues par différentes équipes dans la compagnie. Suite à ces deux étapes, les décisions suivantes ont été prises:

- Aucune tolérance dimensionnelle ne peut être inférieure à 1 mm faute d'outillage disponible dans le laboratoire de fabrication.
- 2mm est la tolérance standard.
- Minimiser les études de tolérances géométriques considérant la difficulté de les respecter avec les outils disponibles dans le laboratoire.
- Deux tolérances géométriques et trois tolérances dimensionnelles ont été fixées en accord avec les autres équipes pour garantir l'assemblage.
- On suppose que les épaisseurs des matériaux fournis par nos fournisseurs sont parfaites.

Sur cette base, une étude détaillée a été réalisée pour trouver toutes les tolérances admissibles sur l'ensemble des pièces. Un total de 10 chaînes de cotes présentées sur 8 dessins présenté dans l'annexe E a permis de trouver l'intervalle de tolérances et les valeurs maximale et minimale de toutes les côtes. Les cotes non abordées dans l'étude citée ci-dessus ne présentent aucune contrainte. Ils ont eu une tolérance standard de plus ou moins un.

5. Réalisation - Système de mesure et composants

5.1 Calculs choix et justifications

Les résultats sont présentés dans le tableau en annexe C. À titre de comparaison, le centre géométrique de la soufflerie a également été calculé selon le même principe que pour le centre de masse.

m (kg)	\bar{x} (mm)	\bar{y} (mm)	\bar{z} (mm)
11,40	523,10	141,29	152,09

Tableau 1: Position du centre de masse et masse de la soufflerie

Position	x (mm)	y (mm)	z (mm)
Valeur	430,50	140,37	120,48

Tableau 2: Position du centre géométrique de la soufflerie

Ces résultats sont effectivement très plausibles, compte tenu de la quasi-symétrie de la soufflerie. En effet, il est possible de remarquer la grande similitude entre les valeurs de centre de masse et de centre géométrique, avec une certaine divergence là où il y a de plus grands espaces vides.

Au final, la soufflerie a donc une masse totale de 11,40 kg, masse exerçant sa force au point (523,10 ; 141,29 ; 152,09) mm par rapport au coin inférieur opposé à la tuyère face à l'observateur. On peut donc utiliser la formule $F = m \cdot a$ pour calculer la force exercée par le poids de la soufflerie. Le DCL suivant illustre la force appliquée sur la soufflerie par le poids de celle-ci et de sa réaction à la base. La réaction est équivalente et de sens opposé à la force exercée par le poids. Toutefois, la réaction est répartie sur la surface de la base.

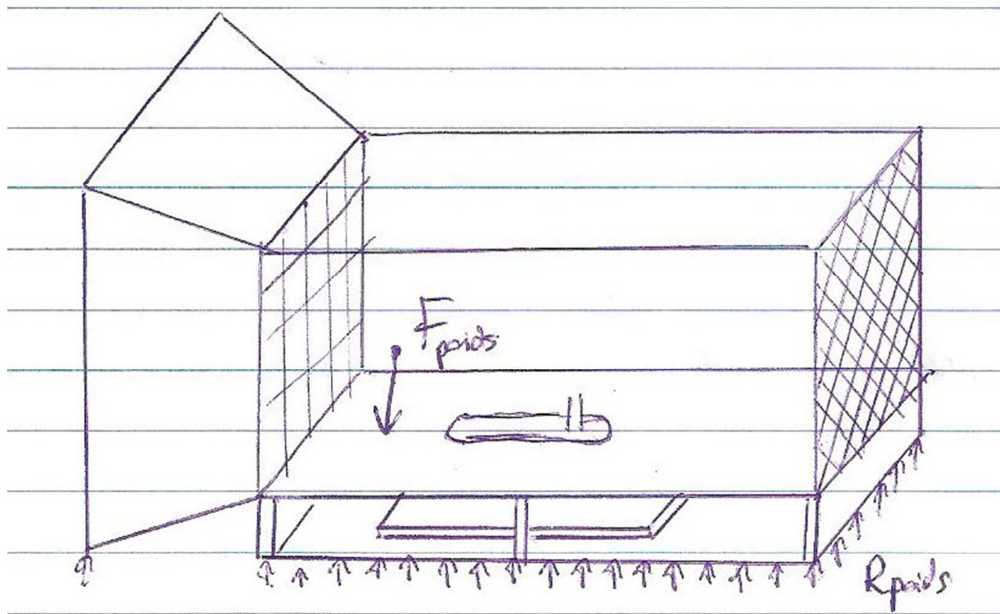


Figure 22: DCL du poids agissant au centre de masse

5.2 Conséquences et répercussions

À l'aide de ce calcul, le centre de masse a été trouvé. Cette mesure sera utile à l'équipe, car celle-ci doit mesurer le poids de la soufflerie à l'aide d'une balance traditionnelle. Le poids estimé de la soufflerie (11,40 kg) permet d'affirmer que la balance sera capable de mesurer un poids similaire à cela. Cependant, l'imprécision de la balance, qui sera abordée plus tard, fait en sorte que le résultat obtenu lors des tests ne sera pas exactement équivalent à la masse estimée. De plus, l'utilité d'avoir trouvé le centre de masse est de pouvoir positionner la soufflerie adéquatement sur la balance lors des tests. En effet, le résultat de masse le plus précis sera obtenu en positionnant le centre de masse au centre de la balance. L'autre utilité du centre de masse est de pouvoir estimer efficacement comment placer les cordes lors du test de centre de masse effectué plus tard pour pouvoir trouver la valeur réelle de celui-ci.

5.3 Tolérances

Dans cette section deux études de tolérances sont importantes. La tolérance dimensionnelle relative aux dimensions de la plaque qui va supporter la soufflerie sur l'appareil de pèse-personne ainsi que l'imprécision de la valeur du poids affiché par l'appareil pèse-personne.

Tolérance dimensionnelle relative à la plaque:



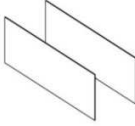
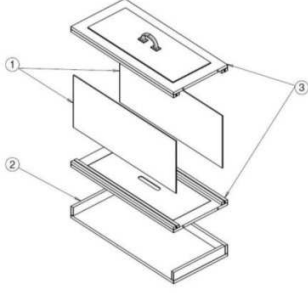
La plaque qui va supporter la soufflerie au complet doit être assez grande pour pouvoir la supporter. Pour éviter tout problème potentiel, la plaque utilisée a été conçue pour qu'elle permette un jeu minimal de 10 mm par rapport à la longueur et à la largeur. Dans l'annexe F se trouve un schéma détaillé.

Erreur de mesure du pèse-personne:

Faute de disponibilité d'équipement, le poids de la soufflerie sera évalué par un simple pèse-personne destiné à l'utilisation personnelle. L'estimation d'erreur relative à cet appareil est d'environ 0.5 kg. Pour pouvoir obtenir le poids de la soufflerie, il faut d'abord calculer le poids du support à vide. Cette opération supplémentaire multiplie deux fois l'erreur soit un total de 1 kg d'erreur possible sur cet appareil.

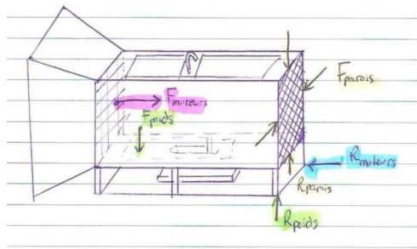
Fiche RÉALISATION – Veine d'essais

But de la fiche : Cette fiche présente les informations pertinentes pour la réalisation de la soufflerie. Elle ne dit pas comment fabriquer chacune des pièces individuelles. Se fier à la gamme de fabrication pour ces informations.

Pièces requises (avec les matériaux utilisés)		
<p>1. Toit et faux-fond</p>  <p>MDF et acrylique</p>	<p>2. Base</p>  <p>MDF</p>	<p>3. Parois en acrylique</p>  <p>Acrylique</p>
Étapes de réalisation		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Coller le faux-fond au dessus de la base de façon à ce que les côtés soient parfaitement alignés ensemble. Utiliser une colle à meuble tel que de la colle Lepage™ 2. Glisser les parois en acrylique dans les butées prévues à cet effet sur le dessus du faux-fond. Les parois peuvent être insérer à partir de l'extrémité des butées en les glissant le long des butées ou elles peuvent être déposées entre les butées. 3. Mettre le toit. Celui-ci possède deux butées situées sur la face du bas où les parois de plexiglas iront se glisser. La façon d'insérer le plexiglas dans les butées du toit est la même que dans les butées du faux-fond. 		
Prix estimé des matériaux	Vue éclatée	
<ul style="list-style-type: none"> • Plexiglas : Environ 35\$ • MDF : Environ 20\$ 		
Outils utilisés		
<ul style="list-style-type: none"> • Colle à meuble 		

Fiche analyse – Forces externes

Diagramme du corps libéré



Définition des symboles avec leurs résultats

F_{moteur} -> La force exercée par la soufflerie selon l'axe de l'écoulement

R_{moteur} -> La réaction de la force du moteur sur la base de la soufflerie

F_{poids} -> La force exercée par le poids de la soufflerie à son centre de masse

R_{poids} -> La réaction du poids sur base de la soufflerie

F_{parois} -> La force exercée par le différentiel de pression sur les parois

R_{parois} -> La réaction de la pression sur la base

Équations

Le besoin de trouver le centre de masse de la soufflerie est essentiel pour situer le poids de la soufflerie. Pour ce faire on utilise les équations suivantes :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{x}_i \times m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{y}_i \times m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{z}_i \times m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

Pour le calcul des forces appliquées par le poids et par le différentiel de pression sur les parois de la soufflerie, on utilise respectivement les formules ci-dessous.

$$\begin{aligned} \rightarrow F_{\text{poids}} &= m \cdot a \\ \rightarrow F_{\text{parois}} &= A \cdot P \end{aligned}$$

Valeurs des constantes

$a \rightarrow 9,81 \text{ N/kg}$

Interpretations

Avec le diagramme du corps libéré, on stipule comme hypothèse que la force F_{parois} s'annule étant donné que cette force est appliquée tout autour de la veine d'essai à l'exception de celle appliquée sur la surface supérieure. De plus, les réactions verticales sur la base équilibrent la force appliquée par le poids et la pression, tout comme la réaction horizontale de la base équilibre la force du moteur. Toutes les forces doivent s'annuler pour maintenir la structure stable.

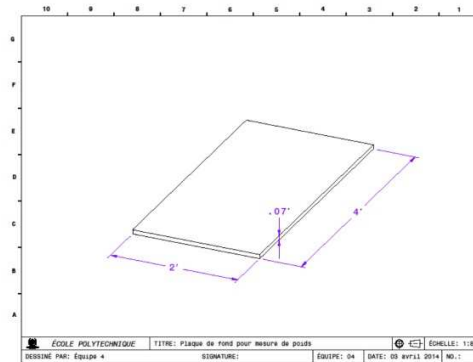
Fiche RÉALISATION – Mesure du poids

L'équipe a eu comme mandat de mesurer le poids total de la soufflerie. Nous avons décidé d'utiliser une pesée personnelle de maison et un système pour arriver à cette fin.

Plaque de mesure :

Une grande plaque est utilisée pour installer l'entière de la soufflerie

- MDF, ½ pouce d'épais
- 4 pieds par 2 pieds
- Coûts : 1 plaque MDF -> 5.48\$



Pèse-personne:

Une balance sera utilisée pour déterminer le poids de l'ensemble.

- Commencer par mesurer la plaque de MDF seule.
- Installer la soufflerie sur la plaque
- Placer la plaque sur la balance
- S'assurer que la balance est située sous le centre de gravité afin de la garder stable.

Centre de Gravité	Partant du coin sup. droit de la vue iso
X	299.91 mm
Y	140.37 mm
Z	120.48 mm



Calcul de poids :

$$m_{\text{soufflerie}} = m_{\text{total}} - m_{\text{plaque}}$$

Estimation de la masse de la soufflerie :
9,78 kg

Précision de la balance :

Balance : 100g / 0.2lb

Fiche analyse des efforts internes du toit MDF et du plancher plexiglas

L'un des requis de la soufflerie est bien sur la résistance des pièces à l'interne. La résistance du plafond (pièce 1) et du plancher en plexiglas (pièce 5) est essentielle pour atteindre ce but. Le calcul de résistance de ces deux pièces est primordial.

Plafond MDF

Matériau : bois MDF

Calcul :

- Résistance aux chargements uniaxiaux
- Résistance à la flexion
- Pas de torsion ni de flambement

Plancher plexiglas

Matériau : plexiglas

Calcul :

- Résistance aux chargements uniaxiaux
- Résistance à la flexion
- Pas de torsion ni de flambement

Formule de calcul
de la résistance :

Plafond MDF

$$\tau_{xy} = \frac{VQ}{Ib}$$

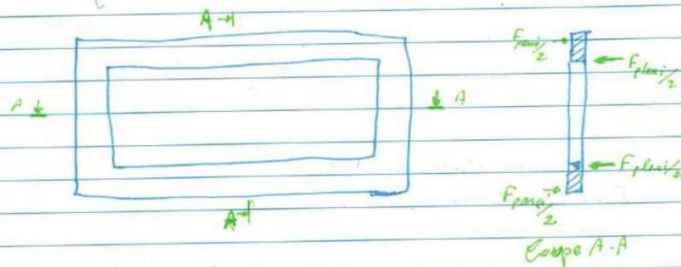
$$\sigma = \frac{My}{I}$$

Plancher plexiglas

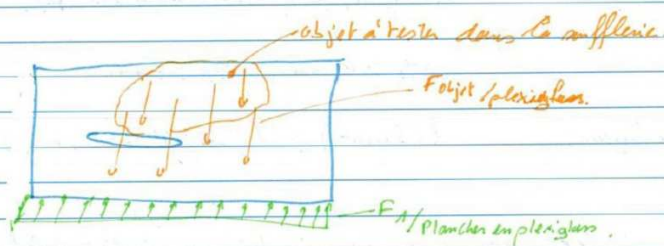
$$V = \frac{\tau_{xy} I b}{Q}$$

$$M = \frac{\sigma I}{y}$$

DCL1: Toit en MDF (pièce numéro 2)



DCL5: Plancher en plexiglas (pièce 5)



La pièce 2 sur le cadre - plancher en MDF

Fiche RÉALISATION – Plexiglas du toit et du plancher

L'un des requis de la soufflerie est bien sur la visibilité interne. La confection des plaques de plexiglas est essentielle pour atteindre ce but. La réalisation des plaques du fond et du toit est primordiale.

Plafond

Matériaux : Plexiglas, aluminium (poignée), bois (la traverse)

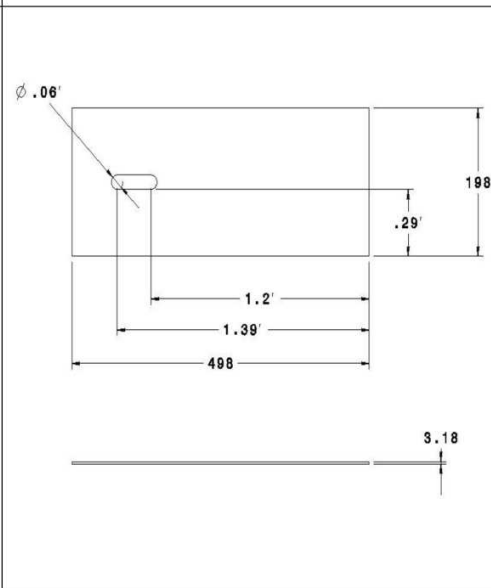
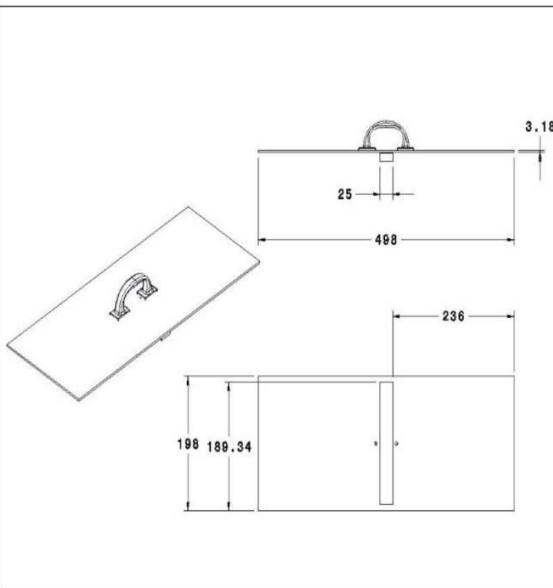
Outil : Perceuse avec mèche à bois qui fonctionne pour le plexiglas aussi, scie sauteuse et à ruban

Plancher

Matériaux : Plexiglas

Outil : Perceuse, scie sauteuse et à ruban.

Pour le trou en long, faire 2 trous aux extrémités de 13 à 17 pouces à partir de la droite et de 3/4 de pouce de large.



Résistance :

$$\tau_{xy} = 0.02806 \text{ MPa} \quad \sigma = 0.012027 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy,max} = 32 \text{ MPa} \quad \sigma_{max} = 0.65 \text{ MPa}$$

Résistance :

Poids max au centre du plancher en plexiglas :
6.67 kg

6. Fabrication et essais

6.1 Sous-ensemble artisanal réalisé & système de mesure



Figure 23: Soufflerie artisanal compagnie équipe 2, 4,7

Sur la figure 23, les trois sous-ensembles de chacune des équipes sont assemblés et forment la soufflerie finale de la compagnie. Pour la partie structure, on aperçoit très bien les différentes composantes de la structure assemblée.

De plus, sur cette image, on peut remarquer une partie du système de pesée choisi par l'équipe. La planche de MDF 2x4 pieds servira pour le système de pesée. Elle sera déposée sur un pèse-personne avec la soufflerie reposant sur la planche comme sur la photo ci-dessus (voir protocole de mesure de poids à la section 7.1)

L'ensemble artisanal a été réalisé par l'équipe à l'aide de l'outillage disponible à l'atelier du cours de projet intégrateur. La liste suivante donne un résumé des étapes de fabrication de la veine d'essais (pour plus de détails sur les étapes de fabrication, voir la *Gamme de fabrication*) :

1. Parois d'acrylique

2. Base de MDF
 - a. Fond de la base
 - b. Parois de la base
3. Toit et faux-fond
 - a. Cadres structuraux
 - b. Butées de maintien des parois
 - c. Plafond et faux-fond en acrylique
 - d. Poignée
4. Assemblage des composants de la veine

Au final, quelques variantes ont été apportées au produit final si on compare avec le modèle théorique (voir dessin de vue isométrique de l'ensemble dans la gamme de fabrication en annexe).

- La poignée a été disposée de façon à être vissée avec le support du plafond.
- Les deux butés les plus courtes de chaque cadre pour retenir l'acrylique ont été omises pour réduire le poids de la soufflerie et optimiser la visibilité.
- La paroi centrale de la base a été retirée pour améliorer l'accessibilité du système de mesure.

6.2 Interfaçage avec les autres sous-systèmes

Plusieurs interfaces sont nécessaires pour l'assemblage final de la soufflerie, tel que démontré sur la figure 23 de la section 6.1. La liste qui suit donne les interfaces requises:

- Base de la veine : fixation des rails pour l'assemblage du système de mesure
- Parois de la base : accrochage du dynamomètre
- Support à modèle : accrochage de modèles aérodynamique au plafond
- Trou du faux-fond : assemblage du système de mesure
- Cadre de MDF de la tuyère : assemblage avec goujons du groupe tuyère/bloc moteur
- Grillage : fermeture de la sortie d'air de la veine d'essais

L'interfaçage est dépendant des dimensions de chacune des composantes de la structure. Pour s'assurer d'un assemblage final fonctionnel, les parties fabriquées doivent respecter le plus fidèlement possible les grandeurs des dessins de détails. Pour une description plus complète de l'assemblage final voir la *Gamme de fabrication*.

6.3 Sensibilité du système de mesure réalisé

La sensibilité du système de mesure est dans le cas de ce présent rapport, liée à la précision de la mesure du poids de la soufflerie assemblée. Tel que décrit précédemment, la mesure se fait par l'entremise d'une planche sur laquelle repose la soufflerie. Le tout est ensuite déposé sur un pèse-personne à affichage numérique.

Voici une liste des différentes causes en lien avec la sensibilité du système de mesure du poids :

- L'incertitude relié au pèse-personne;
L'erreur instrumentale de la balance utilisée est donnée par le fabricant. Il s'agit de $\pm 100\text{g}$. Cette incertitude est à prendre en compte lors du calcul.
- L'incertitude en lien avec le centre de masse;
La planche doit être déposée sur la balance de façon à ce que le pèse-personne soit sous le centre de masse. Les calculs du centre de masse ne sont pas parfait et le positionnement lors de la pesé risque d'affecter la lecture du poids sur la balance.
- L'incertitude causée par les calculs;
Du aux précédentes incertitudes, il va de soi que les calculs seront parsemés d'imprécisions. De plus, il est nécessaire d'effectuer trois lectures pour pouvoir soustraire le poids de la planche (voir protocole de mesure de poids à la section 7.1), ce qui augmente l'imprécision.

7. Tests, analyse et interprétation des résultats

7.1 Protocole de mesure du poids

La technique utilisée pour peser la structure de la soufflerie est plutôt simple. Il consiste à utiliser une balance (iFit) ainsi qu'une grande planche de bois. La caractéristique de cette balance est qu'elle affiche la valeur de la masse pesée pendant environ 10 secondes après le retrait de la masse. Les étapes suivantes explicitent les actions nécessaires à la prise du poids.

1. Initialiser le compteur de la balance à 0.
2. Mettre la planche de bois seule sur la balance.
3. Retirer la planche et noter la valeur de masse indiquée.
4. S'assurer que le compteur est bien revenu à 0.
5. Mettre la planche de bois, sur laquelle repose la soufflerie, sur la balance.
6. Retirer le tout et noter la valeur de masse indiquée.
7. Soustraire la masse de l'ensemble de la masse de la planche.
8. Répéter les étapes 1 à 7 trois fois.
9. Effectuer une moyenne des trois valeurs de masse de la soufflerie.



Figure 24: Balance utilisé pour peser la soufflerie

7.2 Écart entre la valeur calculée et la mesure obtenue

Ce chapitre du rapport présente les résultats obtenus lors des essais en classe. Cela se fera à l'aide d'analyses, de tableaux de données et de graphiques afin de couvrir en détails les différentes parties des tests.

Cette section débutera par la présentation des résultats à l'aide de tableaux. Il y sera discuté de la différence entre les valeurs calculées et les valeurs obtenues expérimentalement. Ensuite, les aspects positifs de la structure de la soufflerie seront présentés, sans oublier les points à améliorer. De plus, les causes d'erreurs en expérimentations ainsi que les problèmes à régler seront aussi traités.

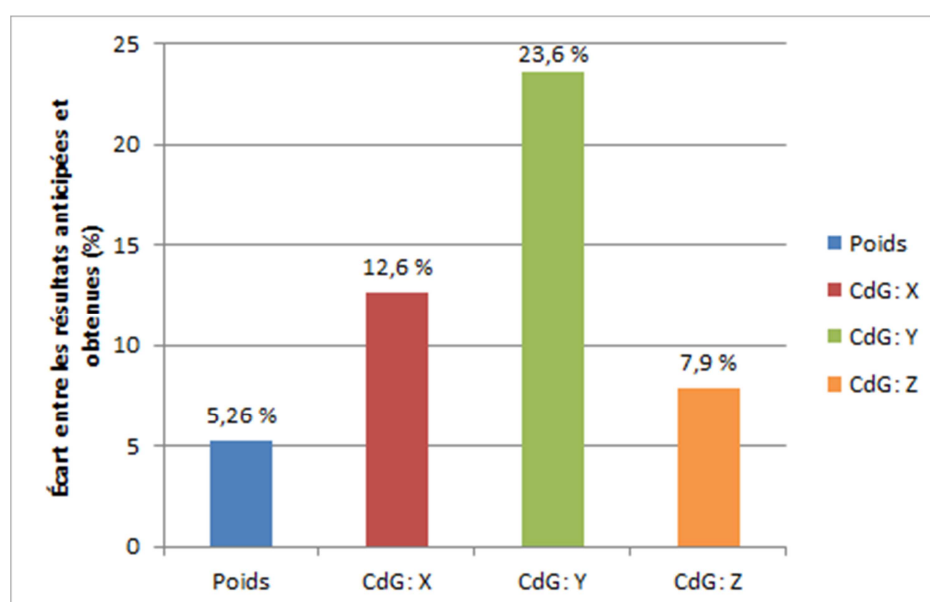
Cette partie s'assure de conclure le développement de la soufflerie en présentant les performances et en décrivant les différentes améliorations futures qui pourrait être mises en place pour une prochaine étude de cas.

	Anticipés	Obtenus
Poids	11.4 kg	10.8 kg
Centre de gravité en x	523.10 mm	457 mm
Centre de gravité en y	141.29 mm	108 mm
Centre de gravité en z	152.09 mm	140 mm

Tableau 3: Résultats anticipés et obtenus pour les tests du poids et du centre de gravité

	Pourcentage d'erreur
Poids	5.26%
Centre de gravité en x	12.6%
Centre de gravité en y	23.6%
Centre de gravité en z	7.9%

Tableau 4: Pourcentage d'erreur sur les résultats obtenus



Graphique 6: Écart en pourcentage entre les valeurs calculées et mesurées

7.3 Interprétations des écarts

7.3.1 Hypothèses des causes des écarts

Les résultats anticipés et ceux obtenus lors des essais expérimentaux, illustrés ci-haut, montrent quelques écarts. Pour bien pouvoir expliquer ces écarts, il faut prendre en compte nos hypothèses de départ.

Dans un premier temps, en ce qui concerne l'écart du centre de gravité, dans nos hypothèses de départ, un instrument de la soufflerie n'a pas été pris en compte lors du calcul. En fait, le transformateur n'a pas été inclus dans les calculs. Cet oubli a causé un écart significatif entre les résultats calculés et ceux obtenus à travers l'évaluation expérimentale.

Dans un autre temps, on remarque que le poids obtenu est plus léger que celui calculé. Ce résultat plutôt flagrant peut être expliqué par les calculs et l'imprécision lors de la construction. En fait, lors des calculs, la densité MDF (medium density fiber) a été trouvée sur internet. Cette constante n'est pas absolue, ce qui peut expliquer un certain écart entre le résultat calculé et celui obtenu. De plus, lors de la construction, il a fallu faire face à plusieurs incertitudes. En effet, les manœuvres effectuées n'avaient pas une précision parfaite et que les instruments utilisés avaient tous une incertitude à prendre en compte. Ces imprécisions expliquent à nouveau l'écart entre nos calculs et le résultat obtenu lors de l'essai.

7.3.2 Aspects positifs

Malgré l'écart entre les résultats des calculs et ceux obtenus lors des essais, plusieurs aspects positifs de la soufflerie se doivent d'être soulignés.

Tout d'abord, la démonstration a illustré la praticabilité en terme de rangement. La soufflerie se démonte et s'assemble dans un temps réduit (45 secondes à deux personnes) tout en minimisant l'espace utilisé en cas de rangement.

Ensuite, le poids final de la soufflerie répond tout à fait aux besoins du client. En effet, la soufflerie a un poids si léger qu'elle peut facilement être transportée par un seul membre du personnel de l'école secondaire ou même par des élèves. Le faible poids du prototype est dû au fait que chacune des composantes est compacte et en matériaux suffisamment légers. Il n'y a pas d'éléments inutiles dans l'assemblage.

De plus, la structure est faite de manière à cacher toutes les composantes électriques, les composantes de mesure de portance ainsi que les différentes parties de la génération du flux d'air. En effet, cela permet d'assurer d'une sécurité pour les jeunes du secondaire qui vont vouloir toucher et interagir avec la soufflerie. De plus, cela simplifie de beaucoup l'utilisation de la soufflerie puisque rien ne se déplace. Elle est donc très simple à assembler. Les différents

systèmes de mesure de portance et de traînée étant protégés par la structure, il y a très peu de chance que ceux-ci se brisent, même s'ils sont plus fragiles.

Le prototype a aussi une belle apparence. Effectivement, un prototype avec une belle finition permet toujours de faire meilleure impression avec les clients ou les investisseurs, ce qui n'est pas un aspect à ignorer.

Pour terminer, le fait que la soufflerie se pose directement sur une table est un avantage, car cela permet une bonne hauteur pour la visibilité. Les pattes deviennent donc superfétatoires à la stabilité de la structure.

7.3.3 Éléments à améliorer

Un des éléments à améliorer pour la soufflerie serait la sécurité de celle-ci. En effet, M. Morissette, le client, a affirmé que le prototype était extrêmement intéressant. Cependant, elle présente une lacune dans la sécurité au niveau de la tuyère en coroplast. Considérant que l'hélice se trouve dans cette section, il faut s'assurer qu'un bris mécanique de celle-ci n'entraînerait aucun danger pour les élèves. Le problème avec le prototype est que l'épaisseur du coroplast de la tuyère est trop mince pour résister à l'impact d'un projectile venant du moteur. Supposons que le bout d'une pale se détache lors d'un essai, ce bout de pale possédera une immense vitesse due à la force rotationnelle causée par le moteur. Cette immense vitesse entraînera une très grande énergie cinétique. Pour que la soufflerie soit sécuritaire, le matériau de la structure entourant l'hélice se doit d'absorber l'énergie du projectile sans briser. Or, le coroplast de la tuyère est très mince et ne résistera certainement pas à l'impact d'un projectile à haute vitesse. Un moyen de remédier à cette lacune serait de renforcer la tuyère avec un matériau plus solide tel que le bois ou le MDF, selon la disponibilité de la ressource. Cependant, il est à noter que cet ajout augmenterait la masse totale de la soufflerie, donc il serait judicieux de trouver l'épaisseur nécessaire pour prévenir le bris de la tuyère sous un impact sans mettre une épaisseur excessive qui augmenterait trop significativement le poids total de la soufflerie.

Il pourrait être intéressant d'explorer un agrandissement de la veine d'essai pour avoir une visibilité accrue et pour permettre l'installation de plus grandes structures à tester.

Aspect positif	Aspect à améliorer
Rangement	Sécurité
Montage et démontage	Matériaux plus solide
Poids	Taille de la veine d'essai
Apparence	
Solidité et rangement pour les parties	
Stabilité	

Tableau 5: Résumé des aspects positifs et à améliorer

7.3.4 Solutions possibles

Afin d'obtenir de meilleurs résultats avec de plus petits écarts entre les valeurs anticipées et celles obtenues, l'équipe a pensé à différentes solutions pour les tests du poids et du centre de gravité.

Dans le cas d'une reprise de ces tests, l'équipe referait ses calculs avec plus de minutie en négligeant le moins de pièces possible et en prenant les mesures le plus exactement possible. Ainsi lors de la fabrication des pièces de la structure, l'équipe tenterait d'obtenir des dimensions les plus près possible de celles utilisées dans les calculs afin de réduire l'écart des résultats sur la mesure du poids.

De plus, pour les résultats du centre de gravité, l'équipe ajusterait ses calculs à la fin de la construction de la soufflerie pour ne pas oublier de pièces importantes provenant des autres équipes de la compagnie, tels que le moteur et les accessoires qui l'accompagnent.

Ce chapitre s'est penché sur les résultats obtenus et les écarts de ces résultats avec les résultats anticipés. Des hypothèses ont été émises en rapport avec ces écarts et des solutions ont été pensées pour remédier à ces écarts si les tests étaient à refaire. Finalement, dans un esprit de rétroaction, les aspects positifs et négatifs de la soufflerie ont été étudiés, suite à la présentation du prototype au client.

Les écarts entre les valeurs calculées et les valeurs mesurées sont acceptables, considérant la faible valeur de ces écarts. De plus, les justifications apportées expliquent la valeur de ces écarts. Les hypothèses apportées permettent d'éviter de refaire ces erreurs à l'avenir.

En fin de compte, la soufflerie est un succès pour l'équipe. En effet, celle-ci a été très appréciée par le client. Son faible poids, son assemblage aisé et l'espace requis pour la ranger en font une solution viable pour les écoles secondaires. Cependant, l'épaisseur du coroplast dans la tuyère entourant le moteur fait en sorte que la soufflerie possède une lacune au niveau de la sécurité. Par contre, cet aspect est facile à améliorer, car il est aisé de rajouter des matériaux dans la tuyère pouvant résister à l'impact d'un projectile à haute vitesse.

8. Tableaux synthèses des pièces et du produit

8.1 Nomenclature et numérotation des pièces

La nomenclature et la numérotation des pièces sont données pour simplifier la compréhension et la facilité de la lecture des dessins d'ensemble et de détails (voir dessins dans la gamme de fabrication).

Remarque : Il est important de ne pas confondre la numérotation des pièces avec le numéro de la représentation dans la gamme de fabrication.

Numérotation	Ensemble de pièces	Nombre de pièces de l'ensemble
1	Cadres (plafond et faux-plancher)	2
2	Parois latérales en plexiglas	2
3	Fond de la base	1
4	Plafond en plexiglas	1
5	Faux-Fond en plexiglas	1
6	Grande parois de la base	1
7	Moyenne parois de la base	2
8	Petite parois centrale de la base	1
9	Butée de mise en place des parois latérales	8
10	Butée de mise en place des pièces 4 et 5	8
11	Support de soutien pour modèle	1
12	Goujons	8
13	Poignée	1

Tableau 4: Numérotation des pièces pour les dessins d'ensemble et de détail

8.2 Coûts-matière, poids, dimensions et justifications

Description	Date de l'achat	Montant prévu	Montant réel	Cause de la variation
Plexiglas (acrylique)	22/03/2014	\$30.17	\$36.66	Le prix était un peu plus cher à l'endroit où le magasinier a été et des frais de coupes étaient à déboursier.
MDF	22/03/2014	\$9.21	\$21.95	Impossible d'acheter la dimension de départ prévue. Il a fallu acheter en gros format.
Vis	22/03/2014	\$0.00	\$1.23	Les vis ont été oubliées lors de l'estimation.
Poignée	-	\$0.00	\$0.00	La poignée a été fournie par un membre de l'équipe.
Colle	-	\$0.00	\$0.00	La colle a été fournie par un membre de l'équipe.
Reliure de plastique	03/04/2014	\$1.00	\$2.64	Le nombre de reliure nécessaire était plus élevé que prévu.
Grillage	-	\$0.00	\$0.00	Le grillage a été offert par l'équipe N°3. Gracieuseté de Philippe Murray.
Trombones	-	\$0.00	\$0.00	Les trombones ont été fournis par un membre de l'équipe.
Goujons	22/03/2014	\$0.00	\$0.00	Les goujons ont été achetés par une autre équipe de la compagnie (éqp.2) et le prix est noté dans leur rapport.
Pèse-personne	-	\$0.00	\$0.00	Le pèse-personne, pour le système de pesé, est fourni par un membre de l'équipe.

	Sous-total :	\$40.38	\$62.48	
	Taxes (15%) :	\$6.06	\$9.37	
	Total :	\$46.44	\$71.85	

Tableau 5: Coût des pièces de la veine d'essais

Sections	x (mm)	y (mm)	z (mm)
Mur de plexis (1)	600	3.175	250
Mur de plexiglas (2)	600	3.175	250
Couvercle	600	281.75	12.7
-Trou	500	200	12.7
+ Plaque de Plexiglas	498	198	3.175
Plancher	600	281.75	12.7
Faux-fond	600	281.75	12.7
-Trou	500	200	12.7
+ Plaque de Plexiglas	498	198	3.175
-Trou plexiglas	76.2	19	3.175
Bord du plancher (côté fond)	600	12.7	40.3
Bord du plancher (côté court 1)	12.7	269.05	40.3
Bord du plancher (côté court 2)	12.7	269.05	40.3

Tableau 6: Dimensions des pièces de la veine d'essais

Justifications des dimensions

Les dimensions ont été choisies en respectant les requis du client et en collaboration avec les deux autres équipes de la compagnie. Certains choix ont dû être révisés :

1. Zone utilisable : La dimension de départ de 30 cm x 30 cm a été réduite à 25 cm x 25 cm dans une optique de réduction du poids et afin de permettre à l'équipe de génération de flux d'air la création d'un meilleur écoulement à plus grande vitesse.
2. Trou plexiglas : La dimension du trou a été estimée pour le calcul des dimensions, mais a été ajusté concrètement lors de l'assemblage final avec le système de mesure de l'équipe 7.
3. Autres pièces : Les dimensions des autres pièces ont été ajustées pour satisfaire à la nouvelle dimension de la veine d'essais.

Sections	V(mm ³)	p (kg/mm ³)	m(kg) = V*p
Mur de plexiglas (1)	476250	0.00000119	0.5667375
Mur de plexiglas (2)	476250	0.00000119	0.5667375
Couvercle	2146935	0.00000078	1.6746093
-Trou	-1270000	0.00000078	-0.9906
+ Plaque de Plexiglas	313067.7	0.00000119	0.372550563
Plancher	2146935	0.00000078	1.6746093
Faux-fond	2146935	0.00000078	1.6746093
-Trou	-1270000	0.00000078	-0.9906
+ Plaque de Plexiglas	313067.7	0.00000119	0.372550563
-Trou plexiglas	-4596.765	0.00000119	-0.00547015035
Bord du plancher long	307086	0.00000078	0.23952708
Bord du plancher loin	137702.4805	0.00000078	0.10740793479
Bord du plancher proche	137702.4805	0.00000078	0.10740793479
Somme	6057334.596		5.37007682523

Tableau 7: Volume et masse de la veine d'essais

Justification du poids

Le poids de chaque pièce a été calculé à partir de ses dimensions et de sa densité. Certaines pièces ont été négligées, car elles n'affectent pas le poids de la soufflerie finale tellement elles sont légères. Par exemple, les goujons, la poignée, les trombones, les reliures, le grillage et la colle n'ont pas été pris en considération lors des calculs considérant leur taille et leur poids minime comparativement aux autres composantes de la structure.

En tout, le poids estimé de la partie structure de la veine d'essai est de 5.37 kg. Ce poids respecte amplement les exigences que l'équipe avait établies pour le respect des besoins du client.

Conclusion

Ce rapport répond au but de concevoir la soufflerie finale à partir du concept choisi dans l'étude de cas deux. L'étude de cas trois consiste à faire la réalisation d'un prototype de la soufflerie pour illustrer le produit final au client.

Avec des analyses des efforts internes et des efforts externes de la veine d'essais, l'équipe en est venu au point d'affirmer que la veine d'essais sera stable, sécuritaire et durable. De plus, la veine d'essais répond aux besoins du client, qui a été recontacté pour l'occasion. En effet, la veine d'essais utilise des matériaux à faible masse volumique, qui sont facilement accessibles et peu dispendieux. Finalement, le processus de fabrication est accessible et assez simple pour être fait facilement dans les écoles.

Ce dernier rapport vient compléter la boucle dans le développement d'une solution en fonction des besoins d'un client. Après avoir analysé ces besoins dans le premier rapport et avoir imaginé des solutions viables dans le deuxième rapport, l'analyse détaillée de la solution choisie permet de répondre en profondeur aux fondements de notre travail, qui sont les besoins du client.

Comme expliqué tout au long du rapport, les résultats ne sont pas totalement fiables. En effet, des résultats douteux de calculs de résistance des matériaux ajoutés à une imprécision de la fabrication et des instruments de mesures font en sorte qu'il existe une certaine marge d'erreurs dans les résultats. Cependant, celle-ci est très faible et ne change pas la validité de ce travail pour autant. Les résultats sont valides et pourront servir de base à la création d'une autre veine d'essais.

Il serait recommandé de toujours garder contact avec le client dans le but de s'assurer de toujours avoir en vue les besoins de ce dernier. Il ne faut pas oublier que le produit final s'adresse au client et à ses besoins.

La finalisation de la fabrication du prototype n'est pas nécessairement la dernière étape du projet. Il serait intéressant comme étape subséquente d'aller rejoindre les écoles secondaires pour vendre le produit, c'est-à-dire faire une présentation de notre soufflerie à ces écoles. De plus, une étude supplémentaire sur l'adoption de ce projet à d'autres niveaux scolaires serait intéressante.

Référence

ISOROY, “MEDIUM La force de la matière” Sonae Industrie, 2013. [En ligne]. Disponible : http://www.isoroy.com/pdf/fiche-produits/MEDIUM_STANDARD.pdf [Consulté le 26 mars 2014].

Lignum, “Propriétés mécanique du bois I” Lignum, 2013. [En ligne]. Disponible : http://www.lignum.ch/uploads/media/Propri%C3%A9t%C3%A9s_m%C3%A9caniques_du_bois_01.pdf [Consulté le 26 mars 2014].

Plexiglas, “Plexiglas GS / XT Description du produit” Evonik Industries, 2013. [En ligne] [Consulté le 26 mars 2014].

Wikipedia, “Masse volumique de l’air” Wikipedia, 2013. [En ligne]. Disponible : http://fr.wikipedia.org/wiki/Masse_volumique_de_l'air [Consulté le 30 mars 2014].

CHAUVETTE, DUSABLON, MARCOUX, ST-JEAN, DESROSIERS, LANOUE & JAMOUISSI (2014). *Étude de cas 1*. (Rapport de l’étude de cas N°1, École Polytechnique de Montréal, Montréal, QC).

CHAUVETTE, DUSABLON, MARCOUX, ST-JEAN, DESROSIERS, LANOUE & JAMOUISSI (2014). *Étude de cas 2 - Étude de configurations d'une soufflerie*. (Rapport de l’étude de cas N°2, École Polytechnique de Montréal, Montréal, QC).

Cahier de projet des étudiants du cours AER1110 suivants :

Alexandre Dusablon

Guillaume Lanoue

Jean-François Chauvette

Karim Jamoussi

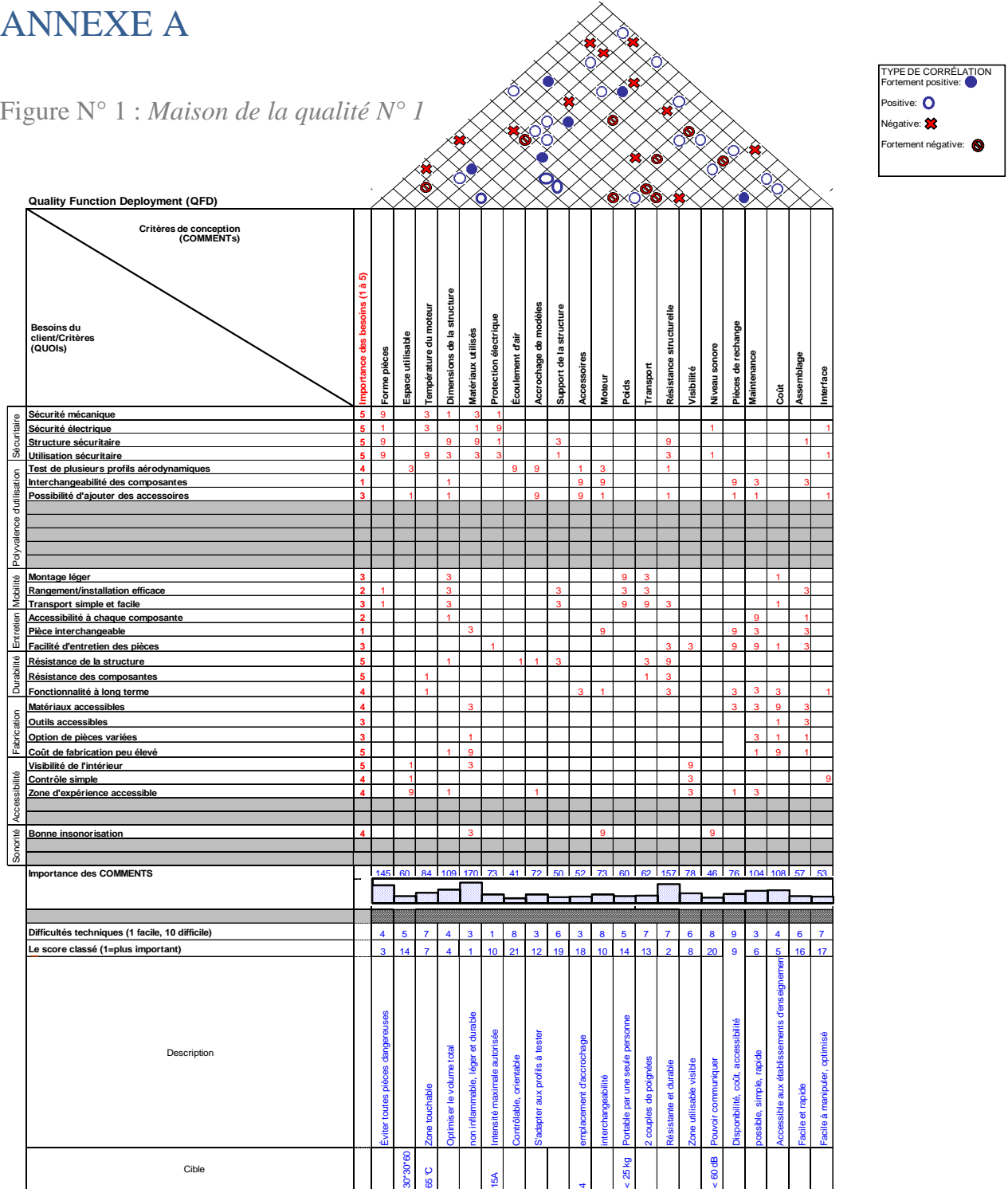
Kaven Marcoux

Philippe Desrosiers

Philippe St-Jean

ANNEXE A

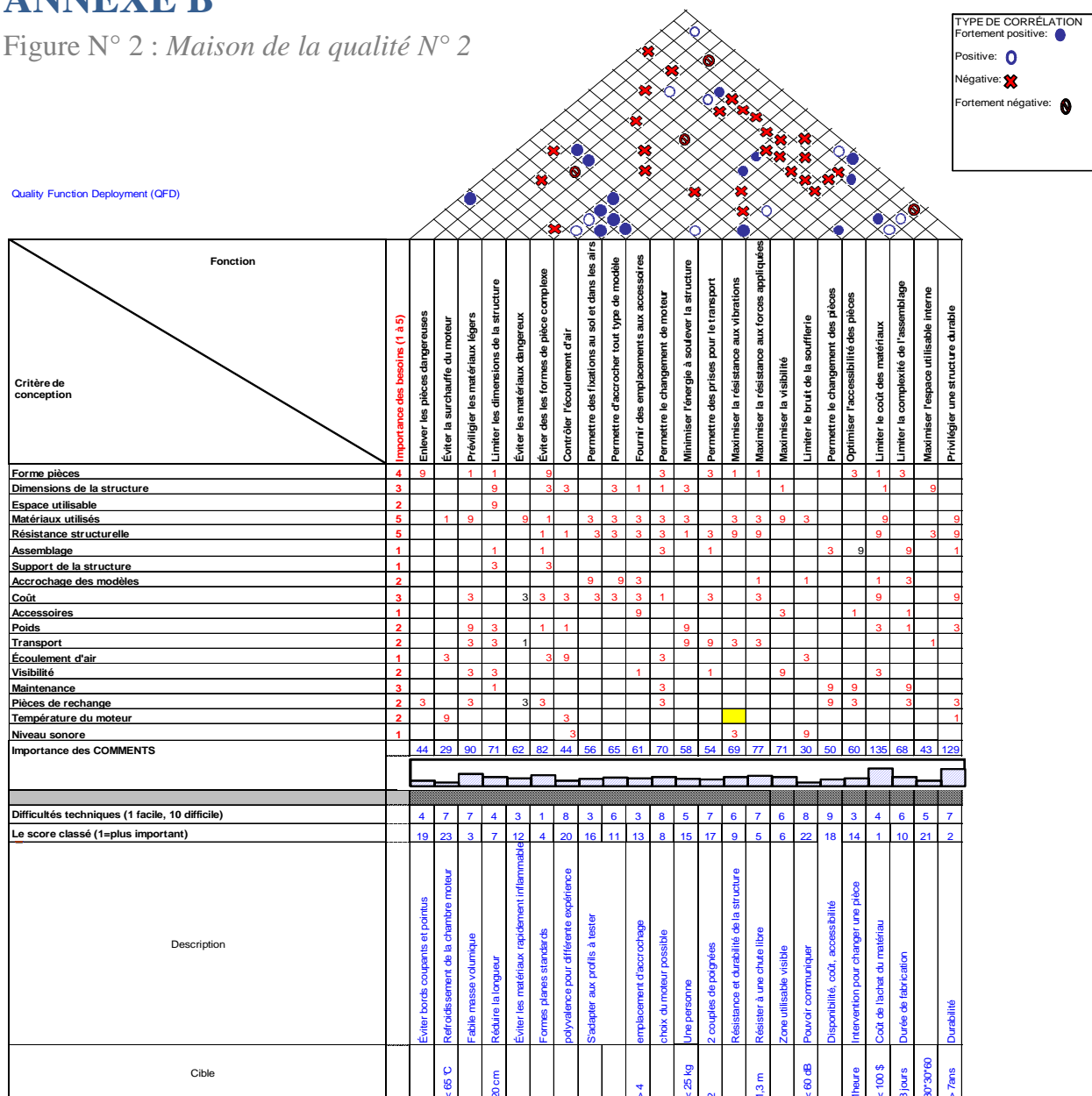
Figure N° 1 : Maison de la qualité N° 1



ANNEXE B

Figure N° 2 : Maison de la qualité N° 2

Quality Function Deployment (QFD)



ANNEXE C

Tableau : Valeurs théorique de chaque section de la soufflerie pour le calcul du centre de masse

	x (mm)	y (mm)	z (mm)	V (mm ³)	\bar{x}_i (mm)	\bar{y}_i (mm)	\bar{z}_i (mm)	$V \bar{x}_i$ (mm ⁴)	$V \bar{y}_i$ (mm ⁴)	$V \bar{z}_i$ (mm ⁴)	m (kg)	$m \bar{x}_i$ (kg-mm)	$m \bar{y}_i$ (kg-mm)	$m \bar{z}_i$ (kg-mm)
Mur de Plexiglass (1)	600	3,175	250	4,76E+05	300,0	1,59	190,7	1,43E+08	7,56E+05	9,08E+07	0,567	170,021	0,900	108,077
Mur de Plexiglass (2)	600	3,175	250	4,76E+05	300,0	280,16	190,7	1,43E+08	1,33E+08	9,08E+07	0,567	170,021	158,779	108,077
Couvercle	600	281,75	12,7	2,15E+06	300,0	140,88	322,05	6,44E+08	3,02E+08	6,91E+08	1,675	502,383	235,911	539,308
-Trou	500	200	12,7	-1,27E+06	300,0	140,88	322,05	-3,81E+08	-1,79E+08	-4,09E+08	-0,991	-297,180	-139,551	-319,023
+ Plaque de Plexiglass	498	198	3,18	3,13E+05	300,0	140,88	326,81	9,39E+07	4,41E+07	1,02E+08	0,373	111,765	52,483	121,754
Plancher	600	281,75	12,70	2,15E+06	300,0	140,88	6,35	6,44E+08	3,02E+08	1,36E+07	1,675	502,383	235,911	10,634
Faux-fond	600	281,75	12,70	2,15E+06	300,0	140,88	59,35	6,44E+08	3,02E+08	1,27E+08	1,675	502,383	235,911	99,388
-Trou	500	200	12,70	-1,27E+06	300,0	140,88	59,35	-3,81E+08	-1,79E+08	-7,54E+07	-0,991	-297,180	-139,551	-58,792
+ Plaque de Plexiglass	498	198	3,18	3,13E+05	300,0	140,88	64,11	9,39E+07	4,41E+07	2,01E+07	0,373	111,765	52,483	23,885
-Trou Plexiglass	76,2	19	3,18	-4,60E+03	393,7	140,88	64,11	-1,81E+06	-6,48E+05	-2,95E+05	-0,00547	-2,154	-0,771	-0,351
Bord plancher patte centre	25	12,7	40,3	1,28E+04	300,0	6,35	32,85	3,84E+06	8,12E+04	4,20E+05	0,0100	2,994	0,063	0,328
Bord du plancher (fond)	600	12,7	40,3	3,07E+05	300,0	140,88	32,85	9,21E+07	4,33E+07	1,01E+07	0,240	71,858	33,743	7,868
Bord du plancher (côté 1)	12,7	269,05	40,3	1,38E+05	6,4	134,53	32,85	8,74E+05	1,85E+07	4,52E+06	0,107	0,682	14,449	3,528
Bord du plancher (côté 2)	12,7	269,05	40,3	1,38E+05	593,7	134,53	32,85	8,17E+07	1,85E+07	4,52E+06	0,107	63,763	14,449	3,528
Total				6,07E+06				1,82E+09	8,52E+08	6,71E+08	5,38E+00	1,61E+03	7,55E+02	6,48E+02

ANNEXE D

Programme EES permettant de trouver la force de poussée du moteur

"! COURS AER1110 - Projet initial en génie aérospatial"

"Calcul de la poussée théorique générée par le moteur de la soufflerie"

"Programme fait par : Sébastien Lagassé"

"Date dernière modification : 2014-04-03"

"Données initiales"

$P_{\text{air}} = 101.3$ "Pression ambiante normale"

$T_{\text{air}} = \text{ConvertTemp}(C, K, 25)$ "Température ambiante normale"

$\text{diametre_fan} = 12 * \text{Convert}(in, m)$ "Diamètre de l'hélice du moteur"

$\text{vitesse_air} = 10$ "Vitesse moyenne mesurée à régime maximal"

"Calcul de l'aire occupée par l'hélice en rotation"

$A_{\text{fan}} = \pi/4 * \text{diametre_fan}^2$

"Calcul du volume spécifique de l'air selon la température et la pression ambiantes"

$v_{\text{air}} = \text{Volume}(\text{Air}, T = T_{\text{air}}, P = P_{\text{air}})$

"Calcul du débit volumique d'air généré par l'hélice"

$V_{\text{dot}} = \text{vitesse_air} * A_{\text{fan}}$

"Calcul du débit massique d'air généré par l'hélice"

$m_{\text{dot}} = V_{\text{dot}} / v_{\text{air}}$

"!Calcul de la poussée théorique générée par l'hélice"

$F = m_{\text{dot}} * \text{vitesse_air}$

ANNEXE E

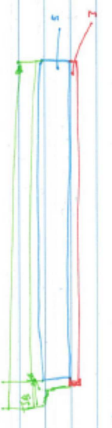
Justifications des choix des tolérances

Almes ? Cylindre Almes A6 = 263mm
 A6 min = (A6 - 2mm) = 261mm (S)

Jouis = A6 min = 12.7 - 2.67
 A6 min = Jouis = 281.7 - 2.88. Jouis = 283mm. (pour des vis l'ensemble)
 A6 min = 268mm.
 A6 max = (A6 + 2mm) = 265mm (S)

2. Déterminer A et B et (S, E, F).
 A et B = faire que B obtient. A max = 282mm.
 A min = 282mm. (S)

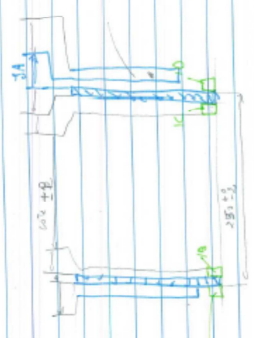
3. pices 3 et 5 - D'ensemble. et 1 et 2.



J6 = 83 - 85.
 J7 = 83 min - 85 max → Cylindre B5 max = 85.600
 B5 min = 85 max = 2.588mm (S)
 B5 min = 85 max + J6 min et 860mm.
 B5 max = 85 min + 2mm = 87mm (S)

0, Le même fait. B1 max = 602mm.
 B1 min = 600mm. (S)

Rq : Le vis a ga s'empasse et s'obtient l'axe espalonnaire dans la face de l'arbre.

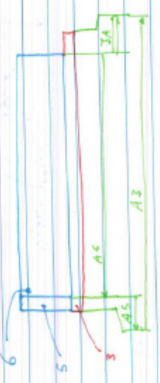


221.11. Travail sur la obtention.
 Sur pour voir S, P, B et accord entre nous deux.

Pico. Etude de l'arbre Tolérance dimensionnelle et géométrique.
 accord 1 et 2. Tolérance géométrique.

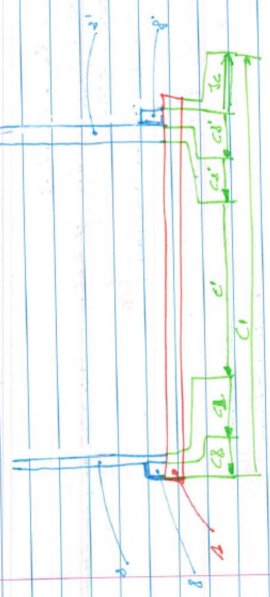
accord 3. d (sans plus. Mieux) = 250.10
 accord 4. hauteur max = 210 + 1
 accord 5. partie sur la tout de l'arbre.

5. Calcul de pices.
 4. Déterminer entre la base (pices 3) et la pice (pice 5 et 6)



Calcul de J A 20.
 J A = A8 - A6 - A5
 = 282 - 268 - 12.7 = 1.3mm
 Jouis = A6 min - A6 max + 2mm
 A6 max = A6 = 12.7 (0.6) par sa empasse que l'axe parfait

4. Dimensionnement de (a et a') pour appui a' (8 et 2)



$J_c = C_{min} = (c_1' + c_2' + c_3' + c_4' + c_5' + c_6' + c_7' + c_8')$

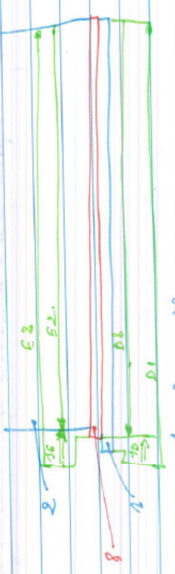
Exemple
 $c_1 = c_1' = 12.3mm$ (appui parfait, l'épaisseur du matériau)
 $c_2 = c_2' = 3.175mm$
 accord indique que $c_3 = 3.5a + c_3'$ $c_4 = 3.5a + c_4'$

$C_{max} = c_5 + c_5' + c_6 + c_6' + c_7 + c_7' + c_8 + c_8'$
 $= 1.5mm + 2.81.75 + 2.81.75 + 2.81.75 + 2.81.75 + 2.81.75 + 2.81.75 + 2.81.75$

Appuyé... $C_4 = min = 4mm = 2.81.75$ (la plus petite des deux) (E)
 $C_5 = max = 2.81.75 + 2.81.75 = 5.635mm$

$C_{max} = 5.635mm$
 $C_{min} = 2.81.75 = 2.81.75$

5. Dimensionnement de (D) pour appui a' de (B) pour appui a'



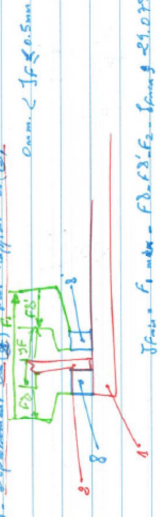
$D_1 > D_2$ $D_1 = D_{min} = 2.81.75$
 $D_2 = D_{max} = 2.81.75 + 2.81.75 = 5.635mm$

$D_3 = min = 2.81.75 + 2.81.75 = 5.635mm$ (E)

Caractéristique

$D_{max} = F_{max} = 600mm$ $D_{min} = F_{min} = 500mm$
 $J_c > 0$
 $J_{min} = C_{min} = 5.2mm$
 $J_{max} = C_{max} = 5.2mm$
 $F_{max} = 2.81.75 + 2.81.75 = 5.635mm$
 $F_{min} = 2.81.75 = 2.81.75mm$

6. Dimensionnement de (B) pour appui a' (8)



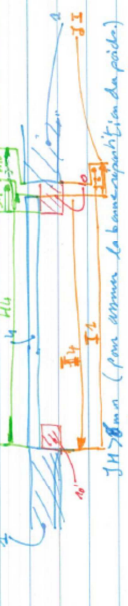
$J_{min} = F_{min} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7 + F_8$
 $J_{max} = F_{max} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7 + F_8$
 $F_{min} = 2.81.75$
 $F_{max} = 2.81.75$

7. Dimensionnement de (B) pour appui a' (8)



$J_c > 0$
 $J_{min} = 6mm = 6mm$ $D_{appui} = 400mm$
 $C_{min} = 4.81.75mm$
 $C_{max} = 6mm = 6mm$

8. Dimensionnement de (a) pour appui a' (4) et de (a') de (a)



$J_c = 2.81.75 + 2.81.75 = 5.635mm$
 $J_{min} = 2.81.75$
 $J_{max} = 5.635mm$
 $F_{min} = 2.81.75$
 $F_{max} = 5.635mm$

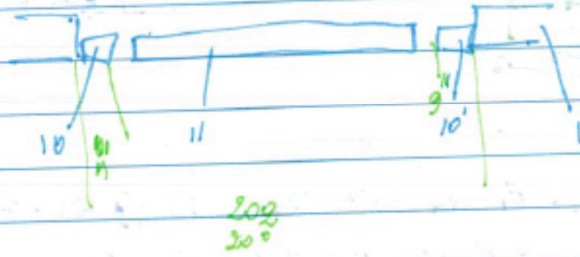
$J = 21 \text{ mm}$

$J_{\text{min}} = J_{\text{min}} - J_{\text{max}}$

Empere.

Vainshak pagepri dante.

$J_{\text{min}} = 10 \text{ ab } (11)$



~~max~~

$$M_{\text{max}} = 200 - 2 \times 11 = 2$$

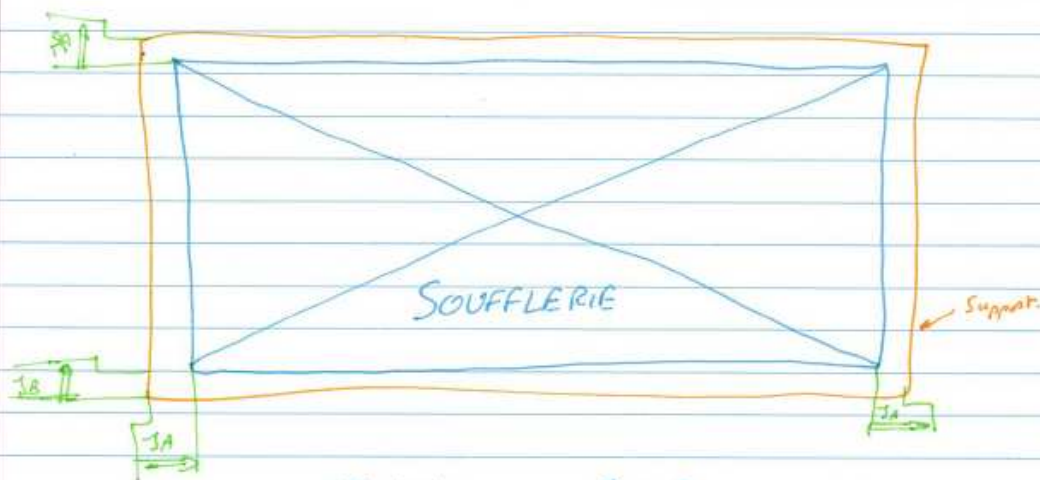
$$= 176 \text{ mm}$$

$$M_{\text{min}} = 176 \text{ mm} \quad | \neq$$

ANNEXE F

Étude de tolérance sur le système de pesé

Étude de tolérance sur les systèmes de mesure.



$2JA > 10 \text{ mm}$ $JA > 5 \text{ mm}$
 L indique longueur $L(\text{Support}) > L(\text{SOUFFLERIE} + 10 \text{ mm})$.

$2JB > 10 \text{ mm}$ $JB > 5 \text{ mm}$.

l indique largeur. $l(\text{Support}) > l(\text{SOUFFLERIE} + 10 \text{ mm})$.

Cette marge est pour garantir le bon montage, réajustage et la facilité de la mise de la soufflerie sur le support.

ANNEXE H

Facture



Techno-Poulet
Vers l'infini et plus loin encore

Facture

Étude de réalisation

Date: 06/04/2014
Facture #: [03]

À: Centre de développement
pédagogique
300 rue Sicard
Sainte-Thérèse (Québec) J7E 3X5
1-450-420-3396

Description	Heures	Prix unitaire	Total
Réunions d'équipe	35,75	\$ 45,00	\$ 1 608,75
Réunions de compagnie	13,33	\$ 45,00	\$ 599,85
Groupes de travail	70	\$ 50,00	\$ 3 500,00
Gamme de fabrication	29	\$ 80,00	\$ 2 320,00
Travail de modélisation	17	\$ 80,00	\$ 1 360,00
Dessins de détails	6	\$ 80,00	\$ 480,00
Analyses et calculs	18,1	\$ 80,00	\$ 1 448,00
Ordres du jour	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Comptes rendus	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Rencontres client	6	\$ 50,00	\$ 300,00
Déplacement achat des matériaux	5,5	\$ 50,00	\$ 275,00
Rédaction du rapport	51,8	\$ 80,00	\$ 4144,00
Administration	2	\$ 50,00	\$ 100,00
		Sous-total	\$ 16 235,60
		Taxes	2 435,34
		Total	\$ 18 670,94

ANNEXE I

Gamme de fabrication