

AER1110 – PROJET INTÉGRATEUR I

**ÉTUDE DE CAS 3 :**

**Analyse détaillée d'un concept et choix d'une solution  
réalisable – Fabrication de la soufflerie finale**

Présenté à

Jean-Paul Lemarquis, ing.

Patrice Rémy, ing.

Par

L'équipe 09

Miguel Gagnon, 1688231

Marc-Antoine Garceau, 1683966

Jérôme Gosselin, 1708266

Jonathan Lemieux, 1686791

Chloé Massicotte, 1675506

Alexandre Shea, 1688703

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Le 8 avril 2014



## Résumé

La troisième phase du projet permet de faire le choix d'une solution définitive et de faire son analyse détaillée, et a pour but de présenter au client principal, M. Éric Morissette, une soufflerie fonctionnelle répondant à ses besoins. Rappelons que cette sélection est faite en considérant le système de mesures et la génération du flux d'air de la compagnie. La tâche est colossale, alors que l'équipe inclut dans le rapport technique une panoplie d'outils, comme les schémas des forces appliquées sur la soufflerie, des dessins techniques, une gamme de fabrication et bien plus.

Les requis que la soufflerie se doit d'avoir sont grandement déterminés par les maisons de la qualité utilisées plus tôt lors du projet. On peut penser entre autres à ce que l'appareil puisse résister à une force soudaine d'au moins 900 N et à ce qu'il y ait des jonctions résistant à une contrainte d'au moins 0,1 MPa. Au niveau de la résistance aux efforts internes de la structure, les sections les plus susceptibles de céder sont le toit et les côtés (tous trois en acrylique) et les rainures de la base et les attaches en bois. À titre d'exemple, au niveau du flambage des parois, l'insertion des rainures est plus profonde et le jeu y est réduit. Ainsi, le facteur d'élancement est diminué.

Par conséquent, le système du maintien structurel de l'ensemble offre une résistance suffisante et s'agence bien avec les assemblages de prises de mesures et de génération de flux d'air. La base est une planche de pin caractérisée par deux fentes pour accueillir les fenêtres, deux trous rectangulaires pour intégrer le profil d'aile, puis d'un dernier trou pour les prises de mesures. Ensuite, deux feuilles d'acrylique forment les deux fenêtres transversales; celles-ci sont glissées dans la base et dans les attaches en bois et maintenues en place par des câbles à tension. Finalement, une dernière feuille d'acrylique collée aux attaches de bois compose le toit. Quatre appuis de bois supportent cette boîte rectangulaire, alors que le «blower» est pris en charge par une boîte de plastique. La sous-structure en tôle, soit la tuyère, permet d'adapter la sortie d'air au «blower» à l'entrée de la section carrée. Au total, l'ensemble du maintien structurel pèse 10 164 g.

*Mots-clés : Soufflerie; Résistance; Requis; Maintient structurel; Besoins; Client.*



## Abstract

The final phase of the project consists of deciding upon a definitive solution with a detailed analysis of said solution that will be presented to the primary client, Mr. Eric Morissette along with a wind tunnel that satisfies his current needs. It is important to note that this selection has been chosen by taking into consideration the systems that while generate an air stream and measure the lift of an object in the wind tunnel for the wind tunnel. The colossal task includes a technical report containing a multitude of tools for a potential client. For example it contains force schematics of the forces that affect the wind tunnel, technical drawings, a manufacturing range and many other important tools.

The product specifications have been greatly influenced by the previous “Houses of Quality” that were conceived earlier during the project. For example, during the first case study, it was determined that the wind tunnel must support a sudden force of 900N and that the junctions must support a constraint of 0,1MPa. Structurally, the most susceptible parts of breaking of the wind tunnel are the roof, the walls (all three are in acrylic), the grooves in the base and the rails made of wood. For example, to prevent the walls from buckling under outside forces, the grooves in which the walls are inserted were made deeper and the backlash was diminished. The slenderness factor is thus diminished.

Consequently, system that upholds structural integrity of the ensemble offers sufficient resistance to outside forces and merges well with the other ensembles. The base is made of pin wood with two grooves for the windows, two rectangular holes for the airfoil and a hole for measurements from an anemometer. Then, two acrylic panels act as transversal window that slide into the base and are held in place by cables under tension. Finally, an acrylic panel glued to wooden rails acts as the roof. Four wooden legs support the base and the blower is upheld by a plastic box. The aluminum substructure, the nozzle, was designed to change the geometry of the section to adapt the blower to the rest of the structure. In total the structure has a weight of 10 164 g.

*Key-words: Wind tunnel; Resistance; Requirement; Structural integrity; Needs; Client.*



# TABLE DES MATIÈRES

<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>XIII</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1 : SOMMAIRE DES REQUIS CONCEPTUELS ET TECHNIQUES 2</b>	
• 1.1 DESCRIPTION ET DONNÉES .....	2
• 1.2 HYPOTHÈSES DE DÉPART .....	3
<b>CHAPITRE 2 : ANALYSE DES EFFORTS EXTERNES .....</b>	<b>4</b>
• 2.1 SUPPOSITION NOUVELLE OU AJOUTÉE ET JUSTIFICATION .....	4
• 2.2 DESCRIPTION DES CHARGES, SCHÉMA ET DCL .....	4
• 2.3 FORMULATION, GRAPHIQUE, RÉSULTATS ANTICIPÉS ET INTERPRÉTATION .....	5
<b>CHAPITRE 3 : ANALYSE DES EFFORTS INTERNES .....</b>	<b>7</b>
• 3.1 DESCRIPTION DES SYSTÈMES ET SCHÉMAS .....	7
• 3.2 CONFIGURATION ET SECTIONS CRITIQUES (DCLS ET FORMULATION).....	7
• 3.3 FICHES, GRAPHIQUES, RÉSULTATS, INTERPRÉTATION ET VALIDATION .....	8
<b>CHAPITRE 4 : RÉALISATION DES SOUS-SYTÈMES ET COMPOSANTS.....</b>	<b>10</b>
• 4.1 PANNEAUX ACRYLIQUE (TOIT) .....	10
• 4.2 PANNEAUX ACRYLIQUE (MURS).....	11
• 4.3 RAILS .....	12
• 4.4 BASE .....	14
• 4.5 APPUIS .....	15
<b>CHAPITRE 5 : RÉALISATION DU SYTÈME DE MESURE ET COMPOSANT 16</b>	
• 5.1 CALCULS, CHOIX ET JUSTIFICATION .....	16
• 5.2 CONSÉQUENCES ET RÉPERCUSSIONS .....	18
• 5.3 DESSINS ET DIMENSIONS NOMINALES ET TOLÉRANCES .....	19
<b>CHAPITRE 6 : FABRICATION ET ESSAIS.....</b>	<b>20</b>
• 6.1 SOUS-ENSEMBLE ARTISANAL RÉALISÉ .....	20
• 6.2 SYSTÈME DE MESURE .....	20

• 6.3 INTERFAÇAGE AVEC LES AUTRES SOUS-SYSTÈMES .....	21
• 6.4 SENSIBILITÉ DU SYSTÈME DE MESURE RÉALISÉ.....	22
<b>CHAPITRE 7 : TABLEAU SYNTHÈSE DES PIÈCES ET DU PRODUIT.....</b>	<b>23</b>
• 7.1 NOMENCLATURE ET NUMÉROTATION DES PIÈCES .....	23
• 7.2 SYNTHÈSE DES MATÉRIAUX CONSTITUANT LA SOUFFLERIE .....	24
• 7.3 SYNTHÈSE DES PARTIES DE LA SOUFFLERIE.....	24
• 7.4 SYNTHÈSE DE LA SOUFFLERIE .....	25
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>26</b>
<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>27</b>
<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>28</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>29</b>
<b>ANNEXE A : MAISONS DE LA QUALITÉ .....</b>	<b>30</b>
<b>ANNEXE B : CALCULS DE RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX .....</b>	<b>32</b>
<b>ANNEXE C : CALCULS DE CENTRE DE GRAVITÉ.....</b>	<b>37</b>
<b>ANNEXE D : MESURER LA MASSE DE LA SOUFFLERIE .....</b>	<b>40</b>
<b>ANNEXE E : MESURER MASSE ET CENTRE DE GRAVITÉ.....</b>	<b>43</b>
<b>ANNEXE F : PROTOCOLE DE TEST .....</b>	<b>45</b>
<b>ANNEXE G : FACTURATION DE LA SOUFFLERIE.....</b>	<b>52</b>
<b>ANNEXE H : FICHE ANALYSE .....</b>	<b>53</b>
<b>ANNEXE I : FICHE RÉALISATION .....</b>	<b>54</b>
<b>ANNEXE J : GAMME DE FABRICATION .....</b>	<b>55</b>
<b>ANNEXE K : DESSINS TECHNIQUES.....</b>	<b>85</b>
<b>ANNEXE L : IMAGES CATIA .....</b>	<b>90</b>
<b>ANNEXE M : PHOTOS.....</b>	<b>99</b>

<b>ANNEXE N : BROCHURE SOUFFLERIE.....</b>	<b>107</b>
<b>ANNEXE O : NORMES.....</b>	<b>108</b>
<b>ANNEXE P : CATALOGUE DE PIÈCES CATIA .....</b>	<b>109</b>
<b>ANNEXE Q : FACTURATION .....</b>	<b>111</b>
<b>ANNEXE R : ÉCHÉANCIER .....</b>	<b>112</b>



## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>TABLEAU 1 : SYNTHÈSE DES PIÈCES DE LA SOUFFLERIE.....</b>	<b>23</b>
<b>TABLEAU 2 : SYNTHÈSE DES MATÉRIAUX DE LA SOUFFLERIE.....</b>	<b>23</b>
<b>TABLEAU 3 : SYNTHÈSE DES PARTIES DE LA SOUFFLERIE.....</b>	<b>24</b>
<b>TABLEAU 4 : SYNTHÈSE DE LA SOUFFLERIE.....</b>	<b>25</b>



## **LISTE DES FIGURES**

<b>FIGURE 1 : TOIT EN ACRYLIQUE.....</b>	<b>11</b>
<b>FIGURE 2 : MUR EN ACRYLIQUE.....</b>	<b>12</b>
<b>FIGURE 3 : RAIL EN BOIS .....</b>	<b>13</b>
<b>FIGURE 4 : BASE EN BOIS.....</b>	<b>14</b>
<b>FIGURE 5 : PATTE EN BOIS .....</b>	<b>15</b>
<b>FIGURE 6 : TEST DU CENTRE DE MASSE.....</b>	<b>16</b>
<b>FIGURE 7 : CENTRE DE MASSE DE LA SOUFFLERIE.....</b>	<b>17</b>
<b>FIGURE 8 : FORCES PRÉSENTES LORS DE LA MESURE DE LA MASSE.....</b>	<b>17</b>
<b>FIGURE 9 : MODÉLISATION CATIA DU SOUS-ENSEMBLE.....</b>	<b>20</b>
<b>FIGURE 10 : SYSTÈME DE MESURE DU POIDS.....</b>	<b>20</b>
<b>FIGURE 11 : SYSTÈME DE MESURE DU CENTRE DE MASSE.....</b>	<b>21</b>



## **Introduction**

Le cours A1110 – Projet initial en génie aérospatial donne aux élèves la chance de concevoir une soufflerie en entier. La troisième étude de cas est une étape de la conception où tout le projet prend son sens. Les étudiants forment dorénavant des compagnies, chacune composées de trois équipes. Les buts et les défis sont à la fois d'intégrer les solutions des trois secteurs, puis de construire l'appareil pour la présenter au client principal, M. Éric Morissette.

Maintenant que la deuxième étude de cas est complétée, les sous-groupes de la compagnie ont chacun leur solution, soit au niveau du maintien structurel de la soufflerie, de la prise de mesures de portance et de trainée et la génération du flux d'air. La dynamique du cours est nouvelle et différente, de telle sorte que le travail est fait en coopération avec les autres équipes pour que les solutions de tous soient compatibles. Un des éléments marquants pour la présente phase du projet est la présence de réunions de compagnie.

Ainsi, la troisième étude de cas demande une analyse détaillée du choix de la solution. Globalement, le rapport contient le sommaire des requis conceptuels et techniques, l'analyse des efforts externes appliqués sur l'ensemble de la structure, incluant schémas, DCLs, hypothèses et calculs. Également, il est question de la méthodologie des sous-systèmes utilisés pour mesurer la masse et le centre de gravité de la soufflerie, le tout présenté sous forme de fiche analyse et fiche réalisation. Ultimement, les équipes bâtissent leur système respectif en fonction des conclusions obtenues (avec hypothèses et calculs) et les intègrent ensemble pour former l'outil aérodynamique.

Il s'agit d'un rapport technique très complet. Il y est inclus des outils permettant au client d'être indépendant avec la soufflerie. Il est souhaitable ici que l'acheteur puisse construire, opérer et utiliser la soufflerie dans son ensemble, et ce, seulement à l'aide de la documentation que ce rapport technique comprend. On parle ici de gamme de fabrication, de dessins techniques, dimensions, masse et centre de gravité de chaque pièce, la description des tests à faire et l'interprétation de leurs résultats.

# Chapitre 1 : Sommaire des requis conceptuels et techniques

## 1.1 Description et données

Pour réaliser la soufflerie, l'équipe s'est imposé quelques restrictions et contraintes que la soufflerie doit respecter. Ces contraintes sont d'ailleurs tirées de la deuxième maison de la qualité (Annexe A) réalisée lors de la deuxième étude de cas :

- Résister aux forces soudaines d'une valeur minimale de 900N
- Résister aux forces continues d'une valeur minimale de 0,1MPa
- Conserver sa forme en mm/mm à un ratio d'au plus 3%
- Résister à la dégradation pendant au moins 3 années sans subir d'altercations
- Augmenter l'inertie le plus possible
- Augmenter la stabilité en  $m^2/m^3$  à un ratio d'au moins 9%
- Réduire le volume d'au plus un  $m^3$
- Minimiser le poids d'au plus 25 kilogrammes
- Solidifier les jonctions pour qu'elles résistent à des contraintes d'au moins 0,1MPa
- Augmenter l'herméticité d'au moins 90%
- Utiliser des matériaux accessibles se trouvant dans des magasins situés à au plus 50 kilomètres des écoles
- Isoler les circuits électriques de manière à ce que 0  $mm^2$  de surface ne soit exposée
- Augmenter la visibilité d'au moins 0,36  $m^2$
- Bloquer l'accès aux pièces mobiles de manière à ce que 0  $cm^2$  de surface ne soit exposée

Ainsi, on veut obtenir une soufflerie résistante et répondant bien aux besoins du client, M. Éric Morissette, tels qu'établis lors de la première étude de cas. Ces spécificités techniques guident donc l'élaboration de la soufflerie en compagnie, le choix final des matériaux et des dimensions, ainsi que la fabrication et l'optimisation de la soufflerie.

## 1.2 Hypothèses de départ

Afin de répondre aux spécifications que l'équipe s'est imposée lors de la deuxième étude de cas, certaines hypothèses de départ sont posées. Ainsi, pour faire les calculs de résistance des matériaux, et selon le cours actuellement suivi en Résistance des matériaux, il est posé comme hypothèses que :

- Le matériau est considéré comme uniforme
- Le matériau est considéré comme isotrope
- Le matériau subit une variation de température négligeable

Aussi, pour le calcul du centre de gravité, il est établi, selon le cours de Résistance des matériaux et le cours de Statique, que :

- La masse est répartie uniformément

Finalement, pour le calcul du poids, selon le site web de *Home Dépôt*, il est convenu que chacun des matériaux a son poids approximé de la façon suivante :

- Le bois de type pin blanc nouveau a un poids de 1 livres par 10 pouces cubes
- Une plaque d'acrylique aux dimensions de 24"x48"x0,220" a un poids de 10,056 livres
- Une tablette de pin lamellé aux dimensions de 3/4"x16"x36" a un poids de 7,94 livres
- Un paquet de 8 vis à œillet a un poids de 0,12 livres
- Un paquet de 2 cordes élastiques a un poids de 0,40 livres
- L'aluminium a une densité de 2700 kilogrammes par mètre cube, où un kilogramme vaut 2,2046 livres et où 1 pouce cube vaut  $1,6387 \times 10^{-5}$  mètres cubes
- Un paquet de 10 vis à métaux à tête cylindrique a un poids de 0,10 livres

Ces hypothèses permettent pour la suite de l'étude de cas, de calculer les spécifications de la soufflerie afin de déterminer si elle respecte les requis ainsi que les contraintes maximales de la deuxième maison de la qualité.

## **Chapitre 2 : Analyse des efforts externes**

### **2.1 Supposition nouvelle ou ajoutée et justification**

Plusieurs hypothèses propres au calcul de résistance de matériaux ont été utilisées pour simplifier les calculs sans porter une grande atteinte à la précision des résultats. L'équipe a considéré que les matériaux sont uniformes, isotropes, homogènes et qu'ils subissent peu de changement de température dû à l'environnement. De plus, l'équipe a considéré que les matériaux sont de dimensions parfaites (ils n'ont pas d'imperfections dans leur fabrication) et n'ont pas de contraintes internes avant les chargements externes qui influencent les forces externes ou internes. De plus, le différentiel de contrainte dû à la force gravitationnelle agissant dans les matériaux est négligeable par rapport aux contraintes dues aux forces externes puisque les matériaux ont des dimensions relativement petites et peu de masse.

### **2.2 Description des charges, schéma et DCL**

En se référant à l'annexe B, il est possible d'observer qu'avant l'application des forces externes la seule force qui est appliquée sur la structure est la force gravitationnelle de la structure elle-même. Elle s'applique au centre de gravité avec une force égale à sa masse fois la constante gravitationnelle  $g$  ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ) et a une orientation vers le centre de la Terre. Selon le référentiel du DCL (Diagramme du corps libre) global, elle s'applique dans le sens de l'axe des  $y$  négatifs. En faisant une sommation des forces selon l'axe des  $y$ , on voit que le total des forces selon cet axe doit supporter le poids de la soufflerie. Chaque appui a une composante de sa force vers l'axe des  $y$  positifs et leur résultante sera égale à la force gravitationnelle de la soufflerie. La répartition de la charge dans les appuis se fait selon la position du centre de gravité par rapport aux appuis.

Une analyse des charges extérieures possibles sur la soufflerie est nécessaire pour être capable de déterminer les appuis à utiliser et les dimensions des matériaux. Si les charges extérieures sollicitent trop les matériaux, il y a risque de bris, ce qui doit être évité pour réduire le coût d'entretien et le risque de blessure chez les utilisateurs. Le produit final sera utilisé dans plusieurs écoles secondaires. Cela implique que la structure doit résister

au transport d'école en école. Cependant, puisque la soufflerie est démontée pour le transport, le seul risque est que le matériau lui-même casse s'il est soumis à plusieurs très grandes charges par des utilisateurs négligents. Il faut de très grandes forces pour casser un composant lors du transport ce qui n'est pas courant, donc ce chargement n'a pas été étudié précisément.

Dans l'école, les charges possibles sont nombreuses (l'orientation des forces a été faite selon le DCL de l'annexe B) :

- Un élève ou professeur qui dépose un objet sur la structure (une force normale due à la force gravitationnelle de l'objet selon l'axe des y)
- Quelqu'un qui s'appuie sur la soufflerie (une force selon les trois axes)
- Quelqu'un qui accroche la soufflerie par accident (une force selon les axes de x et z)

En analysant ces forces, il est possible de voir que la force la plus importante est celle de la personne qui s'appuie sur la soufflerie, car une partie non négligeable du poids de la personne peut être appliquée sur la structure en plus de s'appliquer dans toutes les directions des référentiels. Elle est d'ordre plus élevé que les autres, en plus d'avoir le désavantage d'être capable d'être appliquée sur toutes les zones critiques de la soufflerie. Cependant avec la forme du moteur et de la tuyère, il serait inconvenant pour une personne de s'appuyer dessus, donc il peut juste s'appuyer sur la zone utile. L'équipe s'était mise d'accord qu'une personne de poids supérieur à la moyenne canadienne peut appliquer 60% de son poids sur la soufflerie avec un facteur de sécurité de 1,5. Cela revient à une force extérieure de 900N appliqués sur la structure.

### **2.3 Formulation, graphique, résultats anticipés et interprétation**

Des DCL sont présents à l'annexe B qui illustrent les différentes forces qui peuvent s'appliquer sur la soufflerie comme indiqué ci-dessus. Il n'est pas possible de savoir la répartition des charges dans les appuis, puisqu'elle dépend du point d'application de la force externe. Cependant, un exemple est présent dans l'annexe B pour indiquer la démarche à suivre pour avoir la répartition théorique des forces. Dans cet exemple, une

force de 900N représente une personne qui s'appuie sur la zone utilisable verticalement (parallèle à l'axe des y) au milieu de celle-ci.

Pour vérifier les différents calculs de réactions aux appuis, en prenant l'exemple ci-dessus comme référence, on pourrait placer des balances en dessous de chaque appui pour savoir la force normale que chaque appui exerce.

## **Chapitre 3 : Analyse des efforts internes**

### **3.1 Description des systèmes et schémas**

Pour dimensionner les composantes, il fallait analyser l'effet des charges extérieures sur les différentes composantes de la structure. Pour ce faire, des diagrammes de corps libre des composantes internes des matériaux ont été effectués pour pouvoir analyser le chargement à l'intérieur des matériaux. Plusieurs types de chargement ont été étudiés :

- Chargement uni-axial
- Poutres en flexion
- Flambage

Les autres modes de chargements n'ont pas été analysés (par exemple la torsion) puisque la soufflerie n'est pas sollicitée par ce mode de chargement sur une base régulière. De plus, l'équipe n'a pas concentré ses efforts sur l'analyse de la tuyère puisque le mode de chargement analysé (une personne qui s'appuie sur la zone utilisable) en retirait une sollicitation négligeable (il est difficile de s'appuyer sur une tuyère de forme irrégulière, de déposer un objet dessus et de l'accrocher puisqu'elle est entourée de la zone utilisable et du moteur). Néanmoins, une analyse a été faite sur la tuyère pour assurer que le matériau pouvait supporter son propre poids et des petits chargements extérieurs. Finalement, la philosophie derrière le choix de la force appliquée est de prendre le chargement et de le placer manuellement dans des situations où les contraintes appliquées sur le matériel seraient maximales pour connaître les dimensions minimales que la composante doit posséder.

### **3.2 Configuration et sections critiques (DCLs et formulation)**

Plusieurs calculs ont été effectués et sont dans l'annexe B. Les calculs effectués suivants avaient pour but de déterminer les dimensionnements minimaux des différentes composantes de la structure. Les sections les plus critiques après les calculs sont:

- La flexion du toit en acrylique
- La flexion d'un côté en acrylique
- Le flambage d'un côté en acrylique

- Les rainures qui tiennent en place les côtés en acrylique

Cela explique donc en partie le choix de dimensionnement des composantes. Par exemple, pour le toit, une planche de bois contreplaqué requiert une épaisseur de ½ pouce, tandis que le plexiglas requiert seulement ¼ de pouce pour une contrainte admissible semblable. Cela permet ainsi de sauver du poids et d'optimiser la structure.

Pour renforcer les sections critiques, plusieurs stratégies ont été employées :

*Toit :*

- Utiliser de l'acrylique pour avoir un matériau plus résistant
- Encastrer les appuis du toit pour rendre hyperstatique le toit

*Côté :*

- Encastrer les extrémités pour réduire le facteur d'élançement de flambage
- Avoir les deux côtés reliés ensemble par le toit et la base

*Rainure :*

- Faire des rainures plus profondes dans la base et dans l'attache en bois
- Réduire le jeu libre dans la rainure

### **3.3 Fiches, Graphiques, Résultats, interprétation et validation**

Dans l'annexe B, il y a les DCLs et les calculs de résistance des matériaux utilisés lors de l'analyse. Les résultats qui sortent de cette analyse sont un dimensionnement minimal des composantes nécessaire au maintien structural de l'ensemble. Les résultats obtenus ne sortent pas de l'ordinaire, puisque pour un chargement inférieur à 1kN, les dimensions nécessaires ne sont pas inattendues (moins que 100 mm<sup>2</sup>).

Pour valider les calculs de résistance de matériaux qui ont été effectués, il serait possible de mettre des charges sur la soufflerie artisanale et de voir leurs effets. Un exemple de charge pourrait être des masses différentes jusqu'à la charge de 900N (charge de l'hypothèse du départ). Si la soufflerie est capable de résister à cette charge sans rompre, les calculs de résistances des matériaux seraient confirmés. De plus, il serait possible de mettre des jauges de contraintes sur des composantes pour voir la variation des contraintes

en fonction des charges appliquées. Il est donc possible de savoir expérimentalement, ce qui a été déterminé par des calculs.

## Chapitre 4 : Réalisation des sous-systèmes et composants

### 4.1 Panneaux acrylique (toit)

Tout d'abord, afin de s'assurer que le panneau d'acrylique utilisé pour le toit soit en mesure de résister aux contraintes qui lui seront appliquées, des calculs de résistance des matériaux ont été nécessaires.

Un calcul de flexion du toit en situation hyperstatique a permis de conclure que :

- Contrainte normale maximale = 22,65MPa
- Contrainte normale en cisaillement maximale = 0,2013MPa
- Épaisseur requise du panneau d'acrylique = 1/4 pouces

Justification de l'utilisation de ce matériau :

- Rapport poids/résistance inférieur à celui du bois
- Zone supplémentaire de visibilité

Ainsi, l'utilisation de ce matériau permet de réduire le poids de la structure tout en nous assurant d'offrir la résistance désirée.

Une des conséquences reliées à l'utilisation de ce matériau est la difficulté à le fixer aux rails, à l'aide de vis, comme cela peut être fait avec du bois. Ainsi, afin de maintenir le toit en place, celui-ci a été fixé aux rails à l'aide de colle à bois, ce qui n'est pas idéal comme assemblage.

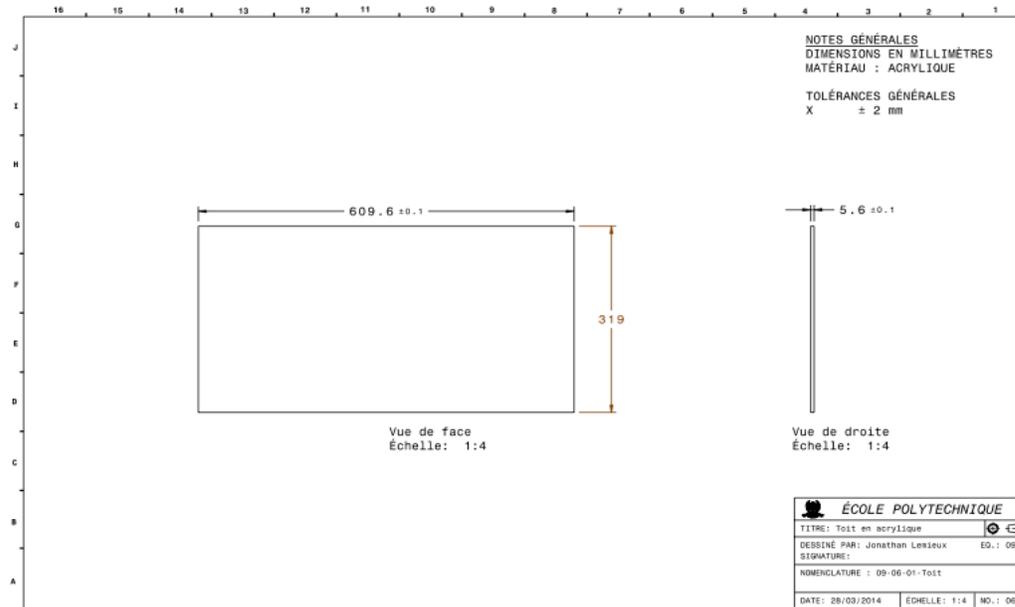


Figure 1 : Toit en acrylique

## 4.2 Panneaux acrylique (murs)

Des calculs de résistance des matériaux ont également été nécessaires au niveau des panneaux d'acrylique utilisés pour les murs de la soufflerie, étant donné qu'ils ne sont pas soumis au même chargement que celui utilisé pour le toit.

Un calcul du flambage a été effectué afin de s'assurer que les panneaux restent verticaux, malgré une force appliquée sur le toit de la soufflerie. Les résultats obtenus sont :

- Force maximale sur le toit = 900N
- Épaisseur minimale des panneaux d'acrylique = 1/8 pouces

Cependant, afin d'économiser de l'argent et éviter d'acheter deux feuilles d'acryliques différentes, une épaisseur de 1/4 pouces a aussi été utilisée pour les murs, comme ce fût le cas pour le toit.

Au-delà de la résistance de l'acrylique, ce matériau a principalement été sélectionné pour sa transparence. En effet, ceci permet d'atteindre un des besoins du client, soit de permettre la visualisation de la zone utilisable de la soufflerie.

Une des conséquences reliées à l'utilisation de panneau d'acrylique est la difficulté d'assemblage. En effet, contrairement à du bois, il est difficile de visser, de clouer ou même de coller de l'acrylique sans l'endommager. Pour cette raison, nous avons dû utiliser un système de rails afin d'assembler nos différents panneaux d'acrylique.

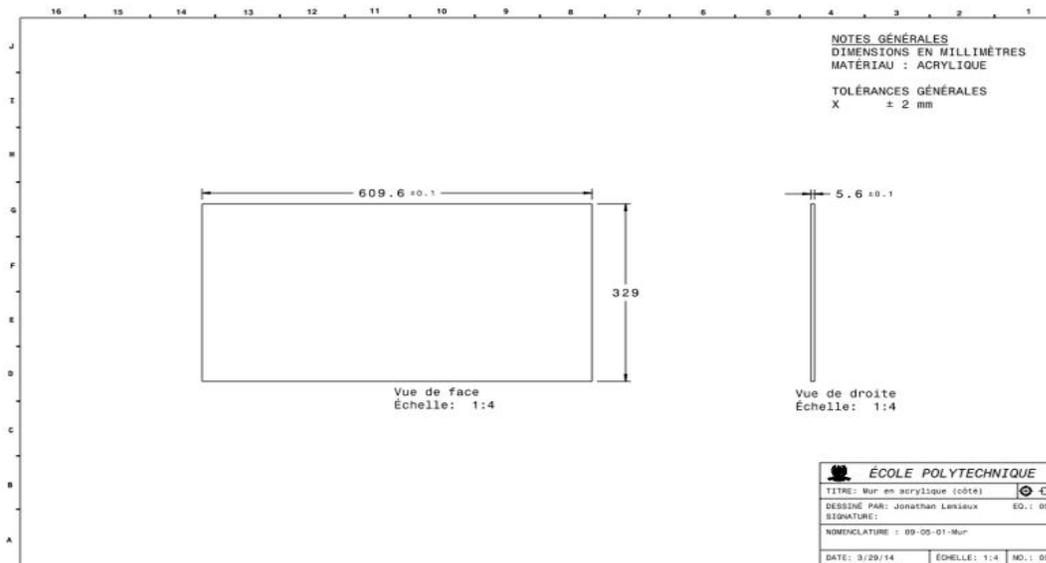


Figure 2 : Mur en acrylique

### 4.3 Rails

Afin d'assembler les panneaux d'acrylique verticaux (murs) avec celui horizontal (toit), on a utilisé des rails construits à partir d'une tige de bois de section carrée.

Étant donné que ces rails agissent comme support pour les panneaux d'acrylique, ils ne constituent pas des points critiques où les contraintes sont maximales. Ainsi, nous avons déterminé les dimensions des rails en fonction de l'épaisseur requise pour faire nos fentes qui accueillent les panneaux d'acrylique. De cette façon, en agissant comme support pour les panneaux d'acrylique, ces derniers vont nécessairement céder avant les rails.

Voici quelques répercussions reliées à l'utilisation de ces rails :

- Difficulté de fabrication
- Ajout de poids considérable

En effet, les fentes doivent être faites avec une grande précision, sans quoi les panneaux d'acryliques ne sont pas stables à l'intérieur et la résistance de la structure diminue grandement. De plus, ces rails ajoutent du poids contrairement à des vis ou des pentures qui peuvent être utilisées avec des panneaux de bois.

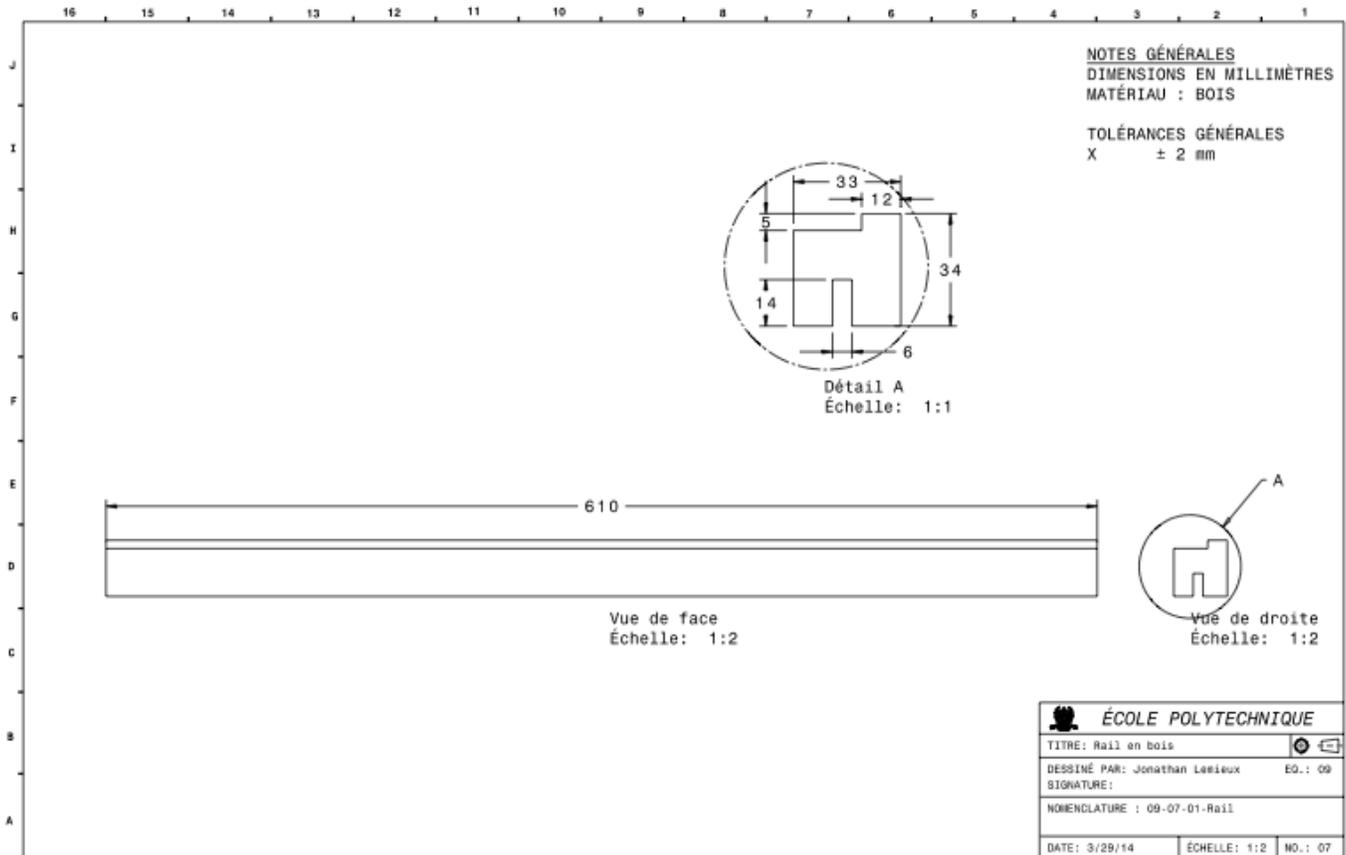


Figure 3 : Rail en bois

## 4.4 Base

Pour ce qui est de la base de la soufflerie, les calculs de résistance nous ont permis de déterminer :

- Épaisseur minimale du bois = 1/2 pouces

Cependant, dû à la disponibilité des matériaux lors de l'achat et du facteur de sécurité que nous désirions avoir, on a choisi une base de 3/4 pouces. Cependant, après usinage de la base, on a sablé différentes sections de la base moins sollicitées afin de minimiser au maximum le poids de celle-ci.

Voici les répercussions causées par l'utilisation d'une base en bois :

- Augmentation considérable du poids de l'ensemble de la structure
- Nécessite des outils spéciaux pour usiner les fentes

La base en bois permet cependant de faciliter la fixation de nos appuis et permet la création de fentes permettant d'accueillir les panneaux d'acrylique.

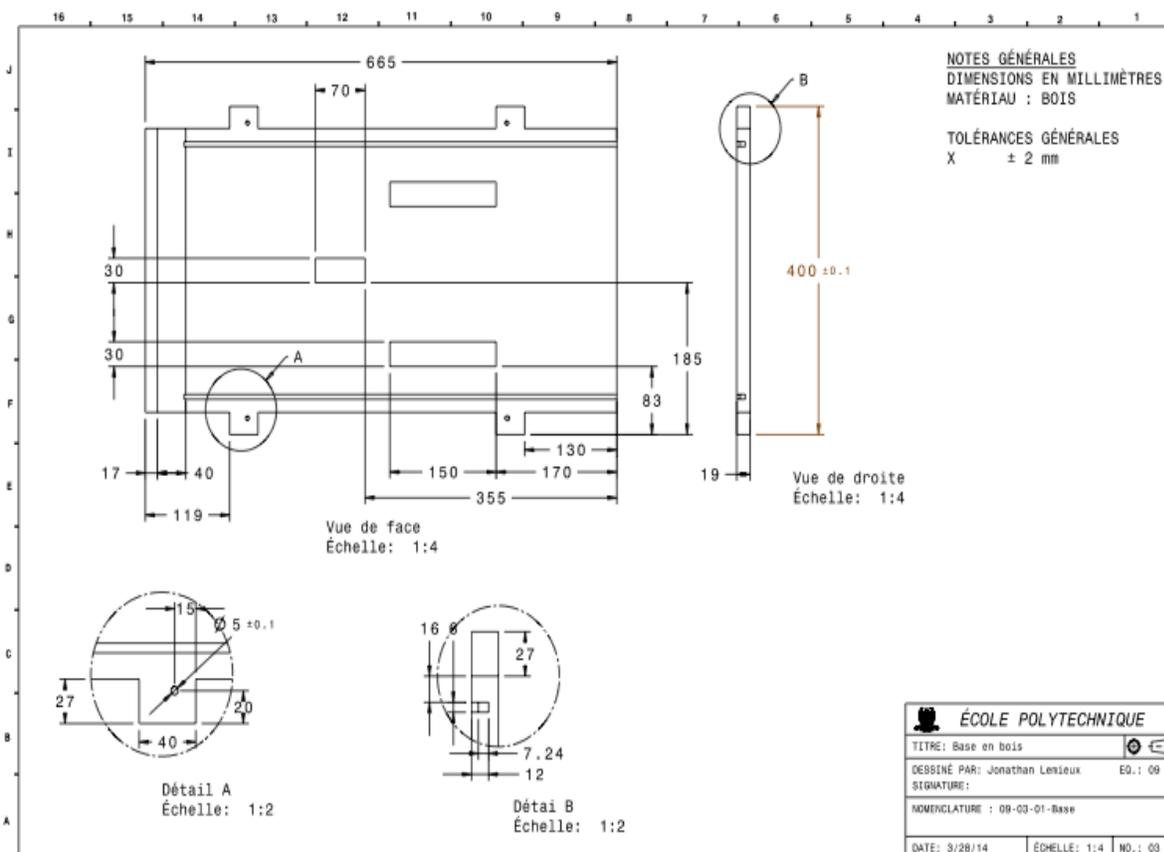


Figure 4 : Base en bois

## 4.5 Appuis

Les appuis constituent une partie essentielle de la soufflerie, permettant à la structure d'être maintenue de façon stable. Tout d'abord, question d'équilibre, on a choisi d'utiliser 4 appuis disposés aux 4 coins de la base.

De plus, afin de s'assurer que ces appuis résistent à la charge appliquée, on a effectué les calculs de résistance et on a obtenu :

- Aire minimale de chaque appui =  $109 \text{ mm}^2$ .
- Diamètre minimal des vis utilisées pour fixer les appuis = 2,6 mm

Encore une fois, comme conséquence reliée à l'utilisation des appuis, il y a certainement l'augmentation de poids total. Cependant, ces appuis sont nécessaires dû au système de mesure de la portance qui nécessite d'être hors de la zone d'essai de la soufflerie et déposé sur le sol.

Comme autre conséquence, il y a le fait que la stabilité de la soufflerie est compromise contrairement à si la base est directement été appuyée sur le sol. L'assemblage des appuis doit également être fait en considérant le diamètre minimal des vis à utiliser, sans quoi ces dernières pourraient céder suite à l'application d'un chargement.

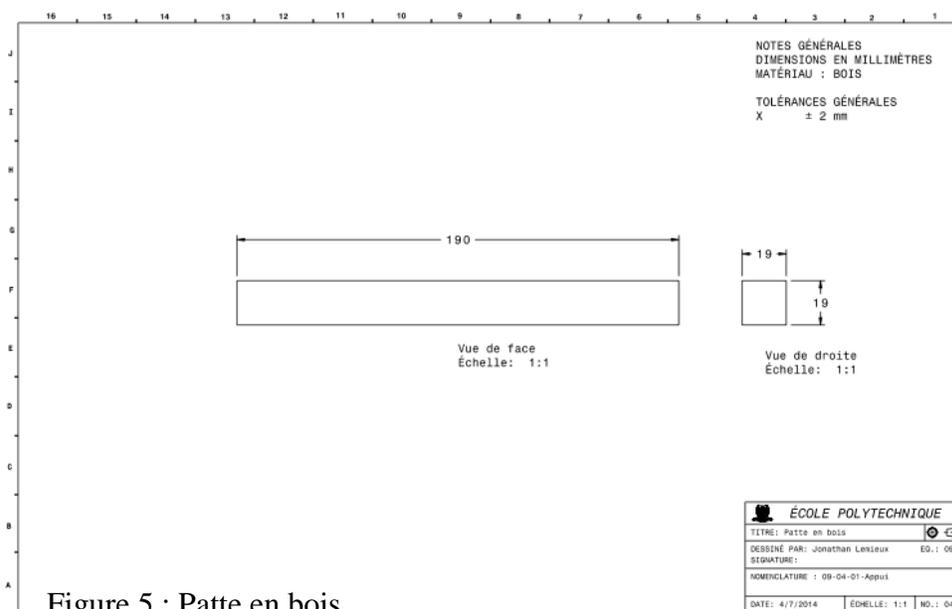


Figure 5 : Patte en bois

## Chapitre 5 : Réalisation du système de mesure et composant

Deux expérimentations en plus de l'observation du fonctionnement de la soufflerie sont proposées aux élèves de secondaire 5. Ils sont amenés à mesurer expérimentalement le centre de gravité en x, y et z et la masse de l'appareil aérodynamique.

### 5.1 Calculs, choix et justifications

#### Mesurer le centre de gravité

Le centre de gravité (ou centre de masse) est l'endroit correspondant à la résultante des forces de gravité d'un objet. En effet, il s'agit de considérer son poids comme une seule force au lieu de considérer toutes celles qui s'appliquent à chaque point de l'objet. Il est possible de trouver cet emplacement critique dans l'espace avec trois coordonnées (x, y et z), mais il peut être vu séparément pour chacun des axes. Lors de l'expérimentation, les étudiants feront le test trois fois, soit pour chacun des axes.

L'équipe 9 a décidé d'utiliser une méthode décrite plus en détails en fiche-résumée à l'annexe E. De façon générale, il s'agit de mettre en appui la soufflerie en entier sur un madrier et de voir à quel endroit il doit être pour que celle-ci soit en équilibre. S'il y a équilibre, cela veut dire que le madrier est situé au centre de gravité

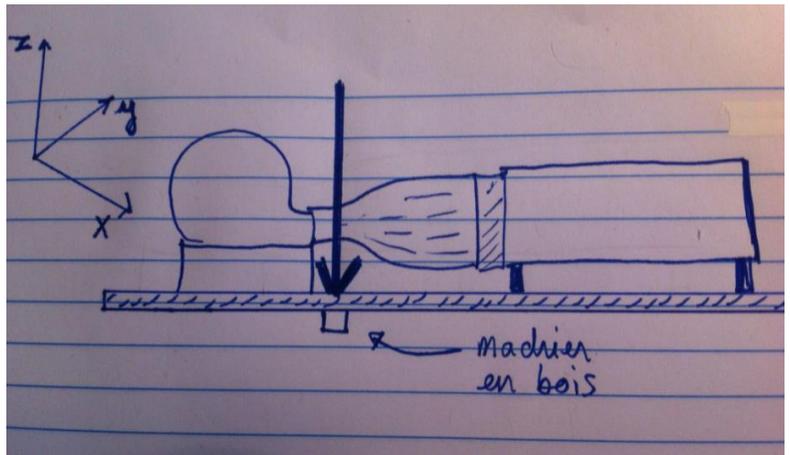


Figure 6 : Test du centre de masse

par rapport à l'axe testé. Sinon, il suffit de déplacer le bâton de bois ailleurs jusqu'à ce qu'il y ait stabilité. Notons que les dimensions des pièces fournies en annexe E sont celles utilisées par l'équipe, mais tout utilisateur peut prendre du matériel de dimensions différentes tant que l'expérience soit réalisable.

Cette méthode a été choisie parce qu'elle est plutôt instinctive et appropriée pour la théorie vue en secondaire 5. En effet, selon l'analyse du programme de secondaire 5 faite à la première étude de cas, les élèves comprennent ce qu'est une force (un vecteur). Donc, ils saisissent l'effet de la force gravitationnelle résultante sur la soufflerie elle-même.

En théorie, le centre de masse de la soufflerie est fonction de toutes ses composantes et est défini selon la relation suivante :

$$\bar{Y} = \frac{\sum Mi * Yi}{\sum Mi} \quad (\text{Équation 1})$$

où  $Y$  est la position du centre de masse par rapport à l'axe testé,  $Mi$  la masse de la composante et  $Yi$  la position du centre de masse de la composante par rapport à un référentiel. Avec cette formule, le centre de gravité théorique est situé à (-822,2 ; 141,53 ; 191,7) mm par rapport à l'origine représentée sur la figure ci-jointe.

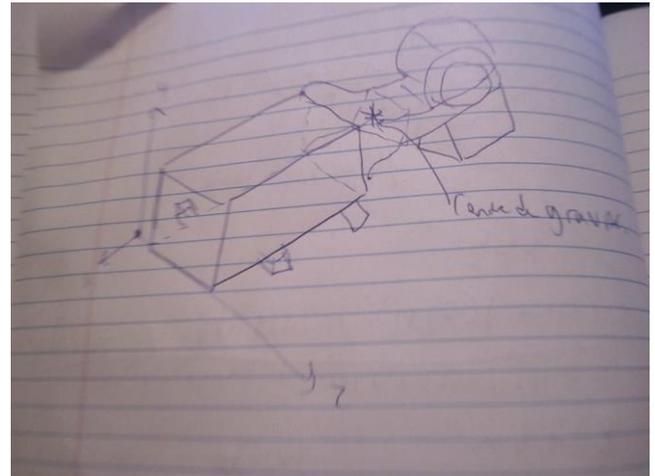


Figure 7 : Centre de masse de la soufflerie

### Mesurer la masse

Afin de mesurer la masse de la soufflerie, l'équipe choisit une méthode assez simple et efficace expliquée en détail en fiche à l'annexe E. Il suffit de placer une soufflerie sur un contreplaqué (ou toute autre planche convenable) et de prendre en notes la masse affichée par les balances au sol sur lesquelles repose l'ensemble.

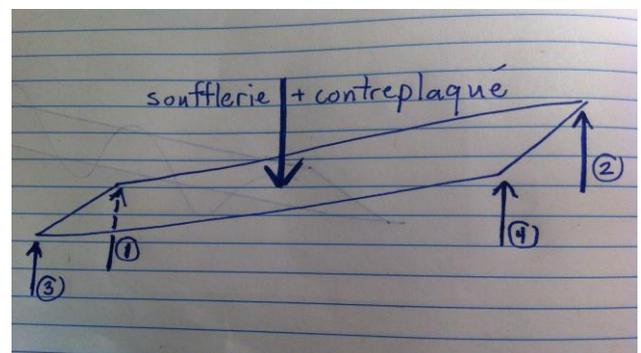


Figure 8 : Forces présentes lors de la mesure de la masse

Encore une fois, c'est une approche qui convient bien au programme de secondaire 5 et qui fait appel aux vecteurs et forces. L'expérience cherche à déterminer la norme du vecteur pointant vers le bas sur la figure 8 ci-jointe. Cette norme représente les forces gravitationnelles de la planche et de la soufflerie et est entièrement prise en charge par les balances. C'est pourquoi la masse recherchée correspond à la relation suivante :

$$Masse_{soufflerie} = \hat{=} Masse_{balance} - Masse_{contreplaqué} \quad (\text{Équation 2})$$

La relation 2 est issue du fait que la somme des forces en y (du sol au ciel) est égale à 0 puisque le tout est immobile (sans accélération).

## 5.2 Conséquences et répercussions

### Mesurer le centre de gravité

Trouver en pratique le centre de masse comporte certains désavantages. On parle principalement de sources d'incertitude:

- L'instrument pour mesurer la position du C.G. possède une incertitude égale à la moitié de sa plus petite graduation.
- Le madrier de bois a une certaine largeur. Lors de l'équilibre, le C.G. pourrait être à n'importe quel endroit sur cette distance. Si ce n'était pas tant ardu, le madrier serait en fait une arête.
- Il est possible que le madrier et le «plywood» accueillant la soufflerie ne soient pas disposés adéquatement (madrier perpendiculaire à l'axe testé et planche à son tour perpendiculaire au madrier). Ainsi, le C.G. ne serait pas isolé selon un seul axe.
- Au niveau de l'axe des z, le protocole est complexe. La soufflerie est mise sur le côté et appuyée pour être stabilisée. Même avec cette astuce, la manipulation est complexe et la masse des composantes qui servent d'appuis doit être prise en compte.

Les répercussions des points présentées plus haut reviennent toutes au même : le résultat possède une incertitude. Par contre, comme mentionné plus haut, cette expérience est pédagogique parce qu'elle est très représentative et visuelle. Les étudiants voient, testent, analysent et anticipent.

### Mesurer la masse

Mesurer la masse telle qu'expliquée précédemment n'est pas un casse-tête pour personne. Cette expérimentation est complémentaire à la soufflerie et amène plutôt ceux qui font le protocole à appliquer leurs connaissances.

### **5.3 Dessins et dimensions nominales et tolérances**

Les dessins de cotations du madrier et du contreplaqué sont fournis dans l'annexe E. Comme dit précédemment, ces dimensions ne sont pas les seules possibles, mais bien celles choisies par l'équipe, parce qu'elles permettent de prendre les mesures nécessaires. Il est possible de choisir une planche ou un madrier de dimensions différentes pourvu que l'expérience demeure réalisable. Le bout de bois doit être suffisamment long pour éliminer l'instabilité dans l'axe perpendiculaire à celui testé et la planche suffisamment grande pour prendre en charge la soufflerie en entier et suffisamment petite pour ne pas être en contact avec le sol.

## Chapitre 6 : Fabrication et essais

### 6.1 Sous-ensemble artisanal réalisé

On peut observer ci-joint la modélisation *CATIA* du sous-ensemble artisanal qu'on a réalisé. Ce sous-ensemble est idéal, car il répond à trois besoins essentiels :

- La structure est suffisamment solide pour supporter les forces et les contraintes qui lui sont appliquées.
- L'espace intérieur n'est pas obstrué visuellement, ce qui facilite grandement l'observation des expériences.
- Le sous-ensemble s'adapte facilement avec les autres sous-ensembles de la compagnie.

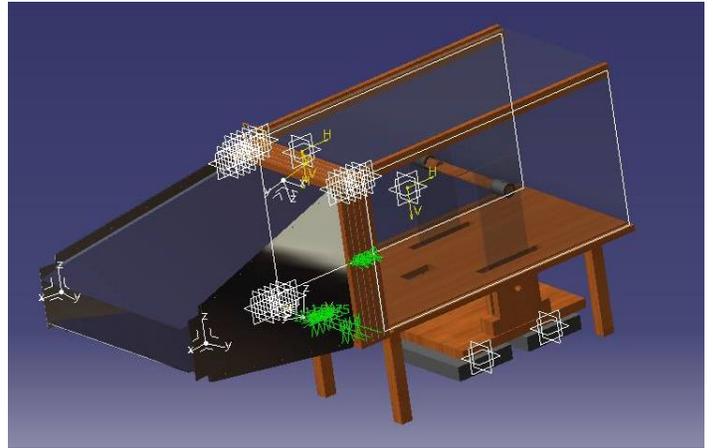


Figure 9 : Modélisation *CATIA* du sous-ensemble

De plus, ce sous-ensemble structural est aussi démontable pour faciliter le transport et l'entreposage. En effet, les trois plaques d'acrylique et le changeur de géométrie peuvent se détacher pour occuper un volume beaucoup plus petit lors du rangement ou du voyage.

### 6.2 Système de mesure

On devait trouver deux données expérimentalement :

- Le poids de la soufflerie
- La position du centre de masse de la soufflerie

Pour trouver le poids de la soufflerie, on a utilisé un système assez simple. On a déposé une planche de contreplaqué sur quatre

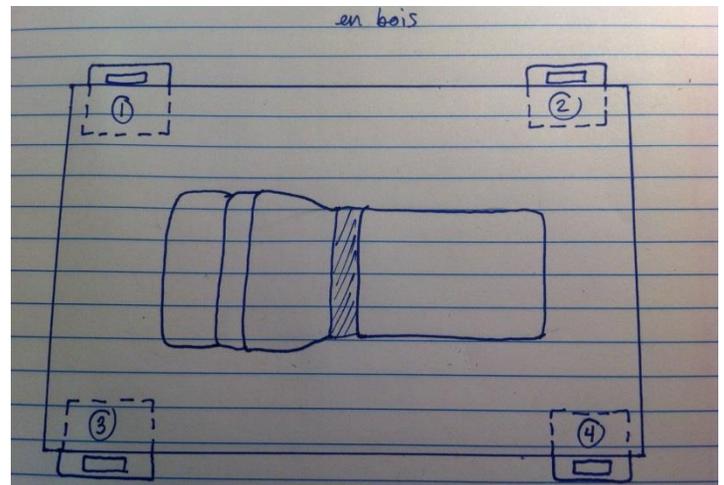
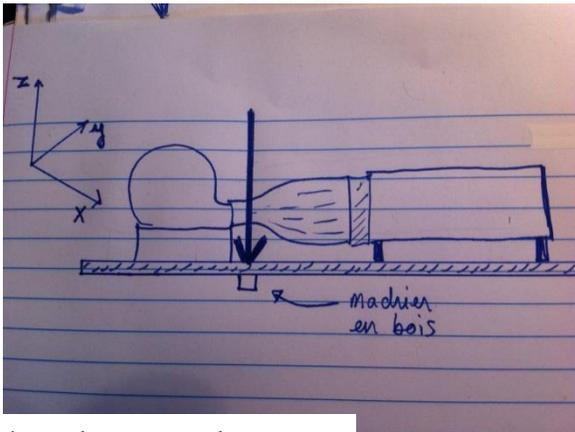


Figure 10 : Système de mesure du poids

balances de manière à ce que l'on retrouve une balance à chaque coin de la planche. On note ensuite les valeurs inscrites sur les quatre balances lorsqu'elles supportent la planche de contreplaqué. On dépose ensuite la soufflerie sur le contreplaqué. On additionne le poids mesuré sur les quatre balances et on y soustrait le poids de la planche de contreplaqué mesuré précédemment.

Pour trouver le centre de masse, on utilise la même planche de contreplaqué, mais au lieu de la déposer sur une balance, on la dépose sur un madrier en bois qui servira à



identifier le point d'équilibre. En effet, lorsque la soufflerie se retrouvera en équilibre sur le madrier, la position du centre de masse sera identifiée pour un axe. Il suffit de répéter cette manipulation sur les trois axes pour identifier les coordonnées du centre de masse.

Figure 11 : Système de mesure du centre de masse

### 6.3 Interfaçage avec les autres sous-systèmes

Puisque le sous-système est la structure de la soufflerie, on doit adapter la solution pour qu'elle puisse interagir adéquatement avec les solutions des deux autres équipes de la compagnie.

Pour s'adapter à l'équipe de génération de flux d'air, on a dû abandonner l'idée d'avoir une tuyère pour la remplacer par un changeur de géométrie. En effet, la sortie d'air du moteur utilisée est plus petite que la zone utile de la soufflerie et on a donc dû concevoir quelque chose pour changer la géométrie et l'adapter à l'aire de la section du flux d'air.

Puisqu'on n'avait plus de tuyère, il n'était plus nécessaire d'avoir des appuis pour surélever la soufflerie. Toutefois, on a dû les garder pour s'adapter à l'équipe de mesure de portance. En effet, leur sous-système nécessite une balance qui sera placée sous la

soufflerie. On a donc gardé la soufflerie surélevée pour donner l'espace nécessaire à ce sous-système. De plus, on a fait deux fentes dans le plancher de la structure pour permettre le passage des deux tiges du support. On peut ainsi relier la balance à l'intérieur de la zone utile de la soufflerie.

#### **6.4 Sensibilité du système de mesure réalisé**

Toutes les mesures qu'on prend offrent une certaine imprécision. Pour la mesure du poids de la soufflerie, la source de cette imprécision est le nombre de balances. En effet, l'imprécision de la méthode qu'on utilise est quatre fois plus grande, mais elle reste toutefois négligeable. Pour la mesure de la position du centre de masse, on a deux sources d'imprécision : le gallon à mesurer et la forme du madrier en bois. Comme toutes les règles, le gallon à mesurer présente une incertitude égale à sa plus petite division divisée par deux. Le madrier en bois, quant à lui, présente une incertitude, car il aura la forme d'un prisme rectangulaire. La soufflerie sera donc stable plus facilement que si elle reposait sur une arête. Toutefois, cette solution n'est pas vraiment réalisable, car il serait beaucoup trop difficile de trouver un point où la soufflerie est réellement en équilibre. On considère quand même que l'erreur provenant de la forme du madrier reste négligeable.

## Chapitre 7 : Tableau synthèse des pièces et du produit

### 7.1 Nomenclature et numérotation des pièces

La soufflerie finale comporte plusieurs pièces au niveau structural. Le tableau suivant présente un résumé des caractéristiques de chacune des pièces composant la soufflerie et il s'appuie sur les dessins techniques réalisés de ces pièces quant aux dimensions ainsi que sur les hypothèses de départ quant au poids.

Tableau 1 : Synthèse des pièces de la soufflerie

Numéro	Pièce	Nomenclature	Quantité	Dimensions hors-tout unitaire	Poids total
01	Corde	09-01-XX-Corde	4	Longueur de 10"	48 g
02	Vis à œillet	09-02-XX-Visoeillet	8	Longueur de 41 mm et diamètre de 1-5/8"	48 g
03	Base en bois	09-03-XX-Base	1	40 cm x 66,5 cm x 1,9 cm	1707 g
04	Patte en bois	09-04-XX-Appui	4	19 cm x 1,9 cm x 1,9 cm	140 g
05	Mur en acrylique (côté)	09-05-XX-Mur	2	60,96 cm x 32,9 cm x 0,56 cm	2278 g
06	Toit en acrylique	09-06-XX-Toit	1	60,96 cm x 30,48 cm x 0,56 cm	1139 g
07	Rail en bois	09-07-XX-Rail	2	34 cm x 33 cm x 60,96 cm	734 g
08	Tuyère en métal	09-08-XX-Tuyère	1	44 cm x 30 cm x 40 cm	2620 g
09	Vis à métaux	09-09-XX-Vismétaux	20	#8-32x1/2"	65 g
10	Support à moteur (boîte à lait)	09-10-XX-Support	1	32,5 cm x 32,5 cm x 26 cm	1385 g

Il est à noter que la nomenclature respecte des règles spécifiques. Le premier numéro représente l'équipe à laquelle la pièce est associée, dans ce cas-ci l'équipe 09. Le deuxième numéro représente le numéro de la pièce. Le troisième numéro, ici représenté par XX, représente l'instance de la pièce, soit le nombre de répétitions de la même pièce. Puis, la nomenclature se termine par le nom de la pièce.

## 7.2 Synthèse des matériaux constituant la soufflerie

La fabrication de la soufflerie a nécessité l'achat de différents matériaux. Le tableau suivant présente un résumé des caractéristiques de chacun des matériaux composant la soufflerie et il s'appuie sur les hypothèses de départ, et donc du site web de *Home Dépôt*, quant aux dimensions et quant au poids.

Tableau 2 : Synthèse des matériaux de la soufflerie

Matériau	Quantité	Dimensions	Poids unitaire	Coût unitaire
Plaque de pin blanc nouveau	1	2"x2"x6"	2,4 livres	4,99\$
Plaque d'acrylique	1	24"x48"x0,220"	10,056 livres	87,99\$
Tablette de pin lamellé	1	3/4"x16"x36"	7,94 livres	12,99\$
Paquet de 8 vis à œillet	1	Longueur de 41 mm et diamètre de 1-5/8"	0,12 livres	1,98\$
Paquet de 2 cordes élastiques bleues Masterlock	2	Longueur de 10"	0,40 livres	2,48\$
Plaque d'aluminium	1	1/16"x20"x80"	9,75 livres	45,99\$
Paquet de 10 vis à métaux à tête cylindrique	2	#8-32x1/2"	0,10 livres	1,99\$
Planche de bois contreplaqué	1	3/4"x24"x24"	10 livres	4,99\$

Chacun de ces matériaux a été choisi de façon stratégique. En effet, leurs dimensions, et plus particulièrement leur épaisseur, permettent de résister aux contraintes préalablement déterminées. Ainsi, la soufflerie peut supporter les charges et contraintes que l'équipe souhaite lui imposer suite aux besoins du client M. Éric Morissette.

## 7.3 Synthèse des parties de la soufflerie

La soufflerie a été conçue selon un aspect pratique. Ainsi, elle est facilement démontable et elle peut se ranger par parties : la partie inférieure, la tuyère, la base ainsi

que la partie supérieure. La partie inférieure est constituée des pattes de la soufflerie ainsi que de la boîte à lait qui soutient le moteur. La base elle, consiste en le morceau de bois réunissant la partie inférieure et la partie supérieure, ainsi que de 4 vis à œillet. La partie supérieure, quant à elle, contient les murs en acrylique ainsi que le toit constitué d'une partie en acrylique, de 4 vis à œillet, de 4 cordes et de deux rails en bois. Le tableau suivant présente un résumé des caractéristiques de chacune des parties composant la soufflerie et il s'appuie sur les dessins techniques réalisés de ces pièces quant aux dimensions ainsi que des hypothèses de départ quant au poids ainsi que du tableau plus haut présentant la synthèse des pièces constituant la soufflerie.

Tableau 3 : Synthèse des parties de la soufflerie

Partie	Dimensions hors-tout	Poids
Partie inférieure	72,5 cm x 99 cm x 26 cm	1525 g
Base	40 cm x 66,5 cm x 1,9 cm	1731 g
Partie supérieure	66,9 cm x 60,96 cm x 35 cm	4223 g
Tuyère	44 cm x 30 cm x 40 cm	2685 g

#### 7.4 Synthèse de la soufflerie

La soufflerie est ainsi complète du point de vue structure. Le tableau suivant présente une synthèse de la soufflerie et il s'appuie sur les dessins techniques réalisés de ces pièces quant aux dimensions ainsi que des hypothèses de départ quant au poids. Et sur le tableau résumant les parties constituant la soufflerie.

Tableau 4 : Synthèse de la soufflerie

Dimensions hors-tout	Poids	Coût
106,5 cm x 44 cm x 87,8 cm	10 164 g	209,08\$

## Conclusion

La troisième étude de cas est l'étape du projet qui met à terme toutes les démarches entreprises lors de la session. Les équipes 1, 6 et 9 unissent leurs efforts et présentent le produit final au client principal, M. Éric Morissette, après que ce dernier ait exprimé ses besoins et désirs au début du mandat. Le résultat global est satisfaisant, alors que la compagnie conçoit une soufflerie permettant d'observer la portance et la traînée sur le profil d'une aile. De plus, il est possible de l'utiliser dans le cadre de cours au secondaire.

En ce qui a trait à la structure, la base en bois a deux fentes qui accueillent les deux fenêtres de plexiglas et qui offrent une résistance de flambage aux parois. La planche a aussi deux trous rectangulaires dans la zone utile pour accueillir le système de prises de mesures. Le toit est aussi fait d'acrylique, mais est collé aux rails (madriers) de bois. Ceux-ci ont aussi des fentes pour s'agencer avec les fenêtres. Le tout est supporté et surélevé par quatre appuis de bois aux quatre coins de la base. Une composante «changeante de configuration» ajuste l'entrée de la zone utile avec la sortie de l'outil générant le flux d'air. Un des points originaux est la possibilité de monter et de démonter la soufflerie en plusieurs composantes.

L'aventure débute alors que les étudiants prennent en considération les besoins de plusieurs clients potentiels. Ils utilisent des outils et méthodes, comme la «House of Quality», pour pondérer ceux-ci. Ensuite, ils déterminent en fonction de ces critères les caractéristiques et fonctions que l'assemblage doit avoir. Avec un tri minutieux et méthodique à l'aide de différentes matrices (Pugh, morphologique), les équipes arrivent à une solution qui répond le mieux aux besoins. Finalement, il y a formation de compagnies et les solutions sont mises en commun pour monter le système final.

Le cours AER1110 – Projet initial en aérospatial est essentiel pour la cohorte. En effet, la majorité des élèves goûte pour la première fois aux facettes du travail d'ingénieur, alors qu'ils sont amenés à analyser, penser, communiquer et produire. Ils apprennent une myriade d'outils qui leur seront utiles à l'avenir à l'école, et surtout sur le marché du travail. Avec un contact avec un véritable client, le cours est une excellente formation pour préparer les ingénieurs de demain.

## Remerciements

La présente étude de cas n'aurait certainement pas mené aux mêmes résultats sans l'aide des partenaires suivants. Tous les membres de l'équipe 9 aimeraient témoigner leur gratitude et les remercier pour leur précieuse collaboration :

- M. Éric Morissette, agent de développement pédagogique au *Centre de développement pédagogique du Ministère de l'Éducation* et client principal de ce projet. Sa disponibilité et sa rétroaction ont permis de confirmer les concepts choisis.
- Mme Julie Sauvé, enseignante à l'*Externat Sacré-Cœur*, et M. Simon Chicoine-Minville, enseignant à l'* cole Secondaire C.-E.-Pouliot*, pour leur temps et les réponses à nos questions qui ont permis de confirmer d'importants choix de design, notamment la sélection du moteur pour générer le flux d'air.
- Les autres équipes du cours AER1110 - projet initial en génie aérospatial pour avoir partagé leurs réflexions et leurs idées favorisant ainsi la génération d'idées et l'exploration de nouvelles avenues.
- Les équipes 1 et 6 pour leur implication et leur tolérance lors de malentendus et de moments de tension.
- M. Stuart Shea pour son aide dans le design et la construction de la structure de la soufflerie.
- Les sociétés techniques de Polytechnique pour nous avoir permis l'accès à leur atelier en dehors des heures de cours, particulièrement pour la fabrication de la tuyère.
- MM. Philippe Gagnier, Jean-Philippe Roy et Yohan Gendreau, étudiants de Polytechnique, pour le partage de leurs connaissances techniques et des outils à leur disposition lors des séances de fabrication.

## Références

### Calculs de résistance des matériaux

1. Bazergui, A., Bui-Quoc, T., Biron, A., McIntyre, G. & Laberge, C. (2012). Résistance des matériaux (Troisième édition, 2-95,312-359). Canada : Presses Internationales Polytechnique

### Tableau synthèse

2. Home Depot (2014). Home Depot [En Ligne] Disponible : <http://www.homedepot.ca/accueil> (page consultée le 01 avril 2014)

### Autres

3. Rapport de la première étude de cas
4. Rapport de la deuxième étude de cas
5. Cahiers de projet de l'équipe 9

---

## ANNEXES

---

# Annexe A

## MAISONS DE LA QUALITÉ

		Caractéristiques d'ingénierie												
		Résistance aux chocs	Résistance à la flexion	Résistance à une pression interne	Résistance à la corrosion	Résistance aux vibrations	Ecoulement laminaire	Grandeur de l'espace utilisable	Intensité du son	Ecart de vitesses de vent	Etaanchéité aux perturbations externes	Coût	Marge d'erreur instrumentale	
		Importance relative (1-10)												
Fiabilité	Besoins primaires													
	Besoins secondaires													
	Utilisation et fidélité													
	Instrumentation	Résultats constants	9	1	1		1	9	1		1	9	9	
		Mesurer vitesses	7					3			3	3	9	
		Mesurer pressions	5		1			3				3	9	
		Mesurer forces	8					3				3	9	
	Objets que l'on peut placer à l'intérieur	Fiabilité des mesures dans différentes conditions externes	3								1	3	3	9
Facilité d'accès à la zone		6					9							
Variation du volume de l'objet testé		6					9					1		
Variation des mesures (précision dans plusieurs ordres de grandeur)		5					3			9	1	3	9	
Facilité d'utilisation	Simplicité de fonctionnement (utilisateurs variés)	5					1							
		6					1			1	1	1	1	
	Simplicité à effectuer la prise de données	1												
		5	3	3	3									
	Sécurité	Sécurité mécanique	5											
		Sécurité sonore	5						9					
	Transportable	Sécurité électrique	5											
		Passer dans une porte	8											
Facilité à entreposer		6												
Avoir un poids léger		7	9	9	3		3					3		
Durabilité	Entretenir dans une voiture	5												
	Plusieurs cycles consécutifs	7												
	Utilisation continue	4												
	Assemblage solide	8	9	9	9		3				1	3	3	
Budget	Minimiser le coût de fabrication	7	3	3	1	3		3				9		
	Minimiser le coût d'utilisation et d'entretien	4										9		
Total			195	143	19	86	161	251	45	115	134	332	339	
		Unités	N	mm/mm	MPa	%	Hz	%	Db	m/s	Mpa	\$	%	
		Instrumentations de mesure	Dynamomètre	Jauges de contraintes	APS	-	-	APS	Déclibermètre	APS	Jauges de contraintes	Calculatrice	Dashboard	
		Cibles	800	0.05	0.5	30	95	0.054	[50, 60]	[0, 10]	0.1	1000	5	

Caractéristiques d'ingénierie	Fonctions d'ingénierie												Importance relative (1-6)			
	Rester aux forces soudaines	Rester aux forces continues	Conserver sa forme	Rester à la dégradation	Augmenter l'efficacité	Surfaces de contact avec le sol	Règle	Balance	Test de force	Test de fumée	Au plus 50 de l'école	Surfaces de contact ouvertes		Règle	Au moins 0,36	0 car aucune surface exposée
Résistance aux chocs	9	3	3		1				3							
Résistance à la flexion	3	9	9		1				3							
Résistance à une pression interne	1	3	1		1				3	3						
Résistance à la corrosion				9												
Résistance aux vibrations		1	1		3				3							
Grandeur de l'espace utilisable					3	9	1									
Poids					3	3	9							1		
Solidité de l'assemblage	3	3	3		1				9	1				3		
Intensité du son										9						
Étanchéité aux perturbations extêmes			3		1					9				1		
Sécurité	3		1		3										9	
Coût	1	1		1	3								3			
<b>Total</b>	67	61	62	14	36	51	64	83	83	37	45	36	34	36	36	
<b>Unités</b>	N	MPa	mm/mm	Années		m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	kg	MPa		%	km	mm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>		cm <sup>2</sup>	
<b>Instruments de mesure</b>	Jauge de déformation	Jauge de déformation	Jauge de déformation	Temps	Calculs scientifiques	Surfaces de contact avec le sol	Règle	Balance	Test de force	Test de fumée	Google Maps	Surfaces de contact ouvertes	Règle	0 car aucune surface exposée	0 car aucune surface exposée	
<b>Cible</b>	Au moins 900	Au moins 0,1	Au plus 0,03	Au moins 3		Au moins 0,09	Au plus 25	Au moins 0,1	Au moins 90		Au plus 50 de l'école	0 car aucune surface exposée	Au moins 0,36			

## Annexe B

### CALCULS DE RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

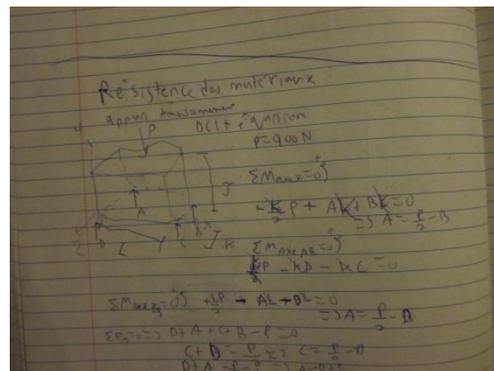
#### Efforts externes

Pour pouvoir analyser les efforts et répartitions internes de la structure de la soufflerie, il faut faire une analyse des efforts externes qui sont appliqués. Cette analyse repose en quatre parties:

- Analyser les facteurs externes qui pourraient s'exercer sur la structure
- Analyser les forces causées par ces facteurs sur la soufflerie
- Représenter ces charges en termes de forces dans un DCL
- Trouver les réactions aux appuis

#### *Description des charges, schéma et DCL*

La charge la plus importante, lorsque la soufflerie est en mode assemblé, est celle associée à une personne qui s'appuie sur elle. Cette force peut avoir des composantes dans les trois axes de la soufflerie (longueur, largeur, hauteur) et avoir une intensité très grande dépendamment de la personne. Cependant, cette force ne peut être quantifiée puisqu'une personne pourrait l'appliquer à n'importe quel point de la soufflerie. Pour la représenter lors de l'analyse de forces internes, elle sera placée dans la zone où elle causera des contraintes internes les plus grandes. Un exemple d'une zone d'application possible de cette force avec les forces résultantes aux appuis est présent ici. D'autres représentations de forces avec leurs DCL respectifs sont plus loin dans l'annexe B.



#### *Formulation, graphique, résultats anticipés et interprétation*

Des diagrammes de corps libres ont été faits pour analyser les réactions aux appuis suite aux forces externes. Des exemples de DCL faite sont présents plus loin à l'annexe B. Pour chaque chargement, puisque la structure est en équilibre (statique) des équations d'équilibres peuvent être calculées pour chaque axe par la formule suivante :

$$\sum \vec{f} = m\vec{a} = \vec{0} \text{ (Équation 3)}$$

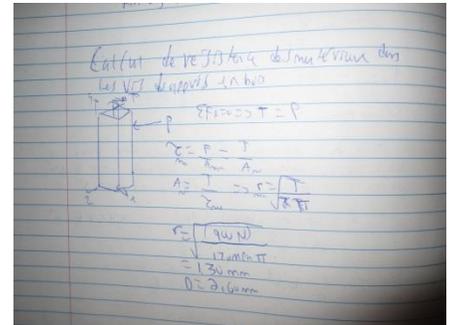
Pour le chargement illustré ces équations indiquent que la force de 900N sera répartie également dans les quatre appuis, donc 225N chacun. Pour vérifier ce résultat et d'autres résultats de réaction aux appuis, des balances peuvent être placées sous les appuis pour avoir la composante perpendiculaire au sol de la force de cet appui. En connaissant le coefficient de frottement statique des appuis, la composante parallèle au sol de l'appui. On peut ainsi valider les calculs théoriques.

## Efforts internes

Pour être en mesure de réduire le poids, il faut être capable de déterminer les dimensions minimales des composantes de la structure. En utilisant des matériaux plus volumineux, le poids, coût et volume augmenteront. Les calculs d'efforts internes sont donc très importants pour le dimensionnement des pièces.

### Description des systèmes et schémas

La philosophie utilisée pour les calculs de résistances de matériaux est de voir les contraintes internes maximales que les forces extérieures produisent sur une composante et de la dimensionner pour qu'elle puisse supporter au maximum cette contrainte. Pour faire cela, des DCLs des composantes ont été faits pour chaque composante structurale, par exemple la figure ci-présente d'un appui en bois de la base.



### Configuration et sections critiques (DCLs et formulation)

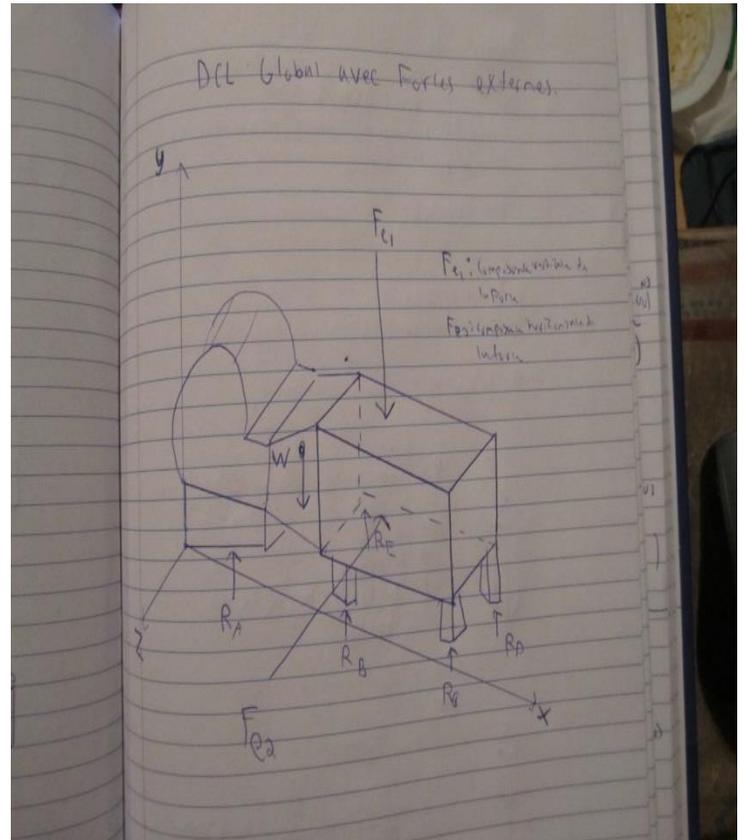
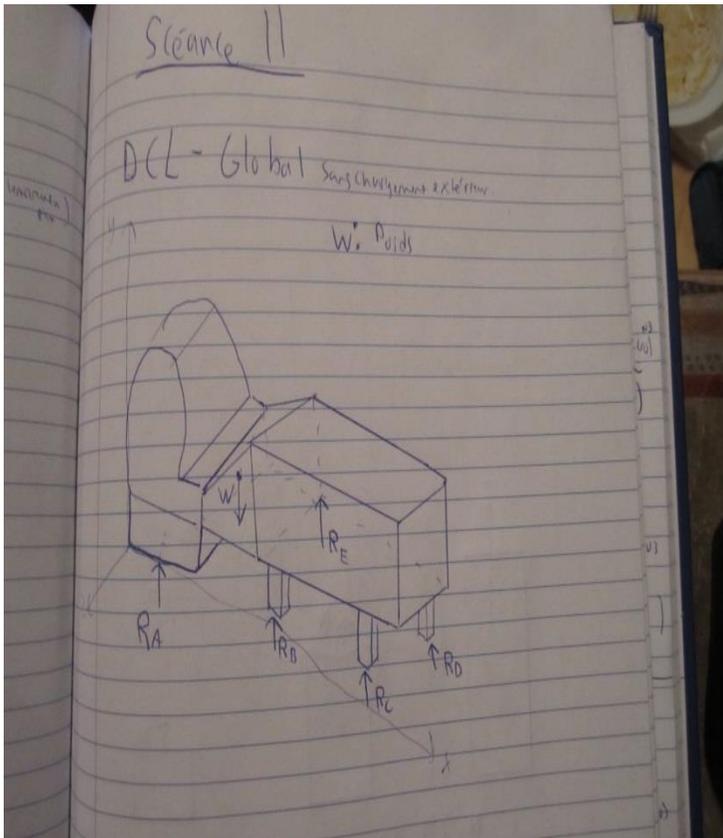
Suite aux calculs de résistances des matériaux des composantes, plusieurs ont été déterminés comme critiques, soit qui sont plus à risque de rompre à cause des chargements :

- Le toit en acrylique
- Les côtés en acrylique
- Les rainures en bois

Des renforcements de ces sections ont ensuite eu place pour pouvoir solidifier la structure tout en diminuant le poids.

*Fiches, Graphiques, Résultats, interprétation et validation*

Dans l'annexe B plus loin se trouvent plusieurs autres exemples de calcul de résistance de matériaux pour diverses composantes avec leurs DCLs respectives. Les résultats de ces calculs se voient dans le dimensionnement des pièces. Il y a une logique aux calculs effectués, car pour une force de moins de 1kN, il n'y a aucune pièce qui a une section plus grande que 1000 mm<sup>2</sup>. Pour valider les résultats obtenus, il est possible de mettre des charges de plus en plus grandes pour voir quand la structure cèdera et donc savoir les contraintes maximales que la structure peut supporter.



Calcul les 3

$$D + \left(\frac{P}{2}\right) + \left(\frac{P}{2}\right) - D = \left(\frac{P}{2} - A\right) = 0$$

$$D + \frac{3P}{2} - \left(\frac{P}{2} - D\right) = 0$$

$\sum M_{A=0} \Rightarrow -\frac{KP}{2} + KA + KB = 0$

$$\Rightarrow A = \frac{P}{2} - B$$

$\sum M_{B=0} \Rightarrow \frac{PK}{2} - KD - KC = 0$

$$C = \frac{P}{2} - D$$

$\sum M_{C=0} \Rightarrow -\frac{1}{2}P + CL + BB = 0$

$$B = \frac{P}{2} - C$$

$\sum M_{D=0} \Rightarrow \frac{1}{2}P - DL - AL = 0$

$$\frac{P}{2} - D - \left(\frac{P}{2} - B\right) = 0$$

$$\frac{P}{2} - D - \left(\frac{P}{2} - \left(\frac{P}{2} - C\right)\right) = 0$$

$$\frac{P}{2} - D - \left(\frac{P}{2} - \left(\frac{P}{2} - \left(\frac{P}{2} - D\right)\right)\right) = 0$$

$$\frac{P}{2} - D - \frac{P}{2} + \left(\frac{P}{2} - \frac{P}{2} + D\right) = 0$$

$$D = 0 \Rightarrow A, B, C, D = 0$$

à vérifier la compatibilité géométrique de la poutre

$$A = B = C = P = 225 \text{ N}$$

fin lehr 1

le 21 mars 2014

Calcul de résistance des matériaux pour poutre droite

P, un point de force sur la poutre

$125 \quad 304.5 \text{ mm}$

$125 \quad 304.5$

Flexion de la poutre:

$\sum M_A = 0$

$$M_A - 0.125P + 0.375R_B - M_B = 0$$

$\sum F_{y=0} \Rightarrow R_B - P + R_A = 0$

hypothèses de la poutre 2

comportement élastique

$\left\{ \begin{array}{l} u, B, V_x = 0 \quad \text{à } x=0 \Rightarrow \text{si } q \text{ est } q=0 \text{ mes calculs} \\ u, B, V_x = 0 \quad \text{à } x=L \end{array} \right.$

contrainte principale ( $\sigma_{1,2}$ )

fin lehr 2

$$\frac{P}{A} = \frac{\pi^2 E}{k^2 L^2} = \frac{\pi^2 E I_x}{k^2 L^2 A}$$

$$A = L_0 i \quad I_x = \frac{1}{12} L_0^3 \quad L_0 = M \quad k = 1$$

$$\frac{P}{A} = \frac{\pi^2 E I_x}{(M)^2 L_0^2}$$

fin lehr 2

Résistance des matériaux

appui dimensions

$P = 900 \text{ N}$

$\sum M_{A=0} \Rightarrow$

$$-KP + KA + BK = 0$$

$$\Rightarrow A = \frac{P}{2} - B$$

$\sum M_{B=0} \Rightarrow$

$$KP - KD - KC = 0$$

$\sum M_{A=0} \Rightarrow \frac{1}{2}P + AL + DB = 0$

$$\Rightarrow A = \frac{P}{2} - B$$

$\sum F_y = 0 \Rightarrow D + A + B - P = 0$

$(+D = \frac{P}{2}) \Rightarrow D = \frac{P}{2}$

$D + A - \frac{P}{2} = 0 \Rightarrow A = \frac{P}{2}$

$P + \left(\frac{P}{2} - B\right) - \frac{P}{2} = 0 \Rightarrow D = B$

Travail de résistance le 31 mai 2014

14 h 43

Cher à accomplir

→ Regarder l'attribution pour chaque section de bois  
 → Faire les formules de calcul des moments des EE  
 → Faire les diagrammes de la section relative à la section  
 → Il garde un bon compte de ces calculs pour les autres années

résumé des données : dimensions de l'élément d'éléments flexion

The diagram shows a beam of length \$l = 4.50\$ m. A rectangular load is applied, with a maximum value of \$1000\$ N/m. Below the beam, a triangular shear force diagram is shown, with a maximum value of \$3500\$ N.

résumé des données : dimensions de l'élément d'éléments flexion

The diagram shows a beam of length \$l = 4.50\$ m. A rectangular load is applied, with a maximum value of \$1000\$ N/m. Reaction forces \$R\_A\$ and \$R\_B\$ are shown at the ends of the beam.

1) \$R\_A\$ :  
 $-M_A(x=0) = R_A(x=0) - P(x=0) = 0$   
 $R_A(x=0) = P(x=0) = 1000 \times 0 = 0$

2) \$R\_B\$ :  
 $M_B(x=l) = R_B(x=l) - P(x=l) = 0$   
 $R_B(x=l) = P(x=l) = 1000 \times 4.50 = 4500$

3) \$M(x)\$ :  
 $M(x) = R_A(x) \cdot x - \frac{P \cdot x^2}{2}$   
 $M(x) = 0 \cdot x - \frac{1000 \cdot x^2}{2} = -500x^2$

4) \$V(x)\$ :  
 $V(x) = R_A - P \cdot x = 0 - 1000x = -1000x$

5) \$f(x)\$ :  
 $f(x) = \frac{R_A \cdot x^3}{6} - \frac{P \cdot x^4}{24}$   
 $f(x) = \frac{0 \cdot x^3}{6} - \frac{1000 \cdot x^4}{24} = -\frac{1000x^4}{24}$

0 = \$-M\_A(x=0) = 0\$  
 0 = \$-M\_B(x=l) = 0\$  
 0 = \$-V(x=0) = 0\$  
 0 = \$-V(x=l) = 0\$

Partie 1 : boisage

$$\frac{P}{A} = \frac{\pi^2 E}{(\frac{l}{k})^2} \quad \text{où } k = \sqrt{\frac{J_{xx}}{A}}$$

$$\frac{P}{A} = \frac{\pi^2 E J_{xx}}{l^2 A} = \frac{\pi^2 E J_{xx}}{l^2 A}$$

$$P = \frac{\pi^2 E J_{xx}}{k^2 l^2 A}$$

$$J_{xx} = \frac{k^2 l^2 P}{\pi^2 E}$$

Essai = \$0.75 \text{ kN/m}^2 = 0.75 \text{ GPa}\$

\$\sigma\_{\text{imp bois}} = 11.4 \text{ MPa}\$

\$k = 2\$ : encastrement, rotule d'appui, autre...  
 \$k = 1\$ : articulation, rotule, d'appui...  
 \$k = 0.5\$ : articulation, rotule, d'appui...  
 \$k = 0\$ : articulation, rotule, d'appui...

$$J = \frac{(0.75)^2 (0.40)^2 (90)}{\pi^2 (0.75 \times 10^9)} = 343.16 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{1}{6} b L^2 \quad \text{avec } b = 30 \text{ mm}$$

$$Z = \frac{1}{6} a L^2 \quad L = \sqrt[3]{\frac{6Z}{a}} = 127 \text{ mm}$$

$$A = aL \quad a = \frac{A}{L} = \frac{10.22 \text{ cm}^2}{127 \text{ mm}} = 5.46 \text{ mm}$$

fin 23/10

Calcul de résistance de matériaux des les VBT d'appuis en bois

The diagram shows a beam on a support. A force \$P\$ is applied at the top, and a reaction force \$T\$ is applied at the bottom. The beam is shown in a 3D perspective.

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow T = P$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow A = T \Rightarrow P = T$$

$$r = \sqrt{\frac{900 \text{ N}}{1700 \text{ mm}^2}} = 1.30 \text{ mm}$$

$$D = 2.60 \text{ mm}$$

Le 5 avril 2014

- trouver les données caractéristiques de l'appareil

1) Détermination

The diagram shows a beam on a support. A force \$P\$ is applied at the top, and a reaction force \$T\$ is applied at the bottom. The beam is shown in a 3D perspective.

P : la même valeur maximale la charge effective dans les sections et le poids de celle-ci, de \$P = 900 \text{ N} + (9.81 \text{ kg}) (55 \text{ kg}) = 1345 \text{ N}\$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{P}{A}$$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{1345 \text{ N}}{A}$$

$$A = \frac{1345 \text{ N}}{11.4 \text{ MPa}} = 119.2 \text{ mm}^2$$

# Annexe C

## CALCULS DE CENTRE DE GRAVITÉ

Parallélogramme de base  $B$  et hauteur  $H$

$A = B \cdot H$   
 $\bar{x} = \frac{B}{2}$   
 $\bar{y} = \frac{H}{2}$   
 $\vec{G} = \left( \frac{B}{2} \vec{i} + \frac{H}{2} \vec{j} \right)$

en 3 parties de même largeur

Transfert de l'axe en  $x$  donc  $\bar{x} = \frac{B}{2}$

Figure	Area	$\bar{y}$	$A \bar{y}$
①	$BH$	$\frac{H}{3}$	$BH^2/3$
②	$-BD$	$H/3$	$-BD(H/3)$
③	$-BD$	$H/3$	$-BD(H/3)$
Total	$BH - 2BD$		$\frac{BH^2 - 2BD(H/3)}{BH - 2BD}$

$\bar{y} = \frac{\sum y_i A_i}{\sum A_i} = \frac{BH^2 - 2BD(H/3)}{BH - 2BD}$

(Calcul de centre de gravité)

appuis:  
 3 plans de symétrie  
 donc  $\vec{G} = \left( \frac{B}{2} \vec{i} + \frac{H}{2} \vec{j} + \frac{L}{2} \vec{k} \right)$

Système mesuré de portance!

Figure 2 plans de symétrie, il n'y a pas de mesure en  $y$  par rapport

Figure	$A_m$	$\bar{x}_i$	$\bar{y}_i$	$\bar{x}_i A_i$	$\bar{y}_i A_i$
①	$F(C+B)$	$\frac{C+B}{2}$	$\frac{F}{2}$	$\frac{F(C+B)^2}{2}$	$\frac{F^2(C+B)}{2}$
②	$-BD$	$C + \frac{B}{2}$	$\frac{D}{2}$	$-BD(C + \frac{B}{2})$	$-\frac{BD^2}{2}$
③	$-A(F-E)$	$\frac{C+B+A}{2}$	$\frac{F-E}{2}$	$-A(F-E)(\frac{C+B+A}{2})$	$-A(F-E)(\frac{F-E}{2})$
Total					

$$\bar{x} = \frac{\sum \bar{x}_i A_i}{\sum A_i} = \frac{\frac{F}{2}((C+B)^2) - BD(C + \frac{B}{2}) - A(F-E)(\frac{C+B+A}{2})}{F(C+B) - BD - A(F-E)}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum \bar{y}_i A_i}{\sum A_i} = \frac{\frac{F^2(C+B)}{2} - \frac{BD^2}{2} - A(F-E)(\frac{F-E}{2})}{F(C+B) - BD - A(F-E)}$$

Figure 2 plans de symétrie en  $z$  donc  $\bar{z} = \frac{L}{2}$   
 par symétrie donc  $\vec{G} = (\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$

Plan de symétrie

diamètre d'axe = 177,8 mm

diamètre Ø102 = 172,8 mm

Poutre labellée

Pour un matériau tridimensionnel  $\bar{x} = \sum \bar{x}_i V_i$

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i V_i}{\sum V_i} = \frac{(340,766)(1707) + (57+300,04)(734)(2)}{1707 + (2)(734) + (2)(227,8)(1134)}$$

$$\bar{x} = \frac{(57+300,04)(2278) + (57+300,04)(1134)}{1707 + (2)(734) + (2)(227,8)(1134)}$$

$$\bar{x} = 353,94 \text{ mm}$$

avec pour l'axe des Y

$$C.D.G = (353,94; 187,8; 200) \text{ mm}$$

avec une masse de 9870 grammes

diamètre d'axe = 170 mm

diamètre Ø102 = 170 mm

diamètre Ø102 = 170 mm

$$\bar{x} = \frac{(353,94)(8870) + 2((665-70)(127)) + 2(70)(127)(140)}{8870 + 2(140)}$$

$$\bar{x} = 352,7 \text{ mm}$$

$\bar{z} = 200 \text{ mm}$  (symétrie des y)

$$\bar{y} = \frac{(187,8)(8870) + (-100)(140)(2)}{8870 + (2)(140)}$$

$$\bar{y} = 170,7 \text{ mm}$$

$$C.D.G = (352,7; 170,7; 200,0) \text{ mm}$$

avec une masse de 9430 grammes

Pour l'axe des Y

32

33

14

17

16

axe	Surface	$x_i$	$y_i$	$A_i$	$A_i y_i$
①	1056	16	16,5	16896	17424
②	224	17	2	408	-48
③	224	25	25	5600	-5600
total	808			10888	11776

$$\bar{x} = 13,47 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = 14,57 \text{ mm}$$

$$\bar{z} = 23,5 \text{ mm}$$

masse

mesure de position

200 mm

250

190

78

150 mm (radius)

150 mm (radius)

$$\bar{x} = \frac{(823,1)(27730) + (250)(2187)}{27730 + 2187}$$

$$\bar{x} = 781,2 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = \frac{(19,2)(27730) + (78-19,2)(2187)}{27730 + 2187}$$

$$\bar{y} = 148,6 \text{ mm}$$

$$\bar{z} = \frac{(200)(2187) + (192,6)(27730)}{27730 + 2187}$$

$$\bar{z} = 193,1 \text{ mm}$$

$$C.D.G = (781,2; 148,6; 193,1) \text{ mm}$$

avec une masse de 2997 grammes

$$\bar{x} = \frac{(9430)(352,7) + (2620)(665)(2620)}{9430 + 15680 + 2620}$$

$$= 823,1 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = \frac{(9430)(170,7) + (2620)(150) + (15680)(61,5)(150)}{9430 + 2620 + 15680}$$

$$\bar{y} = 169,2 \text{ mm}$$

$$\bar{z} = \frac{(9430 + 2620)(200) + (15680)(200)(13)}{9430 + 2620 + 15680}$$

$$\bar{z} = 192,6 \text{ mm}$$

$$CG = (823,1; 169,2; 192,6) \text{ mm}$$

avec un axe de  $z = 7730 \text{ U}$

$$\bar{x} = \frac{(781,2)(2991,7) + (1385)(1610) + (267)(1385)(1610)}{781,2 + 1385 + 267}$$

$$\bar{x} = 822,6 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = \frac{(148,6)(2991,7) + (1385)(1610) + (267)(1385)(1610)}{148,6 + 1385 + 267}$$

$$\bar{y} = 141,53 \text{ mm}$$

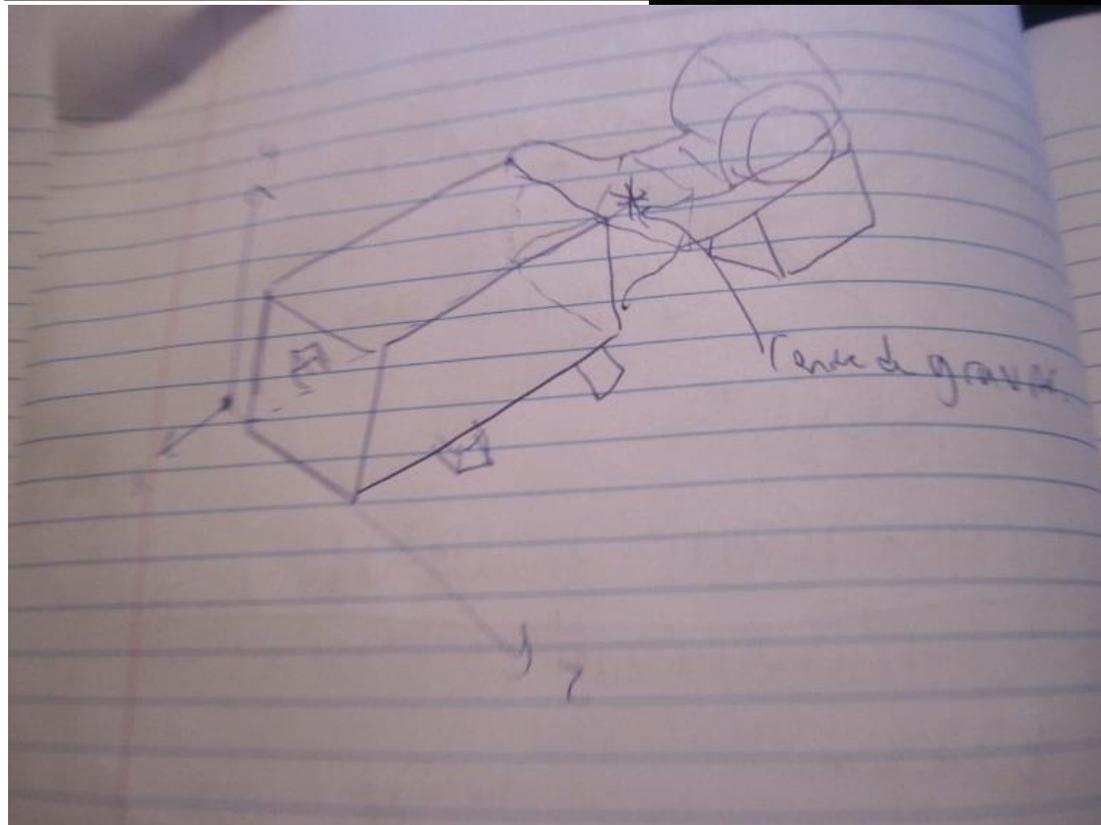
$$\bar{z} = \frac{(193,1)(2991,7) + (267)(1610 + 1385)}{193,1 + 267 + 1385 + 1610 + 267}$$

$$\bar{z} = 191,7 \text{ mm}$$

$$CG = (822,6; 141,53; 191,7) \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$$

avec  $m = 33881 \text{ gram}$

source d'erreur: - max. erreur sur les photos  
 - fusion et mesure avec un logiciel de mesure  
 trouver expérimental  
 - instruments de mesure qui font de



## Annexe D

### MESURER LA MASSE DE LA SOUFFLERIE

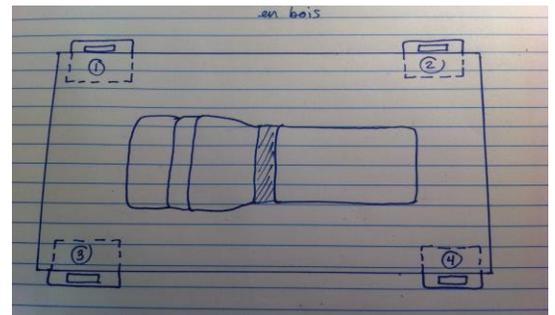
Le matériel nécessaire afin de tester expérimentalement la masse de la soufflerie est :

- une planche de bois contreplaqué (ou tout autre planche qui rend l'expérience possible)
- quatre (4) balances capables de supporter un minimum de 10,164 kilogrammes.

#### *Mesurer expérimentalement la masse*

Avant la prise de mesure, il est conseillé de préparer un tableau afin de noter le résultat qu'affiche chacune des balances avec leur incertitude (voir annexe F), la masse du contreplaqué et la masse combinée du contreplaqué et la soufflerie. Les étapes pour l'expérimentation sont :

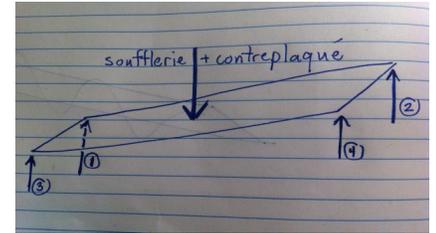
1. Placer le contreplaqué sur les quatre balances, de telle sorte qu'il ne touche en aucun point au sol.
2. Positionner les balances afin de rendre visible l'affichage sur celles-ci, tel qu'illustré à la figure 1.
3. Noter la masse du contreplaqué. Ne pas oublier de prendre en note la mesure sur chacune des balances.
4. Une fois cette prise de mesure complétée, mettre la soufflerie en entier sur le contreplaqué.
5. Reprendre la mesure sur chacune des balances, qui cette fois-ci correspond au poids du contreplaqué et de l'outil aérodynamique combiné.
6. Retirer la structure, retirer la planche des balances, puis récupérer les balances.



7. Finalement, calculer la masse de l'appareil.

Il est à noter que les forces agissant vers le bas sont celles de la soufflerie et du contreplaqué. Ainsi, l'ensemble des quatre balances prend en charge ces deux forces. La masse recherchée correspond à :

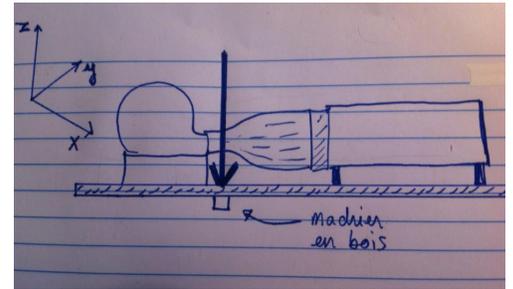
$$Masse_{soufflerie} = \sum Masse_{balance} - Masse_{contreplaqué}$$



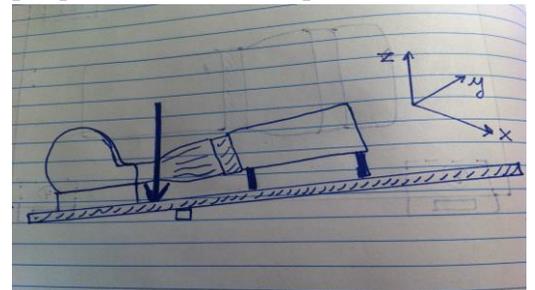
## TESTER LE CENTRE DE MASSE DE LA SOUFFLERIE

Tester le centre de masse en  $x$  et en  $y$

La procédure est la même pour ces deux axes. Le processus nécessite trois individus (ou plus au besoin), une feuille de contreplaqué accueillant la soufflerie et un madrier 1,5'' x 1,5'' x 59,6'' de bois. Si le test est fait selon l'axe des  $x$ , la longueur du madrier égale celle de la largeur de la feuille; en  $y$ , elle est égale à la longueur du contreplaqué. Les étapes de l'expérimentation se résument comme suit :



1. Se positionner de telle sorte que deux personnes soient chacune à une extrémité (de l'axe testé) du contreplaqué. La troisième est au milieu sur le côté de la planche, madrier en main.
2. Les deux personnes aux extrémités soulèvent le contreplaqué, et la troisième place le madrier en dessous perpendiculairement à l'axe testé. Déposer la planche sur le madrier et observer s'il y a stabilité ou instabilité ou bien si le contreplaqué touche au sol.
3. Si le contreplaqué n'est pas en contact qu'avec le madrier (figure 1), soulever à nouveau, déplacer le madrier dans la direction où l'ensemble penche, puis redéposer la planche. Observer la stabilité/l'instabilité. Par exemple, si une situation semblable à la figure 2 se présente, déplacer le madrier vers le moteur (vers la gauche).



4. Au besoin, répéter l'étape 3 jusqu'à ce que le contreplaqué soit parallèle au sol (figure 1).
5. Noter la distance, le long de la planche, entre le madrier et le début du moteur (pour l'axe x), ou l'une des fenêtres de plexiglas (pour l'axe y).

Lors de l'équilibre, aucun moment n'est créé de part et d'autre de l'appui, car la force résultante (résultante de tous les points de la soufflerie dans l'axe testé) est appliquée au madrier, donc il y a stabilité.

*Tester le centre de masse en z*

Tester le centre de masse en z repose sur la même technique que pour les deux axes précédents et demande les mêmes étapes. Cependant, les manipulations sont plus délicates, car la soufflerie doit être stable, et ce, sans pouvoir compter sur les appuis de la zone utilisable et celui du moteur. Elle doit être le même assemblage qu'aux moments où elle repose au sol, mais un de ses côtés au sol cette fois-ci. Ainsi, les utilisateurs doivent ajouter des composantes qui se retrouveront entre le contreplaqué et l'appareil aérodynamique pour stabiliser le tout.

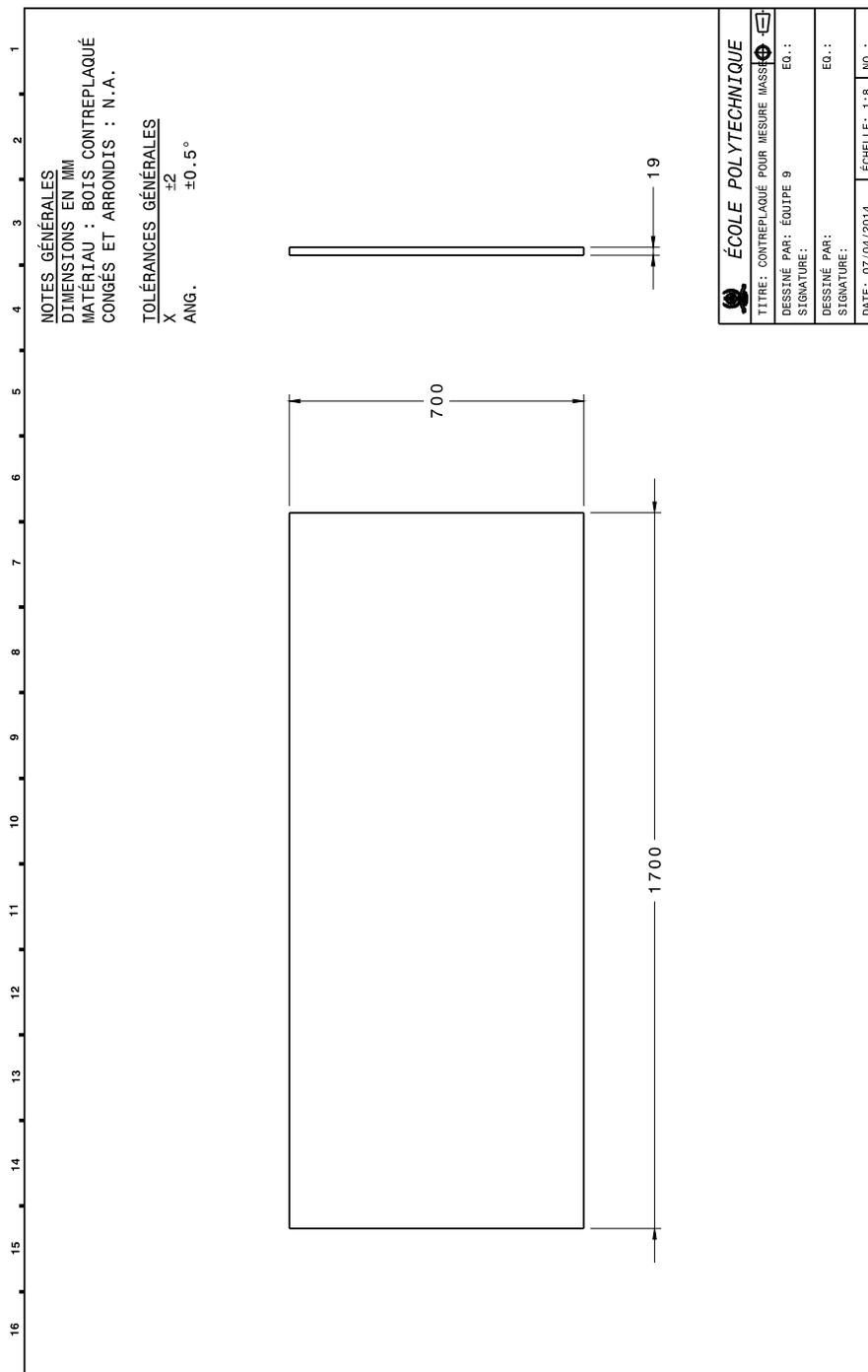
Une fois l'équilibre atteint sur le madrier, la même mesure de l'étape 5 doit être prise, mais entre le madrier et le toit maintenant (pour l'axe des z). Puis, pour toutes les composantes ajoutées, noter leur masse et leur distance entre le madrier et leur centre de gravité respectif. Au niveau théorique, le C.G. devient :

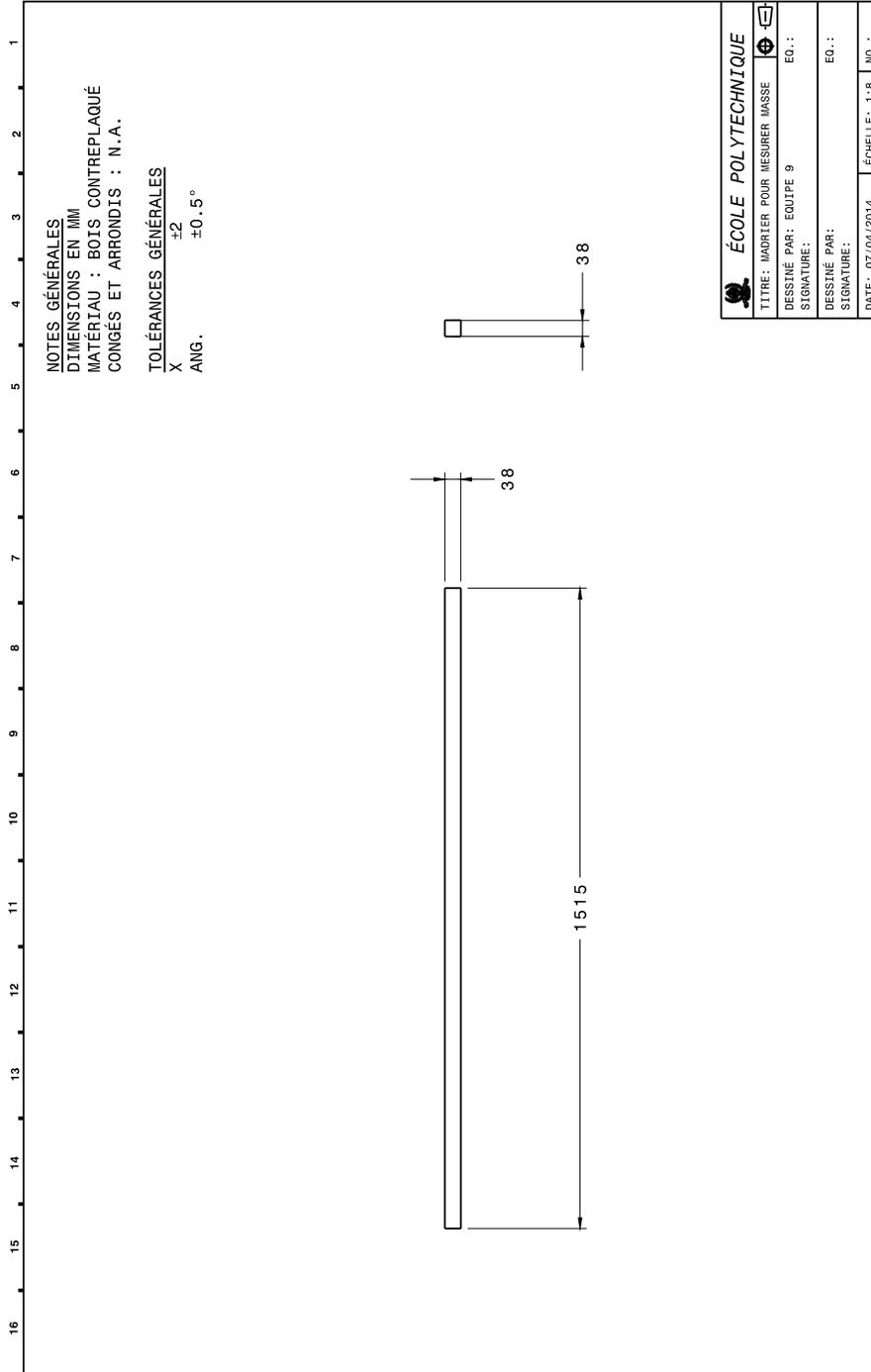
$$\bar{z} = \frac{\sum M_i * z_i}{\sum M_i} - \frac{\sum M_c * z_c}{\sum M_c}$$

où  $M$  = masse d'une composante,  $Z$  = distance entre le madrier et la composante. L'indice  $i$  est associé aux pièces de la soufflerie et l'indice  $c$  est associé aux pièces des appuis ajoutés.

# Annexe E

## MESURER MASSE ET CENTRE DE GRAVITÉ





## Annexe F

### PROTOCOLE DE TEST : MESURE DE LA MASSE ET DU CENTRE DE GRAVITÉ

#### *Matériel nécessaire :*

- 1 ou 2 pèse-personnes
- 1 feuille de contreplaqué de 70 x 175 (mm)
- Soufflerie à peser
- Ruban à mesurer ou règle
- Équerre
- Madrier de 1.5'' x 1.5'' (pouce)
- Plaque de polystyrène de 60 x 20 x 7 cm
- 1 fiche de prise de données

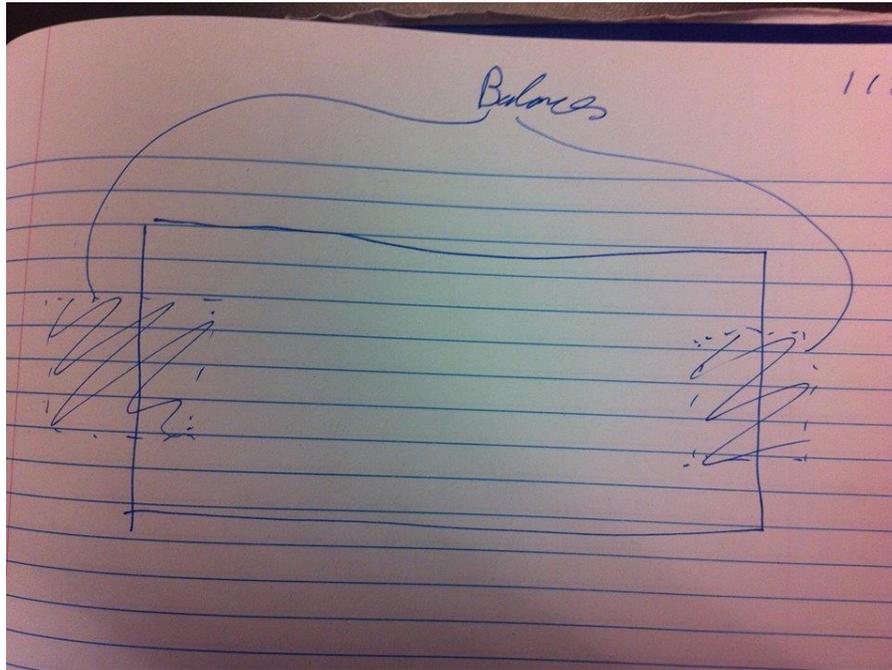
#### *Notes préalables :*

Réaliser l'expérience avec plusieurs balances permet de faciliter les lectures et d'améliorer la stabilité. Cependant, cela n'est aucunement nécessaire.

#### *Étapes de réalisation :*

<input type="radio"/> 1. Identifier une des arêtes longitudinales de la plaque X.
<input type="radio"/> 2. Identifier l'une des arêtes perpendiculaires Y.
<ul style="list-style-type: none"><li>• L'arête Z est imaginaire et correspond à la hauteur de l'assemblage.</li></ul>
<input type="radio"/> 3. Placer la ou les balances sur le sol.
<input type="radio"/> 4. Placer la feuille de contreplaqué sur les pèse-personnes.

- O 5. Ajuster la position de ceux-ci afin qu'ils soient aux extrémités de la plaque de bois (ou au centre dans le cas d'un seul appareil).



- Dans le cas d'un seul appareil, couper un rectangle de la plaque de contreplaqué peut s'avérer nécessaire pour effectuer la lecture. S'assurer que le rectangle ainsi coupé est symétrique par rapport aux quatre côtés de la plaque

- O 6. Noter l'affichage de chacun des appareils **OU** tarer tous les appareils. Dans ce cas, le poids initial noté est 0g.

- O 7. Placer la soufflerie en mode assemblé sur la plaque de bois et s'assurer que le tout est stable.

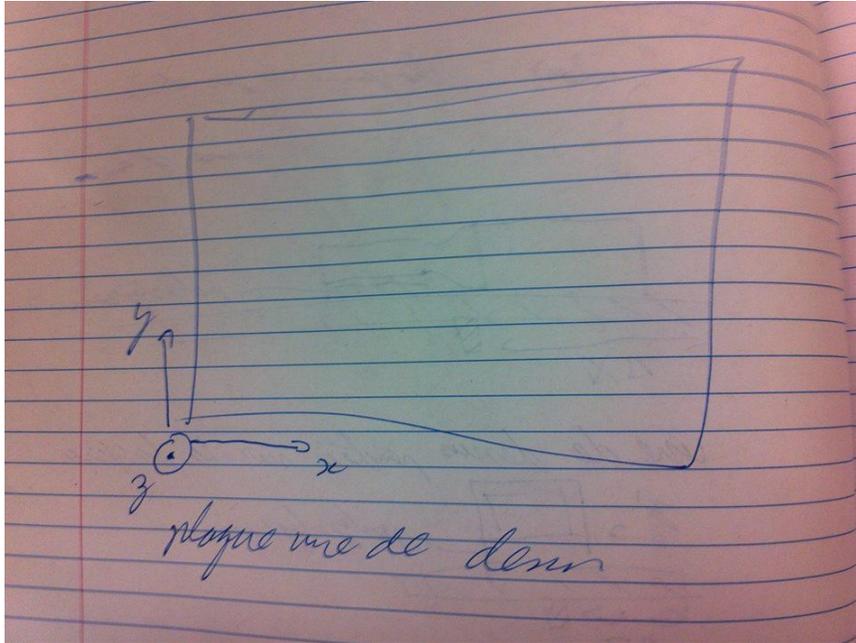
- Il est très utile de dessiner grossièrement le contour de la soufflerie afin de conserver la même position et le même référentiel pour le reste des manipulations

- O 8. Lire les mesures de poids de chaque appareil de mesure et noter dans le tableau de mesures.

- Les mesures n'ont pas à être identiques, c'est la somme qui compte.

- S'assurer que l'unité d'affichage sur les balances soit la même. Sinon, convertir dans une unité commune et au choix.

O 8. Définir un système d'axe comme suit :



O 9. Enlever la soufflerie de la plaque.

O 10. Placer le madrier sous la plaque, perpendiculairement à une des arêtes

O 11. Retirer les balances

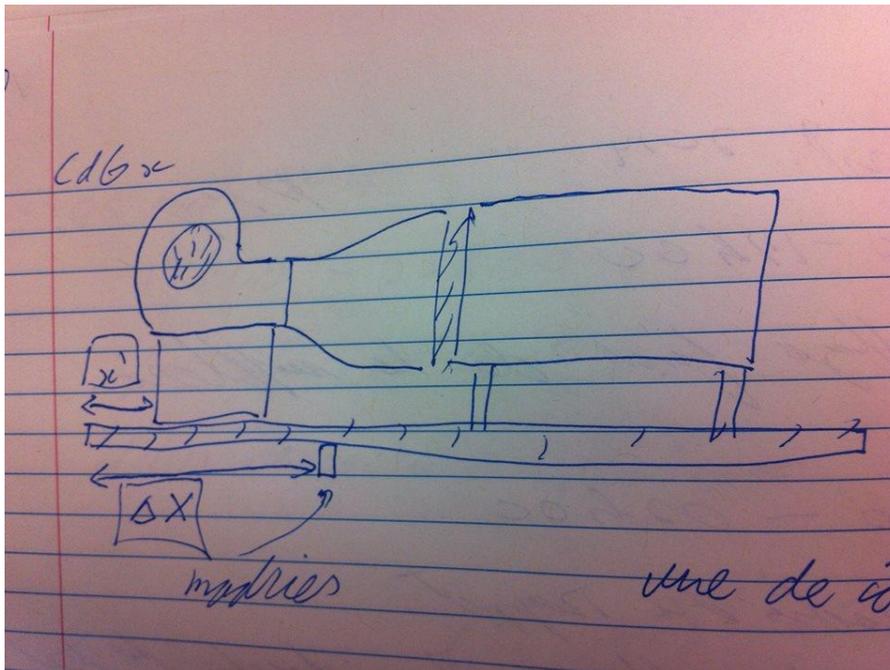
O 12. Remettre la soufflerie sur le contreplaqué en faisant attention à ne pas faire tomber le tout.

O 13. Faire glisser la plaque transversalement au madrier afin de placer le tout en équilibre.

O 14. Une fois l'équilibre atteint, mesurer la distance entre le madrier et une des arêtes parallèle.

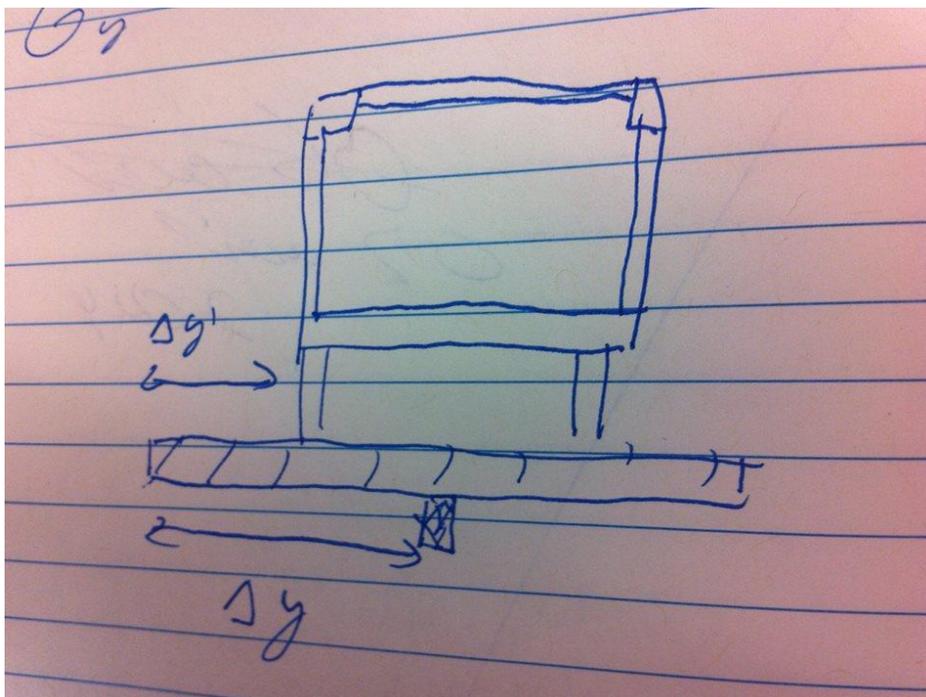
O 15. Répéter 16 en prenant la mesure entre la soufflerie et la même arête.

- O 16. Reporter les mesures 16 et 17 dans la grille de mesure, section CdG x



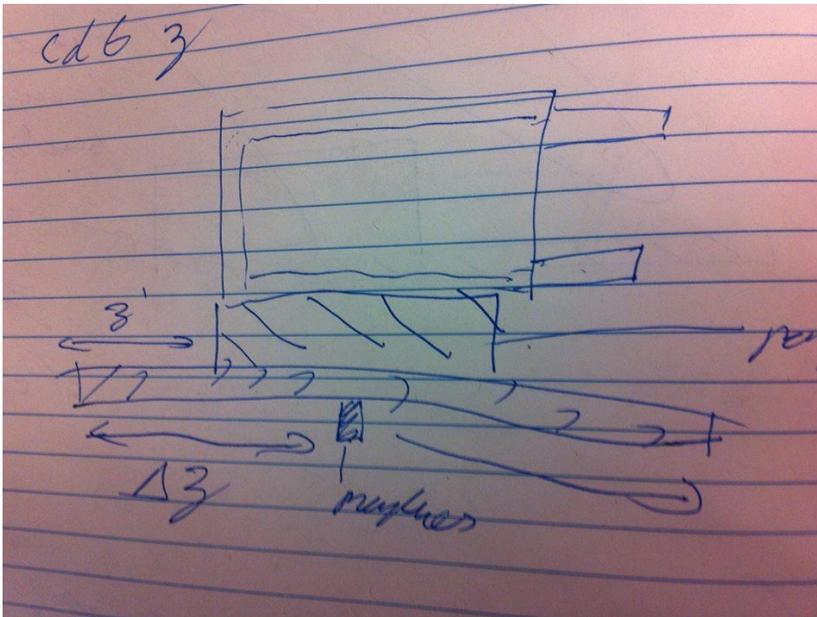
- O 17. Soulever légèrement la plaque et tourner le madrier de 90°.

- O 18. Répéter les étapes 15 à 18 avec la nouvelle orientation mais reporter les mesures dans la section CdG y.



- O 19. Enlever la soufflerie de la plaque pour plus de sécurité.

- O 20. Placer le madrier selon la longueur principale de la plaque.
- O 21. Remettre la soufflerie sur la plaque mais en la couchant sur le côté, en prenant bien soin que le madrier soit parallèle à l'axe principal de la soufflerie (celui de l'écoulement d'air). Utiliser le polystyrène pour surélever certaines parties de la soufflerie et la garder stable.
- O 22. Une fois le tout bien en équilibre, mesurer la distance perpendiculaire entre la soufflerie et l'arête parallèle la plus rapprochée de la base de la soufflerie.
- O 23. Répéter 23 avec la distance du madrier à la même arête.
- O 24. Reporter les mesures de 23 et 24 dans la grille, section CdG z



- O 25. Retirer la soufflerie de la plaque
- O 26. Prendre la position du centre de gravité du polystyrène de la même façon
- O 27. Peser le polystyrène utilisé avec le pèse-personne.
- O 28. Reporter ces mesures dans le tableau ( $z''$ )
- O 30. Tout démonter et ranger le matériel

## Fiche de prise de données

**Tableau 1 :** Mesure du poids de la soufflerie

	Balance 1	Balance 2 (si nécessaire)	Incertitude
Poids initial affiché			±
Poids final affiché			±

$$Masse, soufflerie = \sum Masse, Finale - \sum Masse, Initiale \quad (1)$$

**Tableau 2 :** Centre de gravité du contreplaqué

Position	Mesure (cm)	Poids de la plaque (g)
x		
y		
z		

**Tableau 3 :** Centre de gravité en x (CdG x)

	Mesure (cm)	Incertitude
$\Delta X$		±
$x^2$		±

$$x = \Delta X - x' \quad (2)$$

**Tableau 4 :** Centre de gravité en y (CdG y)

	Mesure (cm)	Incertitude
$\Delta Y$		±
$y^2$		±

$$y = \Delta Y - y' \quad (3)$$

**Tableau 5** : Centre de gravité en z (CdG z)

	Mesure (cm)	Incertitude
$\Delta Z$		$\pm$
$z'$		$\pm$

$$z = \Delta Z - z' \quad (4)$$

**Tableau 6** : Masse de polystyrène et  $z''$  (selon nombre nécessaire)

$z''$ (cm)	Masse de polystyrène (g)

Masse totale de polystyrène (g)	
---------------------------------	--

**Formules pour calculer le CdG total :**

C = x, y ou z

p = plaque

s = polystyrène

$$C_{\text{soufflerie}} = \frac{\sum M_i C_i}{\sum C_i} - \frac{M_p C_p}{C_p} - \frac{\sum M_s C_s}{\sum C_s}$$

# Annexe G

## FACTURATION DE LA SOUFFLERIE

### Centre de développement pédagogique

Étude de cas 3 – Soufflerie 1 – Compagnie I

Facturé à : Expédié à : Facture N°: #AER1110-20140408-  
 Éric Morissette Éric Morissette 03  
 Code client : #EMS2014  
 Agent de développement 300, rue Sicard, bureau 1.55, Sainte-Thérèse  
 pédagogique (Québec) J7E 3X5

Date	Commande N°	Représentant	FAB	Expédier via	Conditions	N° de TVA
2014-04-08	01	NA	NA	Poste Canada	NA	NA

Facture :

Matériau	Quantité	Prix unitaire	Sous-total
Plaque de pin blanc nouveaux 2"x2"x6"	1	4,99\$	4,99\$
Plaque d'acrylique 24"x48"x0,220"	1	87,99\$	87,99\$
Tablette de pin lamellé 3/4"x16"x36"	1	12,99\$	12,99\$
Vis à œillet de longueur de 41 mm et à diamètre de 1- 5/8"	1 paquet de 8 vis	1,98\$	1,98\$
Cordes élastiques Masterlock 10" bleues	2 paquets de 2 cordes élastiques	2,48\$	4,96\$
Plaque d'aluminium 1/16"x20"x80"	1	45,99\$	45,99\$
Vis à métaux à tête cylindrique #8-32x1/2"	2 paquets de 10 vis	1,99\$	3,98\$
Silicone suprême transparent	1	8,99\$	8,99\$
Planche de bois 3/4"x24"x24"	1	4,99\$	4,99\$
Tube pour boucher les fuites de longueur de 10 pieds et à diamètre de 1"	1	4,99\$	4,99\$
Total avant taxes			181,85\$
TPS			9,09\$
TVQ			18,14\$
Total avec taxes			209,08\$

2500, chemin de Polytechnique  
 Montréal, Québec, H3T 1J4

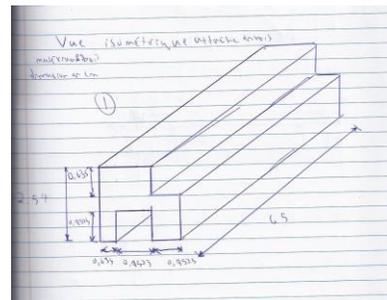
## Annexe H

### FICHE ANALYSE

#### *Les composantes*

La base est une simple planche de bois (pin) rectangulaire d'une épaisseur de 3/4 ". Elle est munie de deux fentes sur tout le long des deux côtés, chacune profonde de 3/8 " et servant à accueillir les parois de plexiglas. De plus, deux fentes sont percées dans la base afin d'intégrer le système de mesure de données.

Pour maintenir la forme de la section carrée, deux madriers en bois sont modifiés de façon à accueillir les trois feuilles d'acrylique (fenêtres). Celle qui est à la position du toit est collée à la «marche» des deux attaches en bois, alors que les feuilles qui sont verticales sont insérées dans les fentes de la base (bas) et celles des attaches (haut). Il est à noter que ce principe exploite les liaisons prismatiques. Pour surélever et stabiliser le tout, quatre morceaux de bois sont mis sous chaque coin de la base, et il en est de même pour le moteur. Ainsi, il est possible d'accéder au système de mesures situé sous la base.



#### *La résistance du toit*

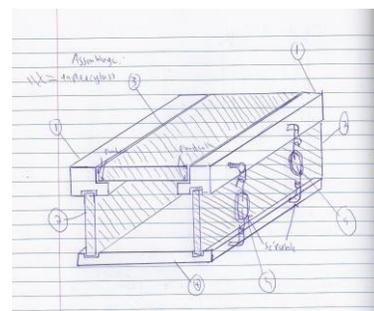
L'équipe estime qu'une force continue maximale de 900N (incluant un facteur de sécurité de 1,5) peut être appliquée sur le toit du plexiglas. Ainsi, pour la contrainte normale ( $\sigma$ ) dans le plexiglas, la relation suivante pousse l'équipe à favoriser une épaisseur de 0,220 pouce pour le toit, où  $\sigma_{\max} = 22,65\text{MPa}$ .

$$|S_{\max}| = \frac{M_{\max} * Y_{\max}}{I_{\text{plexi}}}$$

#### *Monter et démonter la soufflerie*

Afin d'offrir la meilleure versatilité possible au client lors de l'entreposage et du transport, il est possible de monter et de démonter la structure. L'ensemble est composé de quatre morceaux principaux :

- la fenêtre de plexiglas du toit collée aux deux attaches en bois
- les deux fenêtres d'acrylique formant les deux parois transversales
- la base.



Pour unir ces composantes, il suffit de mettre sous tension les composantes à l'aide de câbles et de vis à œillet, tel qu'illustré à la figure 2. Ainsi, une certaine sécurité est assurée. En effet, l'ensemble n'expose aucun élément coupant, rien n'est susceptible de tomber d'une hauteur exagérée et aucune quantité d'énergie trop grande n'est emmagasinée.

*Mots-clés* : Fente; Intégrer; Acrylique; Bois; Liaisons prismatiques; Monter; Démonter.

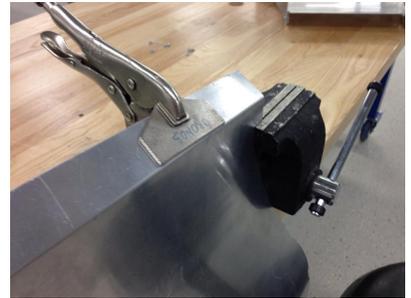
# Annexe I

## FICHE RÉALISATION

### Les procédés

Plusieurs procédés ont été utilisés lors de la fabrication de la soufflerie pour l'équipe structure. Ces procédés sont :

- Le sciage du bois
- Le découpage de l'acrylique
- Le pliage et pressage de l'aluminium
- Le sablage du bois et de l'acrylique
- Le perçage de l'aluminium
- Le rivetage du bois et de l'aluminium
- Le collage



### Le maintien structurel

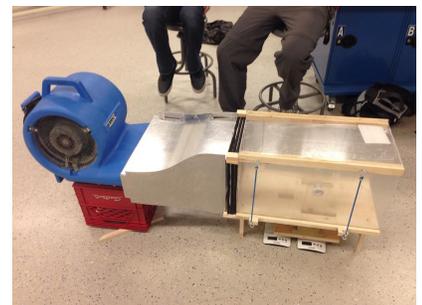
L'équipe a dû penser à une façon de bien maintenir structurellement le tout :

- Une base est créée pour tout supporter
- Des rails sont élaborés pour joindre les différentes parties en acrylique
- Des cordes élastiques sont fixées pour tenir le haut et le bas de la soufflerie et prévenir les faiblesses

### L'intégration de toute la soufflerie

La soufflerie doit contenir deux autres parties, mise à part la structure. L'équipe a donc dû penser à une intégration possible des autres parties :

- Des pattes sont rajoutées pour surélever la soufflerie, ce qui permet à la partie de la mesure de la portance de s'intégrer.
- Des fentes sont aussi découpées dans la base pour permettre l'insertion du système de mesure de la portance.
- Le toit amovible est repensé afin de permettre un meilleur accès au système de mesure de la portance.
- Une tuyère est ajoutée pour permettre la transition de la sortie du moteur à l'entrée de la soufflerie, ce qui permet à la partie génération du flux d'air de s'intégrer.
- Une boîte à lait et des petits morceaux de bois sont aussi ajoutés afin de surélever le moteur et ainsi le rendre à niveau avec la soufflerie.
- Un espace pour les moustiquaires est prévu afin de créer un écoulement plus laminaire à la demande de l'équipe de génération de flux d'air.



*Mots-clés* : Pliage; Pressage; Procédés; Base; Cordes; Maintien; Intégration

## Annexe J

### GAMME DE FABRICATION : SOUFFLERIE ARTISANALE

#### Nomenclature générale :

Systeme	numérotation
Mesure de portance	01-FAB-XXX
Laminarisation	06-FAB-XXX
Veine d'essai	09-FAB-YXXX
Changement de géométrie	
Appui du moteur	

- Premiers chiffres : numéro de l'équipe s'étant chargé de la fabrication.
- FAB : abréviation pour fabrication.
- Y : numéro du sous-système (veine d'essai = 1, changement de géométrie = 2, appui moteur = 3).
- XXX : numéro de l'étape de fabrication.

Le numéro de gamme suit la nomenclature suivante : G-169-F-1

- G : abréviation de gamme
- 169 : compagnie formée des équipes 1, 6 et 9
- F : abréviation de fabrication
- 1 : numéro du projet

#### Notes générales :

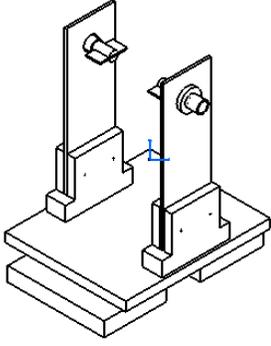
- Chaque sous-section commence par une liste des pièces et une liste des outils.
- Les noms de pièces sont les mêmes que pour les dessins de détails.
- Dimensions en cm sauf si indiqué autrement

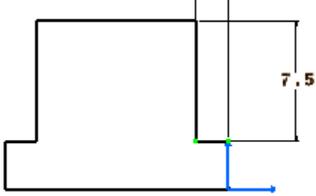
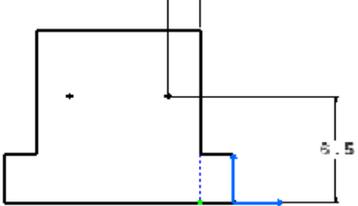
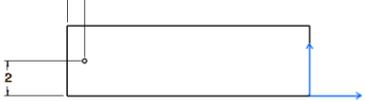
### Mesure de portance

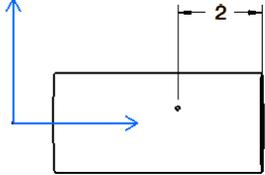
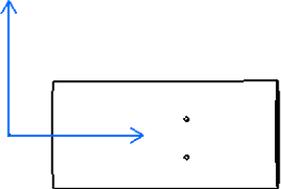
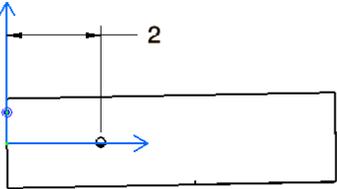
14	Tube de colle époxide	1	std	-
13	Rouleau de ruban adhésif	1	std	-
12	Batons de popcycle	1	std	-
11	Clous à finition	4	std	-
10	Feuille de papier	1	21.59 x 27.94	-
9	Styromousse	-	30 x 30 x 5	-
8	Panneau de bois	20	30 x 5 x 0.5	-
7	Tige en bois	1	14 x 1.9 Ø	-
6	Planche de bois de 30 x 1.9	1	30 x 25 x 1.9	-
5	Panneau de bois	1	15 x 1.9 x 2	-
4	Panneau de bois	1	14 x 4 x 21	-
3	Tube en PVC	1	2 x 2.4 Ø	30
2	Tube PVC	1	10 x 1.9 Ø	50
1	Panneau d'acrylique	1	20 x 30 x 0.5	320
Id	Description	Qté	Spécification	Poids (g)
		Titre	Portance assy	
		N. de gamme	G-169-F-1	
Liste de matériaux				

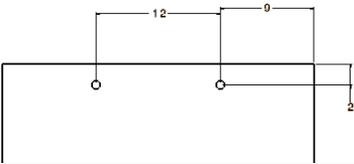
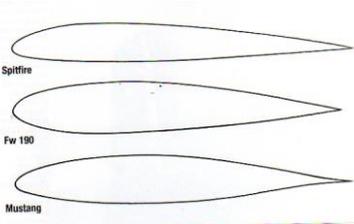
13	Boulon bloc en T (2 x 3/8 ‘‘)	4	std	-
12	Boulon base (2.5 x 3/8 ‘‘)	4	std	-
11	goupille	2	std	1
10	Aile en mousse	2	Au choix	27 - 36
9	Support à profil d’aile	2	7 x 5.5 x 1.9	14
8	Bloc en T	2	14 x 10.5 x 4	165
7	Patte en bois	2	15 x 1 x 1.9	14
6	Cran d’arrêt en métal	1	-	5
5	Base en bois	1	30 x 25 x 1.9	717
4	Plaques latérales en plexiglass	2	10 x 30 x 0.5 cm	*
3	Tube en PVC, partie mâle, 5 x 1.9 Ø cm	2	std	*
2	Tube en PVC, partie femelle, 1.0 x 2.4 Ø cm	2	std	198*
1	Balance Starfrit 5 kg	2	std	523
<b>Id</b>	<b>Description</b>	<b>Qté</b>	<b>Spécification</b>	<b>Poids (g)</b>
		Titre	Portance assy	
		N. de gamme	G-169-F-1	
Liste des pièces				

P	Foret 1/16 po.
O	Foret ¼ po.
N	Mèche de 1 po.
M	Banc de scie
L	Perceuse à colonne
K	Sableuse
J	Scie à ruban
I	Fil chauffant
H	Imprimante
G	Colle à bois
F	Serre joint
E	Équerre
D	Couteau d'atelier
C	Marteau
B	Ciseau
A	Crayon
Id	Description
 <b>POLYTECHNIQUE MONTRÉAL</b> LE GÉNIE EN PREMIÈRE CLASSE	
Liste des outils	

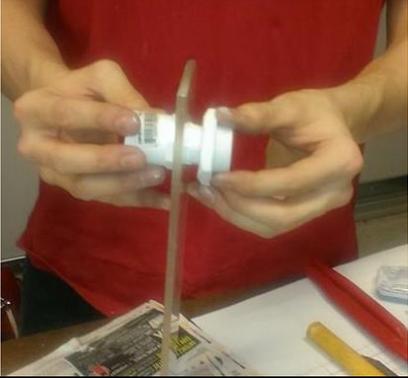
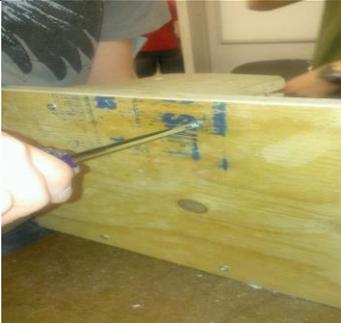
			
Gamme de fabrication			
Ensemble: Portance assy			
Gamme n.1	7 Feuilles		
Opération	Description	Croquis	Outillage
01-FAB-010	Se procurer le matériel.		
01-FAB-020	Mesurer deux panneaux de 10 cm par 30 cm dans la plaque d'acrylique		Crayon, équerre
01-FAB-030	Couper avec une scie à ruban		Scie à ruban
01-FAB-040	Percer un trou de 1'' (2.54 cm) à 5 cm du haut des plaques, en plein centre selon la largeur		
01-FAB-050	Répéter les étapes 30 et 40 pour le second panneau d'acrylique		
01-FAB-060	Mesurer et couper deux blocs de bois de 14 cm de largeur, 4 cm de hauteur et 10.5 cm de longueur avec la scie à ruban		Crayon Équerre Scie à ruban
01-FAB-070	Ajuster la hauteur de la lame du banc de scie à 7.5 cm		Règle Banc de scie

01-FAB-080	Placer la plus petite face des plaques à plat sur la table et faire une entaille au milieu de la largeur. Soit à 2 cm du bord		Équerre Banc de scie
01-FAB-090	Faire une incision de 2 cm à 3 cm de la base de la plaque. Dans l'autre direction, compléter la coupe avec une incision de 7.5 cm		Scie à ruban Règle crayon
01-FAB-100	Répéter 90 de l'autre côté du support		Scie à ruban
01-FAB-110	Placer les plaques d'acrylique dans les supports en T et percer deux trous de ¼ po. à 7.5 cm de la base et 2 cm des côtés à travers les deux pièces		Perceuse à colonne Foret ¼ po.
01-FAB-120	Percer deux trous sur le dessous de la pièce à 1 cm du bord et au milieu de la largeur		Perceuse à colonne
01-FAB-130	Répéter les étapes 60 à 120 pour l'autre bloc en T		N/A
01-FAB-140	Couper deux lamelles de 1 cm de largeur dans la plaque de 15 x 1.9 cm		Scie à ruban
01-FAB-150	Sabler les arêtes des deux lamelles avec une sableuse		sableuse

01-FAB-160	Percer un trou de 0.1 cm de diamètre à 2 cm du bord du tube en PVC mâle		Perceuse à colonne Foret 0.1 cm (1/16 po.)
01-FAB-170	À la même distance que l'autre trou, percer un second trou décalé de 13°		Perceuse à colonne Foret 0.1 cm (1/16 po.)
01-FAB-180	Couper la partie filetée du tube femelle et garder seulement la partie en forme d'écrou		Scie à ruban
01-FAB-190	Répéter les étapes 160 à 180 pour avoir deux séries de tubes identiques		N/A
01-FAB-200	Découper 2 cylindres de 7 cm de longueur chaque avec la tige en bois		Scie à ruban
01-FAB-210	Percer un trou de 0.1 cm de diamètre à 2 cm d'une extrémité		Perceuse à colonne Foret 0.1 cm (1/16 po.)
01-FAB-220	À l'autre extrémité, perpendiculairement à l'axe du trou, venir tailler une fente passant par le centre de la face de 0.3cm d'épaisseur sur 3cm de longueur		Scie à ruban
01-FAB-230	Tailler, délicatement dans le sens de la longueur, des bâtons de popcycle de 3cm de long afin d'en obtenir 6 identiques		Scie à ruban
01-FAB-240	Couper 3 bâtons afin qu'ils mesurent 5.5cm de longueur		Scie à ruban

01-FAB-250	Positionner les 3 bâtons côte-à-côte et appliquer de la colle à bois sur toute la surface formée		Colle à bois
01-FAB-260	Rapidement, venir déposer les bâtons coupés perpendiculairement aux autres afin de couvrir toute la longueur		N/A
01-FAB-270	Déposer un objet massif sur le montage et laisser sécher durant la période spécifique à la colle		N/A
01-FAB-280	Couper 6 à une longueur de 25 cm		Banc de scie ou scie à ruban
01-FAB-290	Sabler les arêtes de la pièce pour un fini lisse		Sableuse
01-FAB-300	Percer deux trous espacés de 12 cm, à 9 cm d'un des côtés et à 2 cm du rebord de la largeur		Perceuse à colonne Foret 1/4 po.
01-FAB-310	Répéter 300 de l'autre côté afin d'obtenir une pièce symétrique		Perceuse à colonne Foret 1/4 po.
01-FAB-320	Imprimer à l'échelle le profil d'aile choisit		Imprimante Feuille de papier
01-FAB-330	Tracer sur une planche de bois deux contours du profil		crayon

01-FAB-340	couper en suivant le contour pour obtenir un gabarit du profil		Scie à ruban
01-FAB-350	Insérer deux clous sur chaque gabarit en bois et insérer les deux morceaux de bois de part et d'autre d'un bloc de styromousse		
01-FAB-360	Avec le fil chauffant, suivre la forme des gabarits afin de couper le profil		Fil chauffant styromousse
01-FAB-370	Plastifier le profil à l'aide de ruban adhésif		Ruban adhésif
01-FAB-380	Découper la forme du support d'aile au centre de gravité du profil.		Couteau d'atelier
01-FAB-390	Appliquer de la colle époxy sur les faces intérieures du tube mâle et femelle		Colle époxy
01-FAB-400	Insérer le tube mâle dans le trou de la plaque latérale		

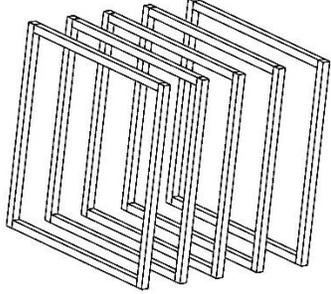
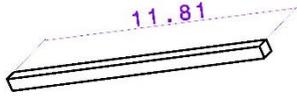
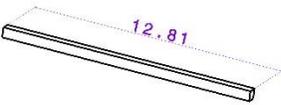
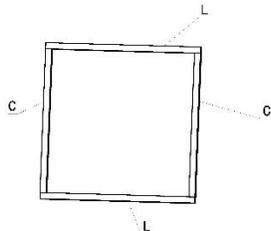
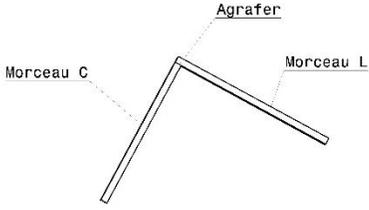
01-FAB-410	Venir visser le tube femelle sur l'autre tube afin de serrer la plaque entre les deux parties complémentaires		
01-FAB-420	Laisser la colle durcir		
01-FAB-430	Positionner les blocs en T sur la plaque de soutien afin que leurs trous coïncident		
01-FAB-440	Insérer les boulons de serrage et visser les écrous		Boulon base (2.5 x 3/8 ")
01-FAB-450	À 8.0cm du bord de la largeur, de chaque côté de la plaque de soutien, venir coller avec de la colle à bois les pattes.		Colle à bois
01-FAB-460	Maintenir une pression avec des serres le temps de séchage de la colle		Serre joint

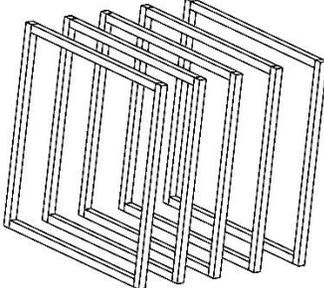
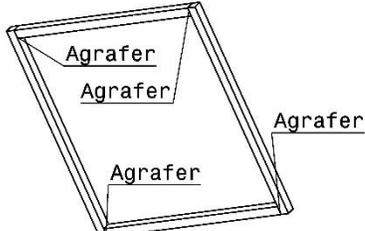
01-FAB-470	Appliquer de la colle à bois dans la fente des goujons		Colle à bois
01-FAB-480	Insérer les plaque de soutient d'aile dans la fente		
01-FAB-490	Laisser sécher		
01-FAB-500	Insérer dans la fente des blocs en T une plaque latérale		
01-FAB-510	Insérer les boulons de serrage dans les trous prévus à cet effet		Boulon bloc en T (2 x 3/8 ")
01-FAB-520	Visser les écrous pour terminer le montage		
01-FAB-530	insérer dans le profil d'aile le support		

### Cadres de linéarisation du flux d'air

4	Ruban de masquage	n\a	Std
3	Agrafe à bois	n\a	Std
2	Rouleau de moustiquaire	1	24x84"
1	Tige de bois	6	.5x.5x48"
Id	Description	Qté	Spécification
		Titre	Cadre assy
		N. de gamme	G-169-F-1
Liste des pièces			

F	Scie à ruban
E	Équerre
D	Marteau
C	Agrafeuse à bois
B	Ciseau
A	Crayon
Id	Description
	
Liste des outils	

			
Gamme de fabrication			
Ensemble: Cadre assy			
Gamme n.1	Feuille: 1:2		
Opération	Description	Croquis	Outillage
06-FAB-10	Se procurer le matériel.		
06-FAB-20	Mesurer sur 3 tiges de bois, à intervalle de 11.81" et marquer à la mine, pour un total de 10 pièces.		Crayon Équerre
06-FAB-30	Identifier chacune des parties par un "C".		Crayon
06-FAB-40	Utiliser les retailles de l'OP 06-FAB-30 pour tracer 1 morceau de 12.81" de long.		Crayon Règle
06-FAB-50	Identifier ce morceau par un "L".		Crayon
06-FAB-60	Mesurer sur 3 tiges de bois, à intervalle de 12.81" et marquer à la mine. Pour un total de 9 pièces.		Crayon Équerre
06-FAB-70	Identifier chacune des parties par un "L".		Crayon
06-FAB-80	Avec la scie à ruban, couper chacun des morceaux pour un total de 20 pièces.		Scie à ruban
06-FAB-90	Disposer des retailles.		
06-FAB-100	Classer les morceaux en 5 sous-assemblages constitués de 2 pièces 'C' et 2 pièces 'L' chacun.		
06-FAB-110	Agraffer à l'aide d'une agrafe une pièce "L" avec une pièce "C", utiliser une équerre. Frapper l'agrafe avec un marteau au besoin.		Agrafeuse à bois Agrafe à bois Marteau Équerre

			
Gamme de fabrication			
Ensemble: Cadre assy			
Gamme n.1	Feuille: 2:2		
Opération	Description	Croquis	Outils
06-FAB-120	Répéter l'OP 06-FAB-110 jusqu'à ce qu'un cadre soit complété.		Marteau Agrafe à bois
06-FAB-130	Retourner le cadre et agraffer aux mêmes endroits.		Marteau Agrafe à bois
06-FAB-140	Retourner le cadre comme sur le croquis et agraffer les côté en s'appuyant sur un coin de table.		Marteau Agrafe à bois
06-FAB-150	Répéter les étapes 110 à 150 4 fois.		
06-FAB-160	Couper 3 moustiquaire avec les ciseau en morceau de 13x13 po.		Crayon Équerre Ciseau
06-FAB-170	Bien étirer 1 des carrés de moustiquaire et l'agrafer à un des cadres.		Agrafe à bois Marteau
06-FAB-180	Répéter l'étape 170 2 fois.		Agrafe à bois Marteau
06-FAB-190	Couper l'excédent de moustiquaire avec les ciseaux pour chacun des cadres.		Ciseau
06-FAB-200	Appliquer du ruban masquant autour de chacun des cadres.		Ruban masquant

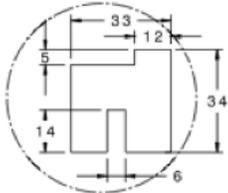
06-FAB-210	Ranger le matériel.		
------------	---------------------	--	--

### Veine d'essai :

4	Planche de bois en pin	1	16 x 36 x 3/4''
3	Œillets à vis large	8	41 mm
2	Plaque d'acrylique	1	24 x 48 x 0,220"
1	Câbles à tension	4	10'' (repos)
Id	Description	Qté	Spécification
		Titre	Structure
		N. de gamme	G-169-FAB-1
Liste des pièces			

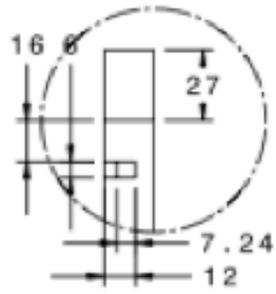
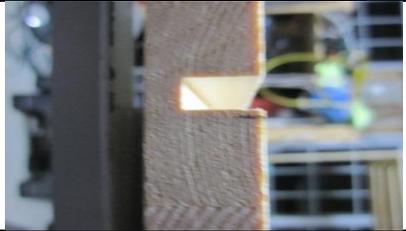
H	Sableuse mécanique
G	Colle époxyde
F	Banc de scie
E	Perceuse
D	Crayon
C	Ruban à mesurer
B	Scie à ruban
A	Marqueur
Id	Description
	
Liste des outils	

			
Gamme de fabrication			
Ensemble: Structure assy			
Gamme n.1	Feuille: 1:6		
Opération	Description	Croquis	Outillage
09-FAB-1010	Se procurer le matériel.		
09-FAB-1020	Tracer au marqueur trois rectangles sur la planche d'acrylique. Le premier de dimension 314 x 600mm, et les deux autres de dimensions 310 x 610mm.		Marqueur Ruban à mesurer
09-FAB-1030	En utilisant une scie à ruban, couper sur les lignes pour obtenir les trois rectangles.		Crayon Scie à ruban
09-FAB-1040	En utilisant une sableuse mécanique, lisser les arêtes des trois rectangles pour avoir une finition lisse.		Sableuse mécanique
09-FAB-1050	Prendre un morceau de bois 34 x 34mm et de longueur minimale de 610mm.		Ruban à mesurer
09-FAB-1060	Si nécessaire, tracer une marque pour avoir une longueur de 610mm sur le morceau de bois de l'étape 09-FAB-1050 puis couper.		Crayon Ruban à mesurer
09-FAB-1070	Tracer une ligne sur toute la longueur du morceau de bois à 1/4" d'un bord.		Crayon Ruban à mesurer

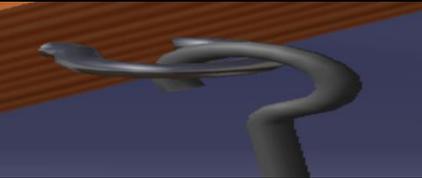
09-FAB-1080	Tracer une ligne 19 mm du bord sur la face directement perpendiculaire à la face de l'étape 09-FAB-1070.		Crayon Ruban à mesurer
-------------	--	--	---------------------------

 <b>POLYTECHNIQUE MONTRÉAL</b> LE GÉNIE EN PREMIÈRE CLASSE			
Gamme de fabrication			
Ensemble: Structure assy			
Gamme n.1	Feuille: 2:6		
Opération	Description	Croquis	Outillage
09-FAB-1090	Sur un banc de scie, ajuster la hauteur de la lame à ¼’’		Banc de scie
09-FAB-1100	Faire une entaille sur toute la longueur de la pièce, soit sur la ligne dessinée à l'étape 09-FAB-1070. Préserver la matière de l'autre côté de la ligne lors de la coupe.		Banc de scie
09-FAB-1110	Sur le même banc de scie, ajuster la hauteur de la lame à 21mm.		Banc de scie
09-FAB-1120	Déposer la pièce face perpendiculaire à celle coupée à l'étape 09-FAB-1100, en position où la longueur est alignée avec la lame de la scie.		
09-FAB-1130	Faire une entaille sur toute la largeur de la pièce en son centre (sur la ligne tracée à l'étape 09-FAB-1080). S'assurer de préserver la matière l'autre côté de la coupe.		Banc de scie

			
Gamme de fabrication			
Ensemble: Structure assy			
Gamme n.1	Feuille: 3:6		
Opération	Description	Croquis	Outillage
09-FAB-1140	Ajuster la hauteur de la lame du banc de scie à 3/8''.		Banc de scie
09-FAB-1150	En utilisant une scie à ruban, couper sur les lignes pour obtenir les trois rectangles.		Crayon Scie à ruban
09-FAB-1160	Déposer la pièce face supérieure contre la table de la scie, en position où la longueur est alignée avec la lame de la scie.		
09-FAB-1170	Faire une entaille sur toute la largeur de la pièce en son centre.		Banc de scie
09-FAB-1180	Si nécessaire, tracer une marque pour avoir une longueur de 610mm sur le morceau de bois de l'étape 09-FAB-1050 puis couper.		Crayon Ruban à mesurer
09-FAB-1190	Prendre la planche de bois en pin.		Planche de bois en pin

 <p><b>POLYTECHNIQUE MONTRÉAL</b></p> <p>LE GÉNIE EN PREMIÈRE CLASSE</p>			
Gamme de fabrication			
Ensemble: Structure assy			
Gamme n.1	Feuille: 4:6		
Opération	Description	Croquis	Outils
09-FAB-1200	Ajuster la hauteur de la lame du banc de scie à 3/8".		Banc de scie
09-FAB-1210	Tracer sur toute la longueur de la planche une ligne à 46 mm du bord.		Crayon
09-FAB-1220	Faire une entaille sur toute la longueur de la ligne tracée à l'étape 09-FAB-1210.		Banc de scie
09-FAB-1230	Répéter les étapes 09-FAB-1210 et 09-FAB-1220 de façon à avoir deux fentes symétriques sur la planche.		Banc de scie Crayon
09-FAB-1240	Percer avec une mèche de diamètre 0,5cm un trou sur le côté au centre du rebout en bois, et un autre sur le dessus du rebout à 2 cm du bord.		Perceuse Ruban à mesurer

 <p><b>POLYTECHNIQUE MONTRÉAL</b></p> <p>LE GÉNIE EN PREMIÈRE CLASSE</p>			
Gamme de fabrication			
Ensemble: Structure assy			
Gamme n.1	Feuille: 5:6		
Opération	Description	Croquis	Outillage
09-FAB-1250	Répéter l'étape 09-FAB-1240 3 fois (pour chacun des rebouts de la base).		Perceuse
09-FAB-1260	Visser un œillet à vis large dans chacun (4) des trous des rebouts de bois pointant vers l'intérieur de la base en bois.		Œillet à vis
09-FAB-1270	Percer un trou de diamètre de 0,5cm sur le côté extérieur de l'attache en bois à 15,5cm de l'extrémité. Percer un autre trou au même endroit pour l'autre extrémité de l'attache. Y visser un œillet à vis large.		Perceuse Œillet à vis large
09-FAB-1280	Répéter l'étape 09-FAB-1270 pour l'autre attache en bois.		Perceuse Œillet à vis large
09-FAB-1290	Coller avec de la colle époxy la cavité de l'attache en bois de longueur 610mm à la paroi d'acrylique mesurant 610 x 319mm.		Crayon Ruban à mesurer Colle époxy

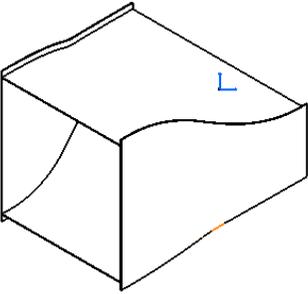
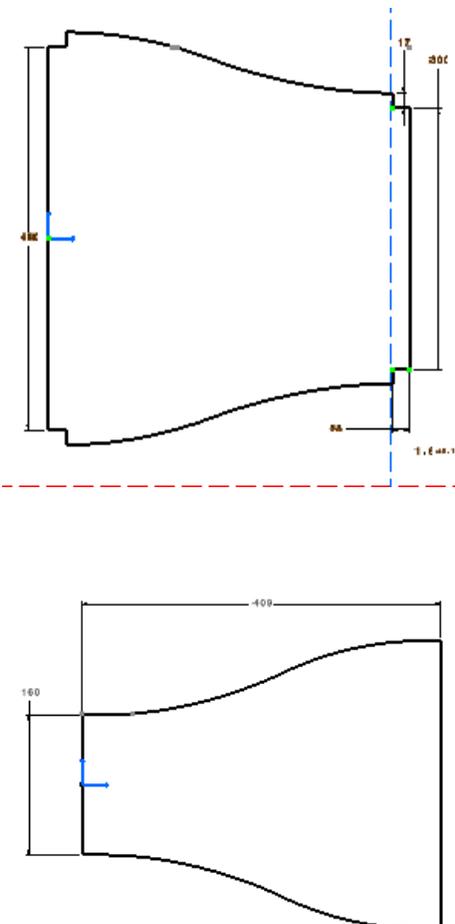
 <p><b>POLYTECHNIQUE MONTRÉAL</b></p> <p>LE GÉNIE EN PREMIÈRE CLASSE</p>			
Gamme de fabrication			
Ensemble: Structure assy			
Gamme n.1	Feuille: 6:6		
Opération	Description	Croquis	Outillage
09-FAB-1300	Répéter l'étape 09-FAB-1290 avec l'autre attache en bois. La composante «toit» est ainsi formée.		Colle époxy
09-FAB-1310	Insérer l'une des deux parois restant dans une des entailles de la base, puis faire la même chose pour la troisième paroi.		
09-FAB-1320	Joindre les deux parois d'acrylique avec le toit. Le haut des deux parois s'insère dans les fentes des attaches en bois.		
09-FAB-1330	Répéter les étapes 09-FAB-1210 et 09-FAB-1220 de façon à avoir deux fentes symétriques sur la planche.		Banc de scie Crayon
09-FAB-1340	Solidifier le tout en incorporant les câbles avec les 8 œillets à vis large.		Câbles à tension

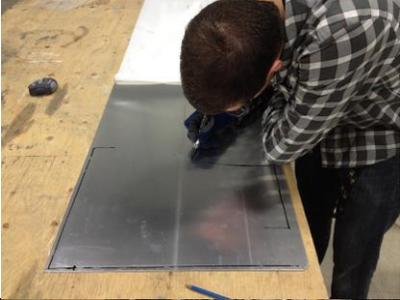
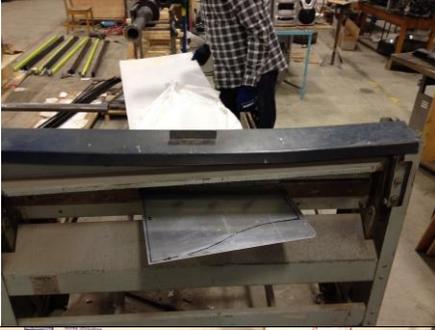
**Changement de géométrie :**

4	Silicone transparent	1	Tube standard	-
3	Mousse isolante	1	Ø 1'' x 10'	-
2	boulons	20	8-32 x 5/8''	-
1	Plaque d'aluminium	1	20 x 80 x 1/16 ''	≈ 4000
Id	Description	Qté	Spécification	Poids (g)
		Titre	geometrie assy	
		N. de gamme	G-169-F-1	
Liste de pièces				

N	Fusil à silicone
M	Ruban à mesurer
L	Foret ¼ ''
K	Foret 1/4''
J	Lime
I	perceuse
H	Banc de sablage
G	Tranche à métaux
F	Étau et serre-joints
E	Scie à ruban
D	Pincés de ferblantier
C	Ciseaux à tôle
B	Plieuse à métal en feuille
A	Crayon
Id	Description
	
Liste des outils	

	
--	--

Gamme de fabrication			
Ensemble: geometrie assy			
Gamme n.1	4 Feuilles		
Opération	Description	Croquis	Outillage
09-FAB-2010	Se procurer le matériel.		
09-FAB-2020	Mesurer et tracer la forme générale des panneaux ou imprimer directement les dessins de détails		Crayon, équerre

			
09-FAB-2030	Découper grossièrement la géométrie		Tranche à métaux
09-FAB-2040	Suivre le contour tracé avec une scie	 	Scie à ruban
09-FAB-2050	Sabler et arrondir les contours		Banc de sablage Lime

09-FAB-2060	Tracer des lignes droites parallèles aux bords		Crayon, équerre
09-FAB-2070	Plier doucement la géométrie à la main. Plus il y a de petits plis, plus la courbe est lisse		Plieuse à feuilles de métal
09-FAB-2080	Assembler partiellement le changeur de géométrie pour vérifier la courbure. Retourner à 2060 si nécessaire		Serre-joints
09-FAB-2090	Tracer environ 5 plis le long de la courbe qui serviront à accueillir les boulons		Ruban à mesurer, crayon

09-FAB-2100	Découper et plier les L de jonction		Scie à ruban, pincettes de ferblantier
09-FAB-2110	Limer les bords de la pièce pour enlever toutes les arêtes vives et corriger la forme		Lime, étau, serre-joints
09-FAB-2120	Percer les trous dans tous les replis		Perceuse, foret 1/4"
09-FAB-2130	Retirer les bavures en tournant à la main un foret plus gros que celui pour le perçage		Foret 3/4"

09-FAB-2140	Replier les bords supérieurs et inférieurs de la partie zone d'essai pour permettre une meilleure interface		Pincés de ferblantier, étai
09-FAB-2150	Tracer les endroits où les plaques laissent un jeu et permettent à l'air de passer		crayon

09-FAB-2160	Appliquer un joint de silicone sur les marques		Fusil à silicone, silicone
09-FAB-2170	Couper la mousse isolante et placer le cordon sur les arêtes vives de la soufflerie pour plus de sécurité		Mousse isolante

## Appui moteur :

2	Boîte de lait	1	Std
1	Planche de contreplaqué	1	24x24x3/4"
Id	Description	Qté	Spécification
		Titre	Appui du moteur
		N. de gamme	G-169-FAB-1
Liste des pièces			

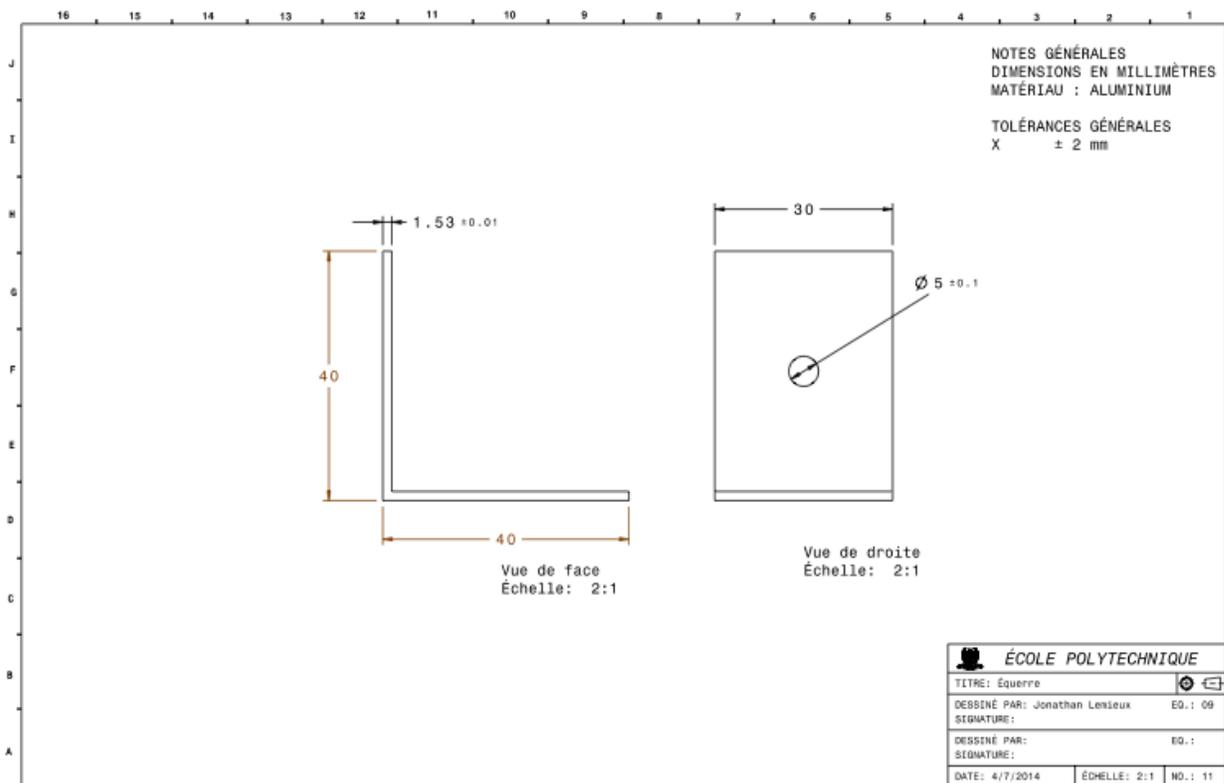
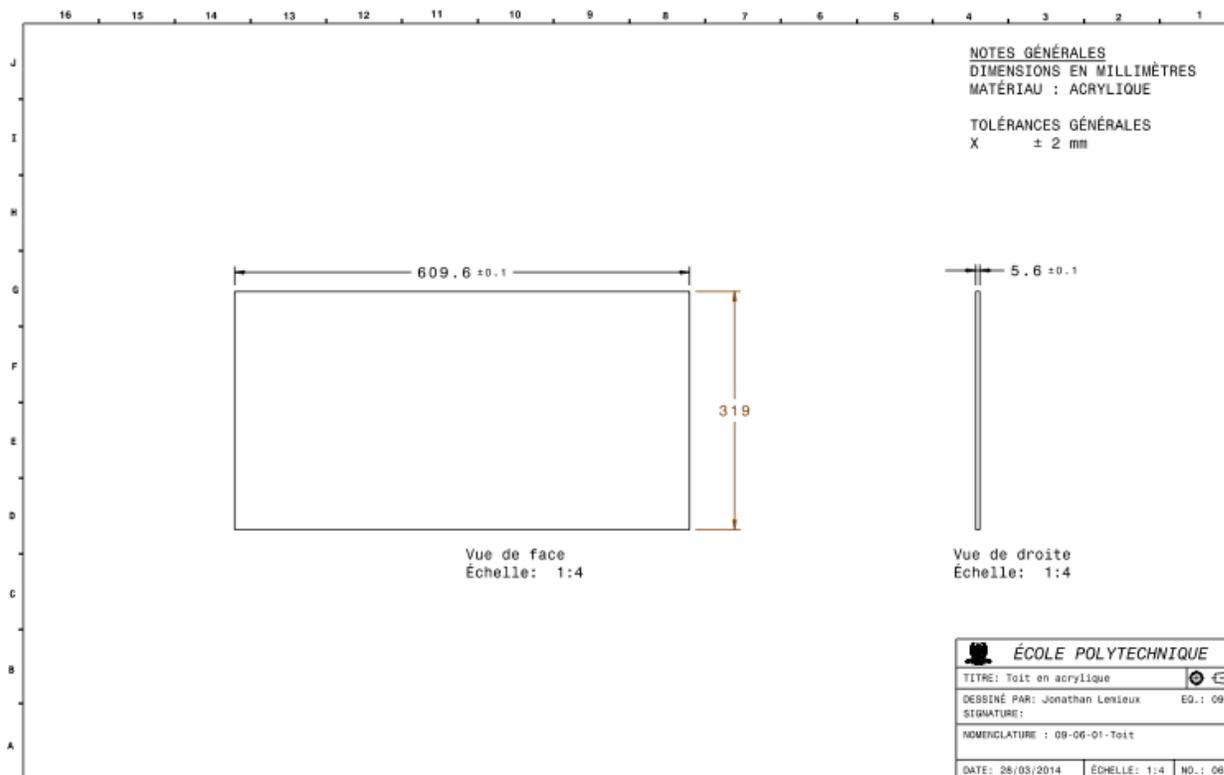
C	Scie à ruban
B	Équerre
A	Crayon
Id	Description
	

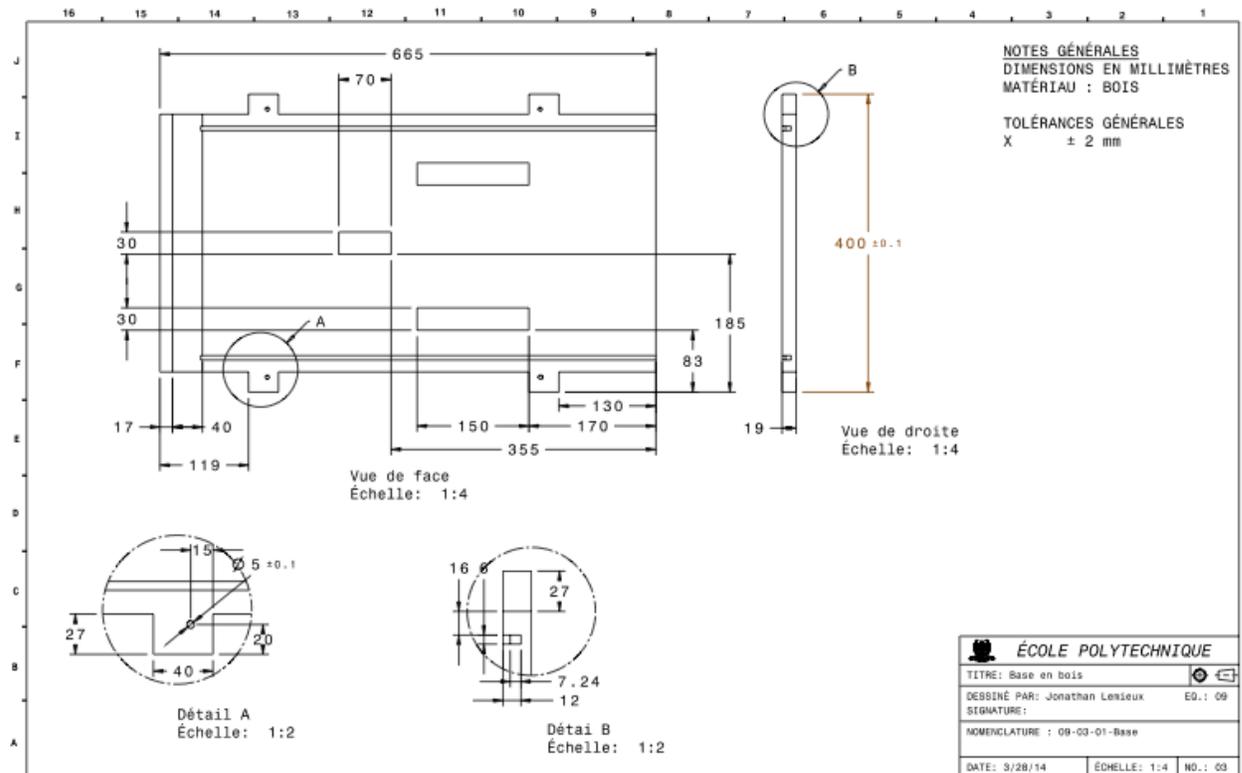
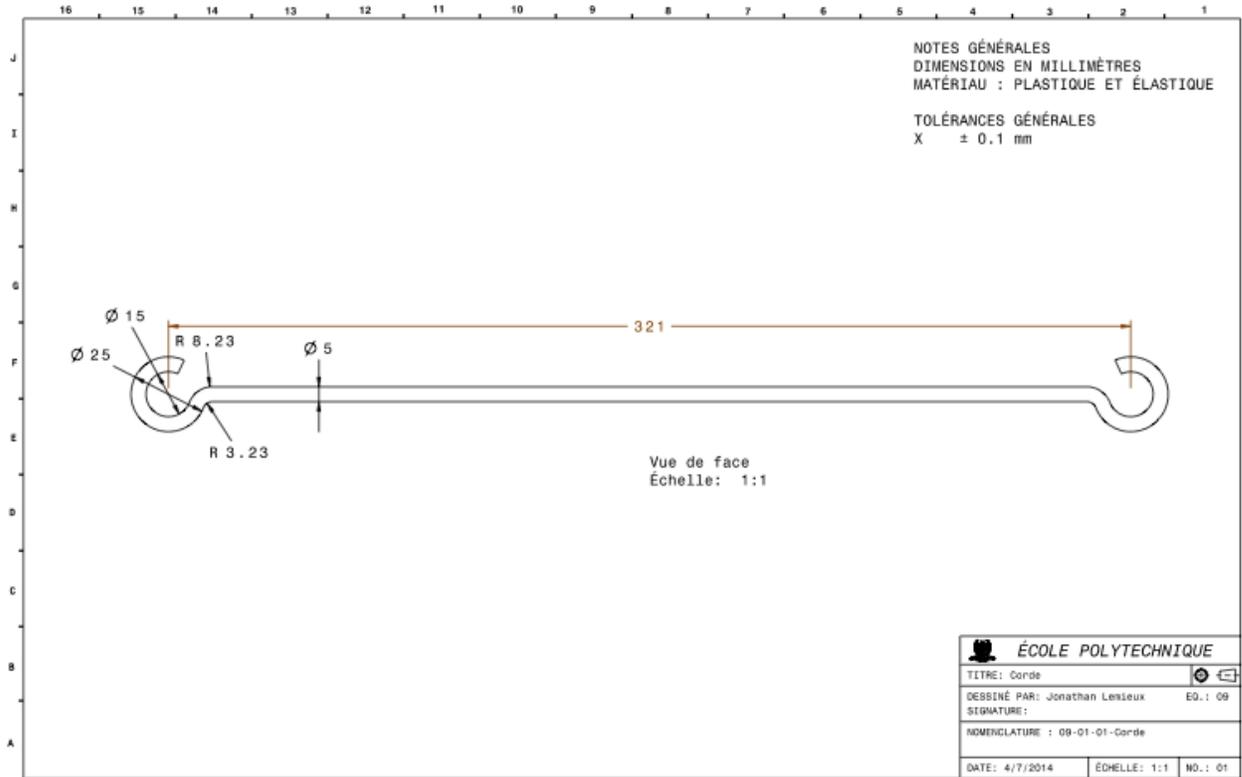
			
	Gamme de fabrication		
	Ensemble: Appui du moteur		
Gamme n.1	Feuille: 1:1		
Opération	Description	Croquis	Outillage
09-FAB-3010	Tracer sur le contreplaqué deux lignes à angle droit de 16.5'' et 15.5''. Les tracer afin de former un rectangle avec un des coins de la planche.		Équerre Crayon

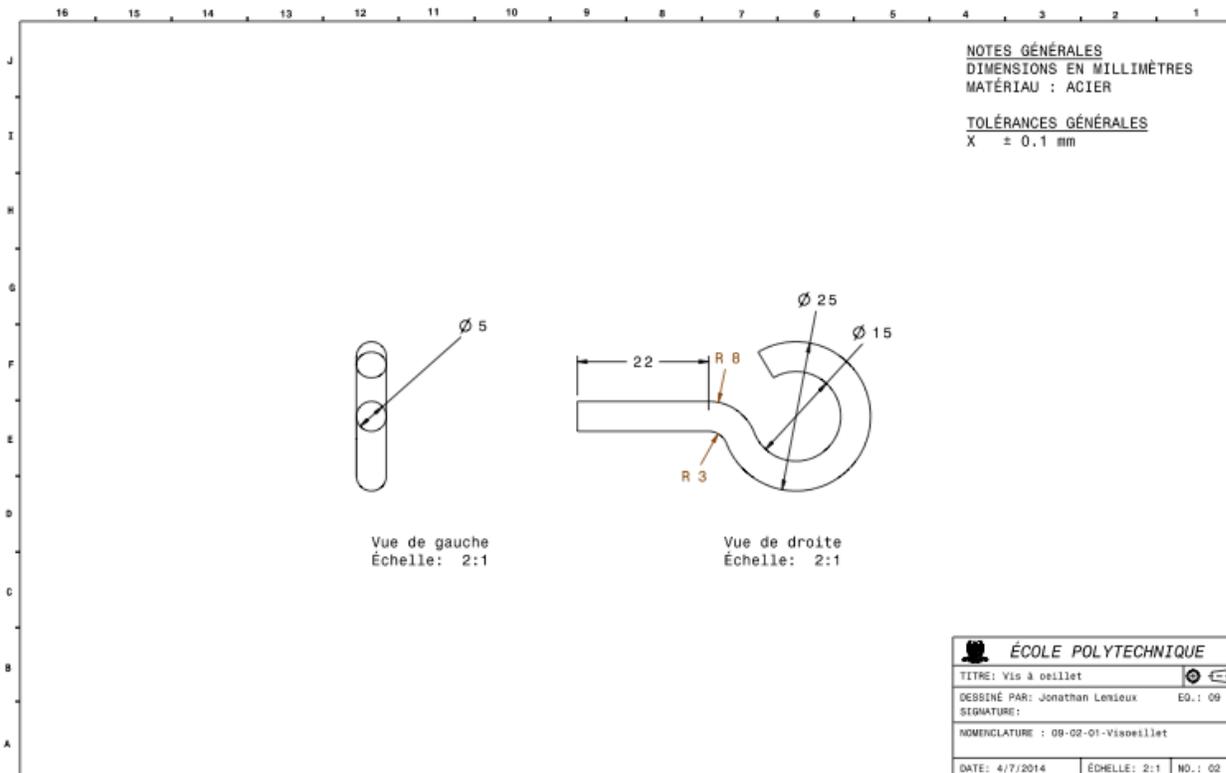
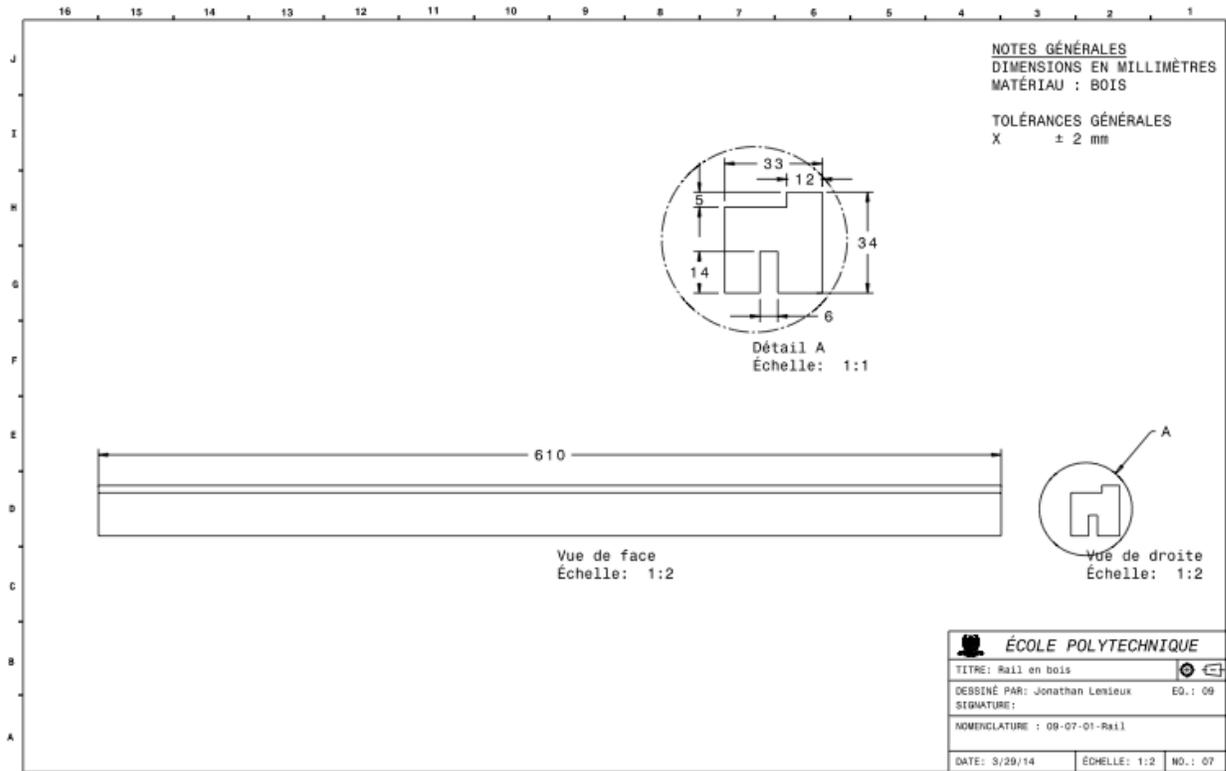
09-FAB-3020	Couper la planche en suivant une première ligne et en commençant par le bord de la planche. Retirer la scie après coupe		Scie à ruban
09-FAB-3030	Couper la deuxième ligne jusqu'à l'intersection de la première (coupée à l'étape 09-FAB-3020)		Scie à ruban
09-FAB-3040	Prendre la boîte de lait et la déposer au sol. Les poignées doivent être près du sol et son fond doit pointer vers le ciel.		
09-FAB-3050	Déposer le contreplaqué coupé sur la boîte de lait.		

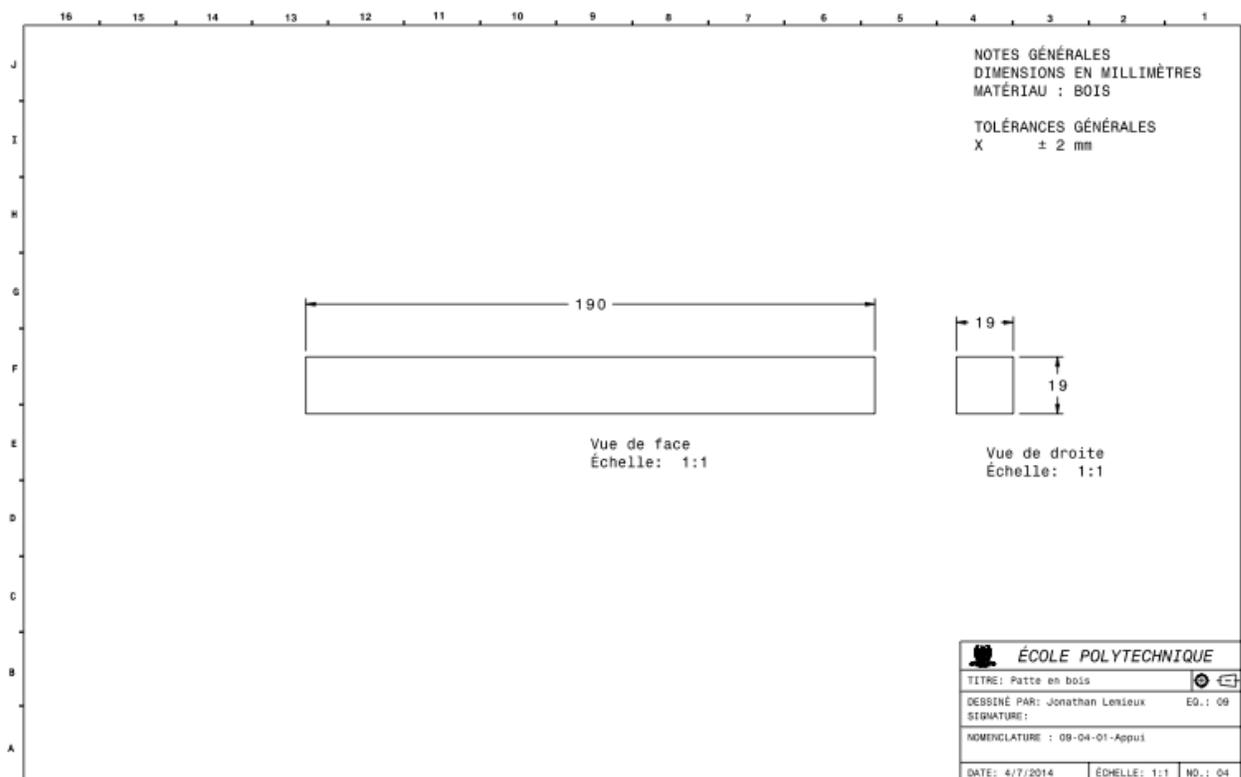
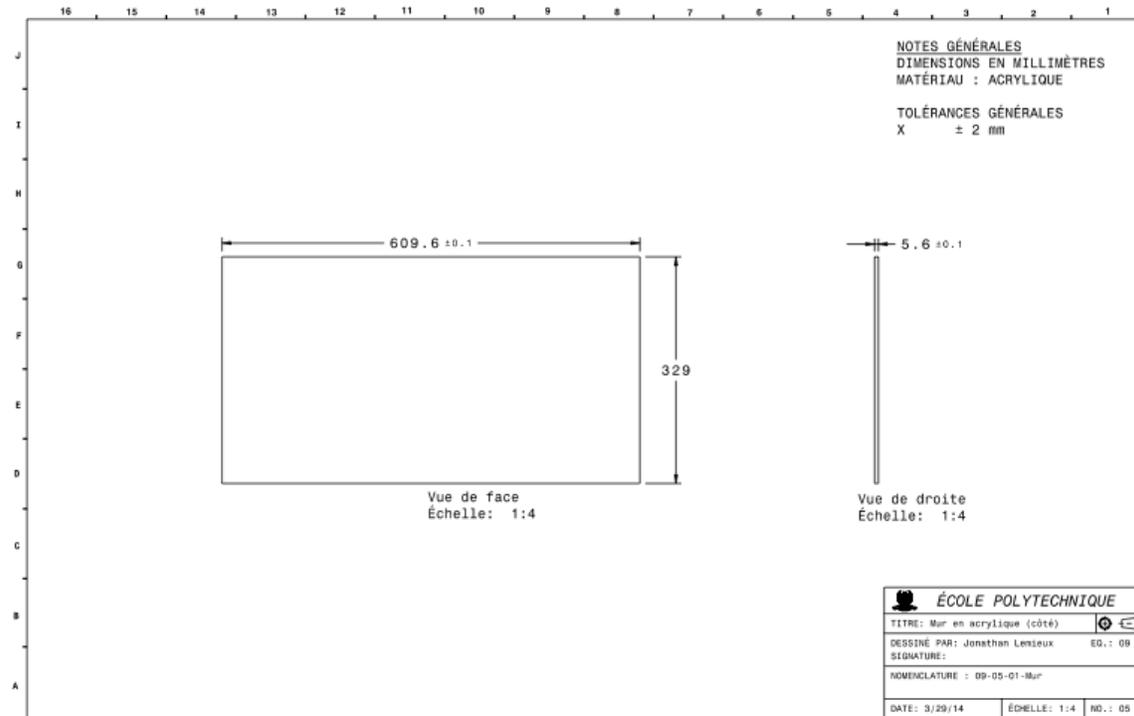
# Annexe K

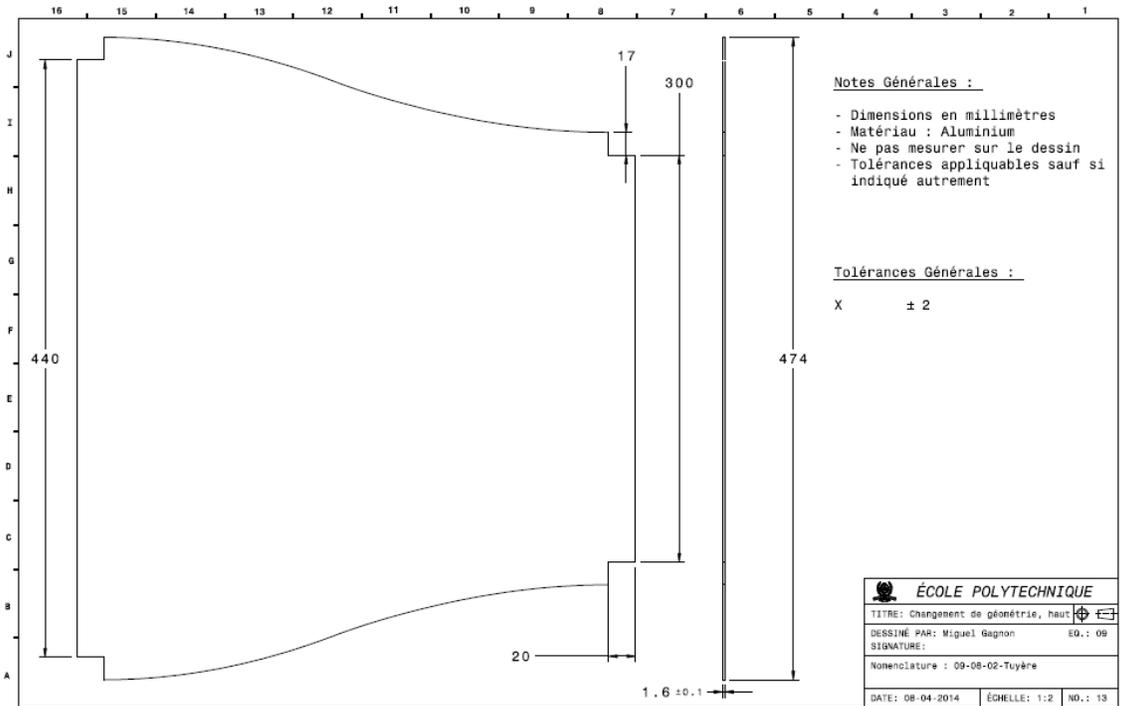
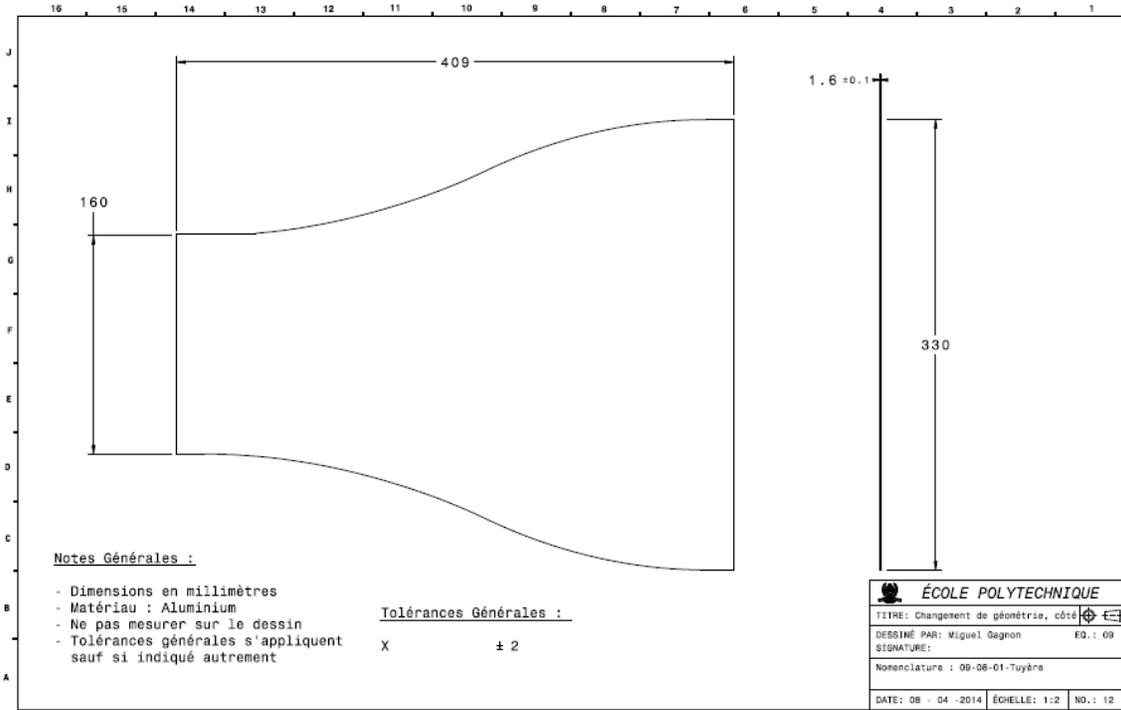
## DESSINS TECHNIQUES











## Annexe L

IMAGES CATIA

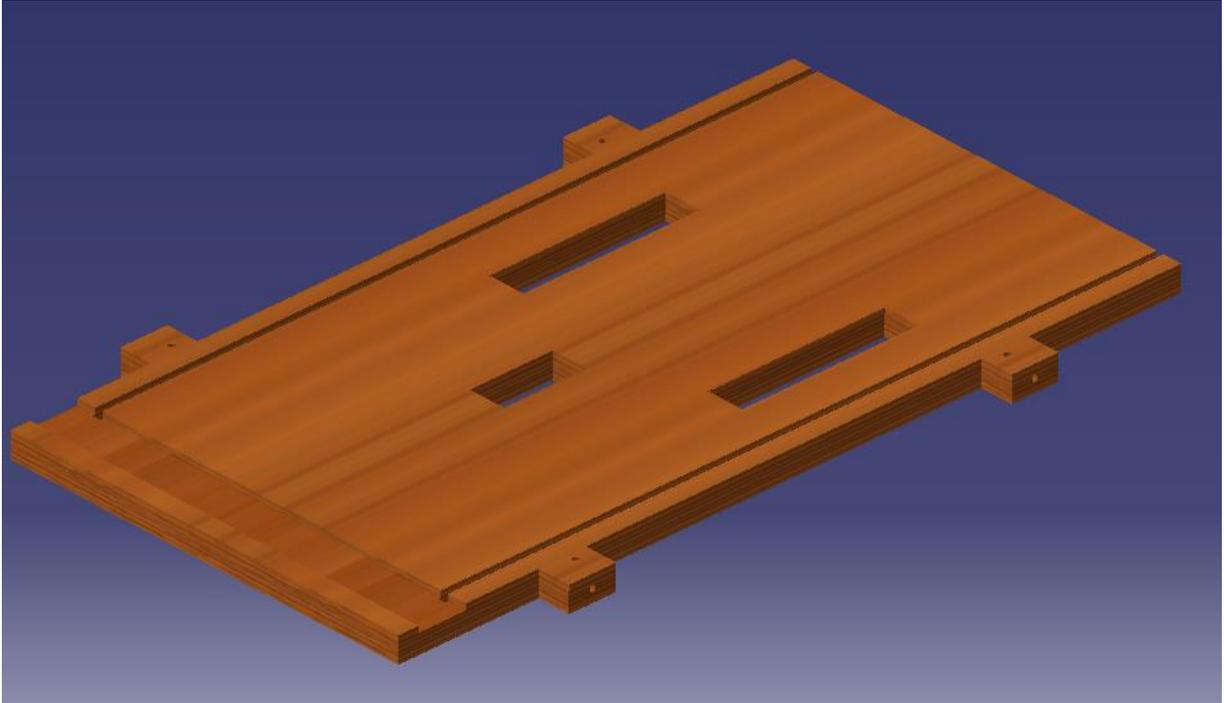


Figure 1. Base de la soufflerie

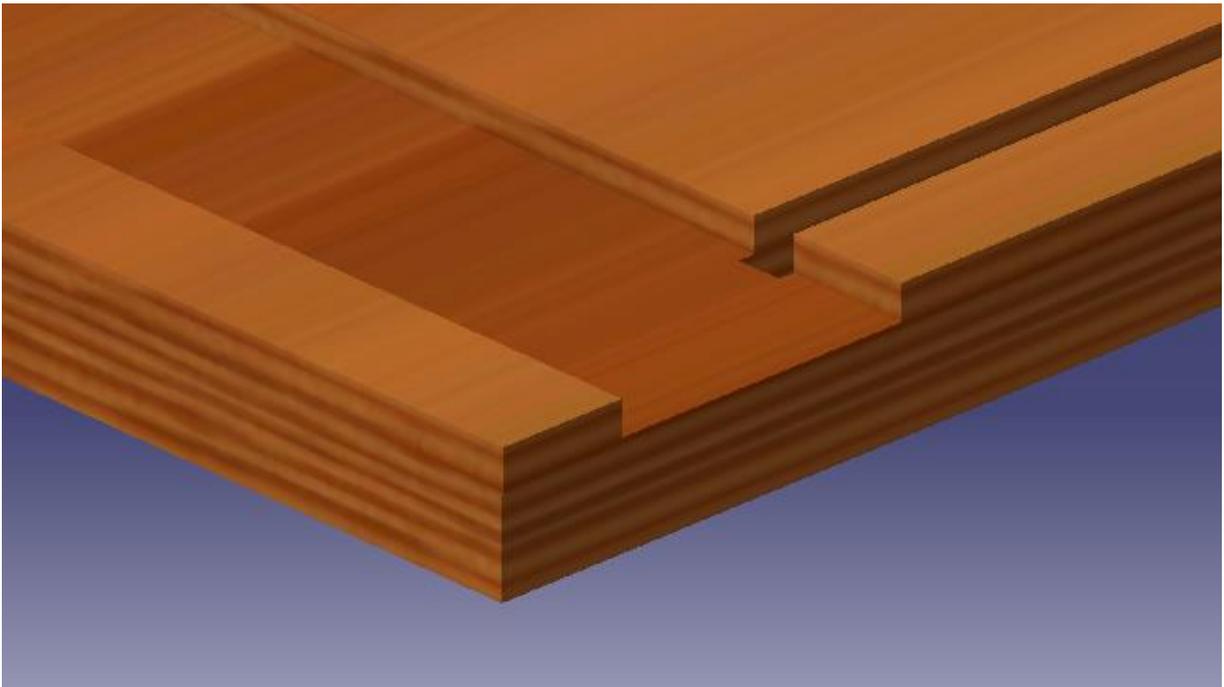


Figure 2. Agrandissement des rainures dans la base



Figure 3. Trou pour les anneaux, dans la base

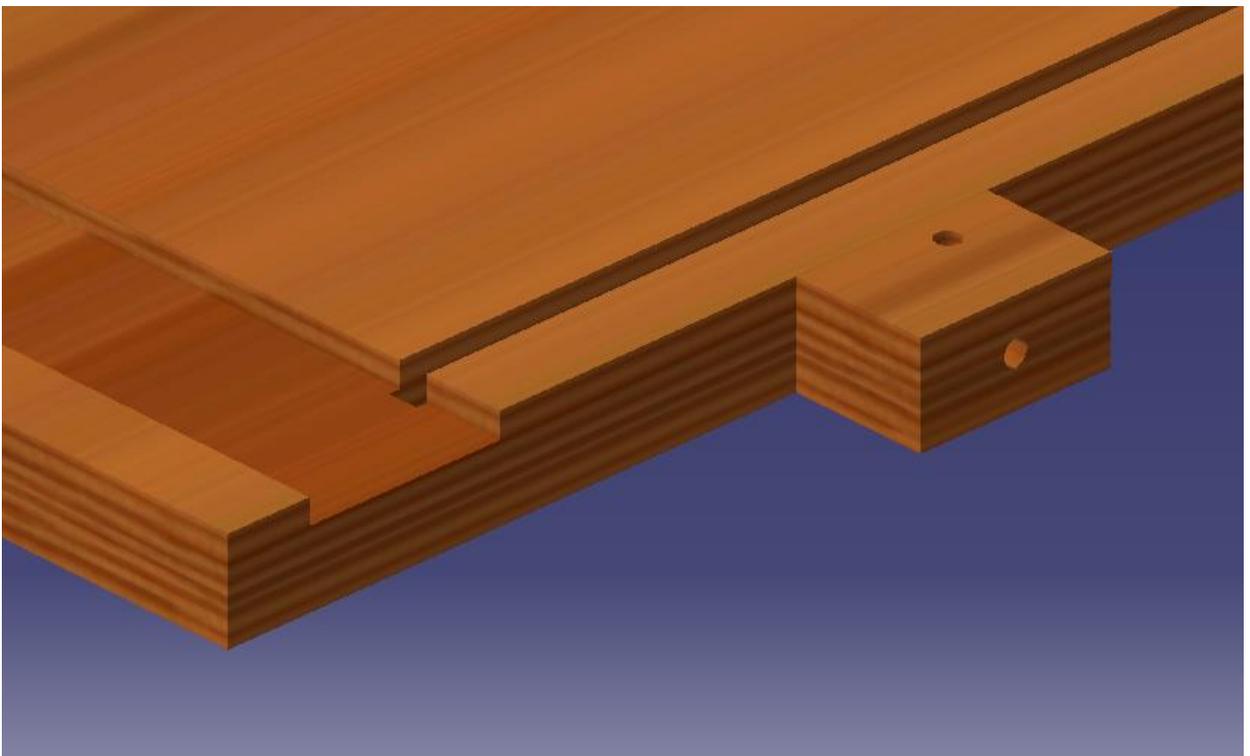


Figure 4. Vue d'ensemble d'un coin de la base

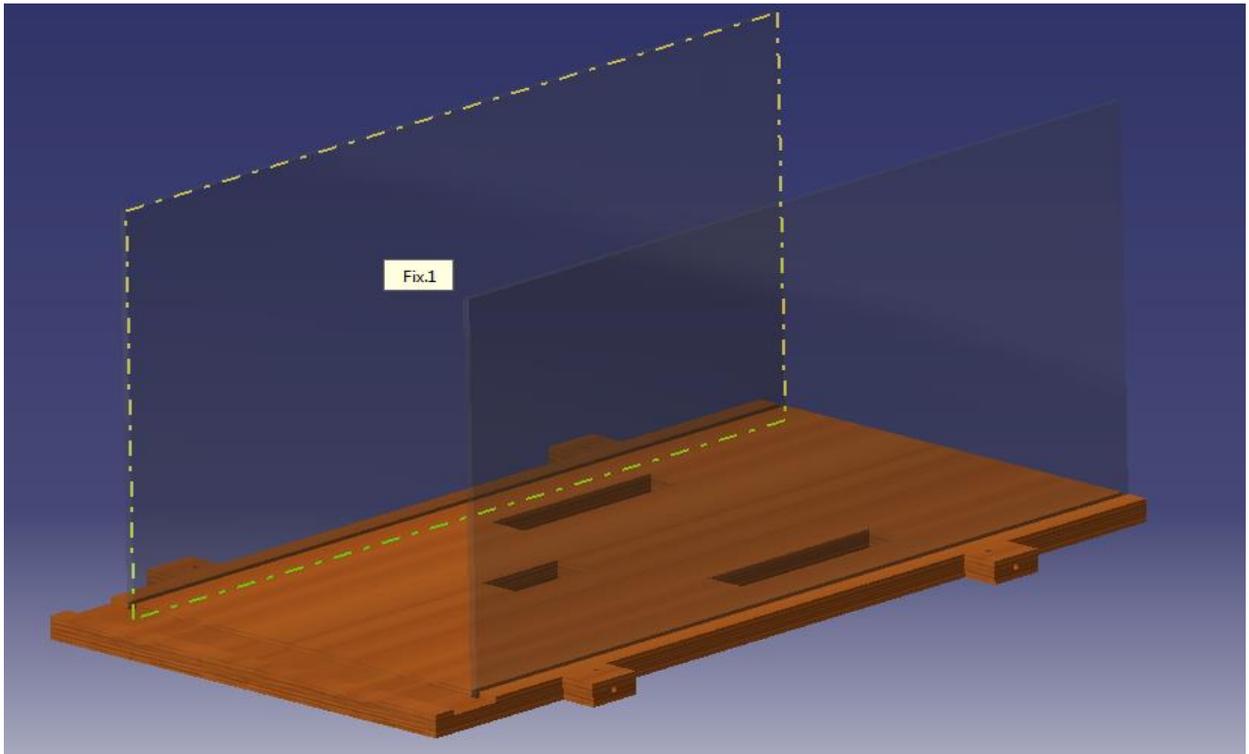


Figure 5. Base avec les panneaux d'acryliques verticaux

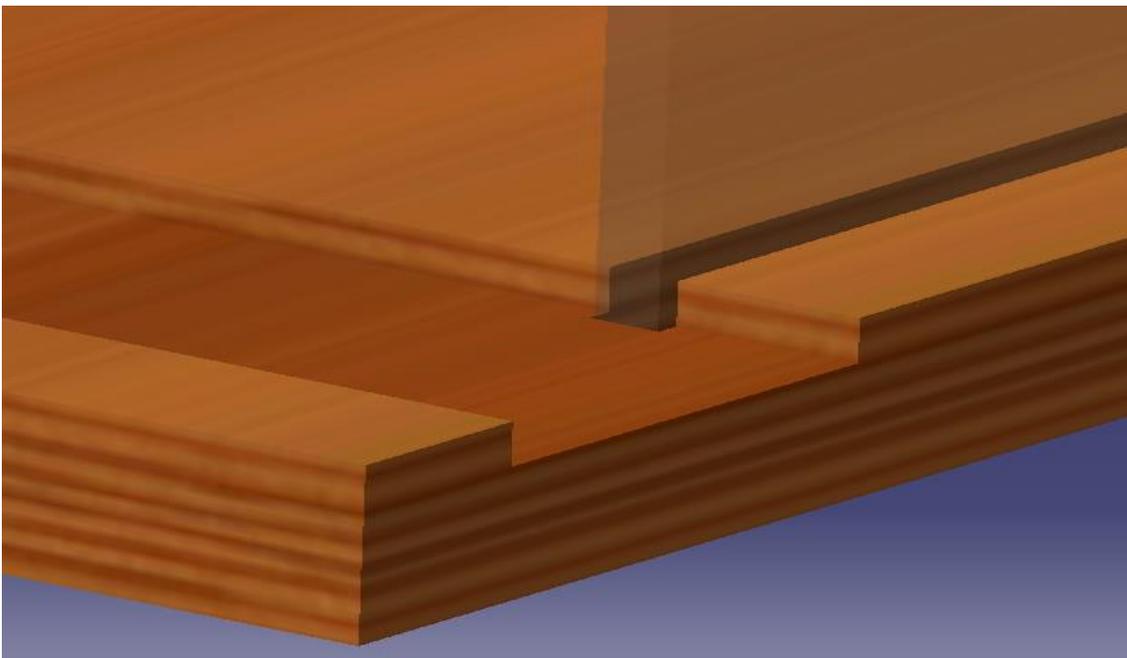


Figure 6. Agrandissement de l'insertion des panneaux d'acrylique dans la base

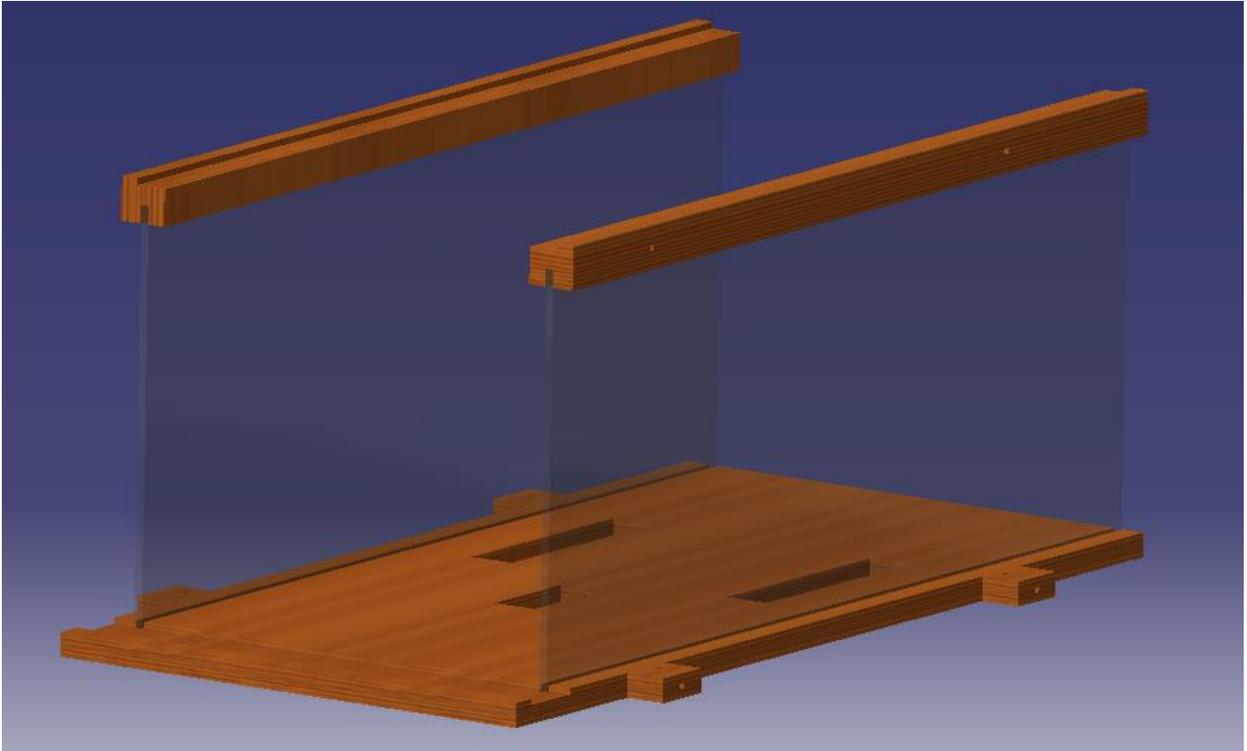


Figure 7. Ajout des rails servant à maintenir le toit et les côtés ensemble

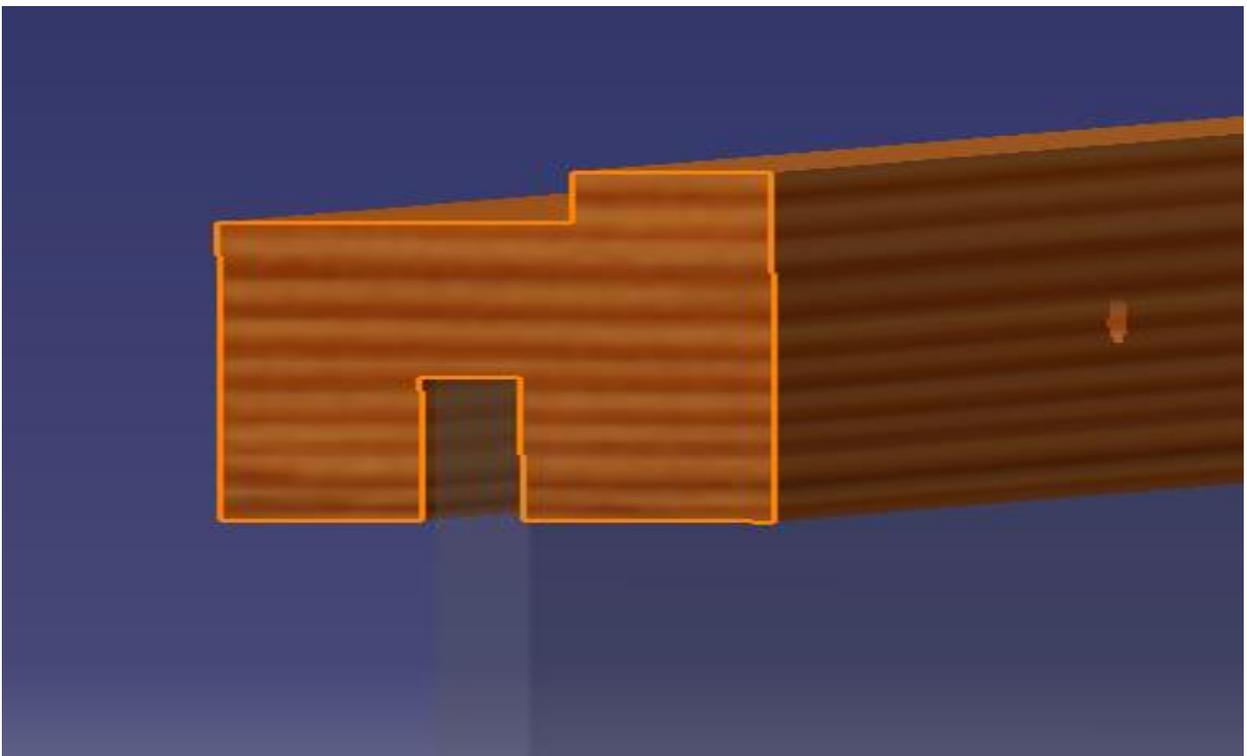


Figure 8. Agrandissement de la géométrie des rails



Figure 9. Soufflerie avec la base, les deux murs et le toit



Figure 10. Ajout d'anneaux et d'élastiques pour maintenir le toit en place



Figure 11. Agrandissement de la fixation entre les anneaux et les élastiques



Figure 12. Vue d'ensemble avec les élastiques qui maintiennent le tout

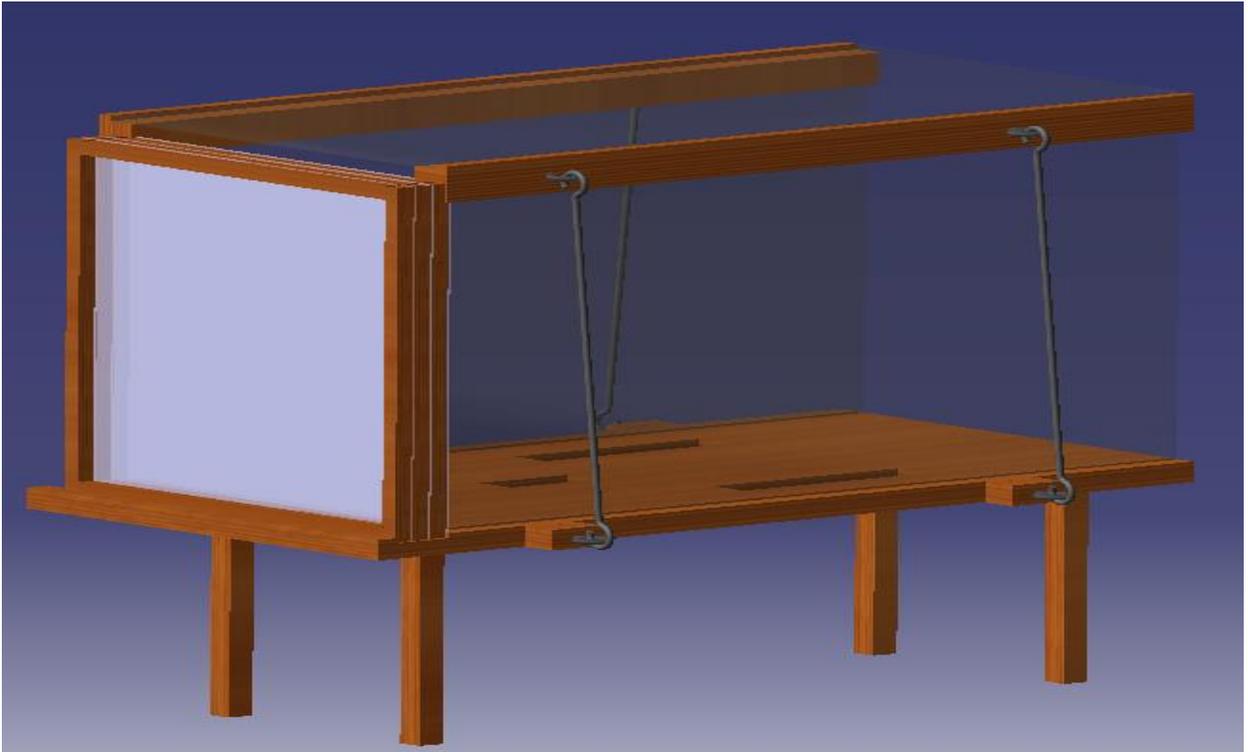


Figure 13. Ajout de moustiquaires servant à linéariser l'écoulement d'air

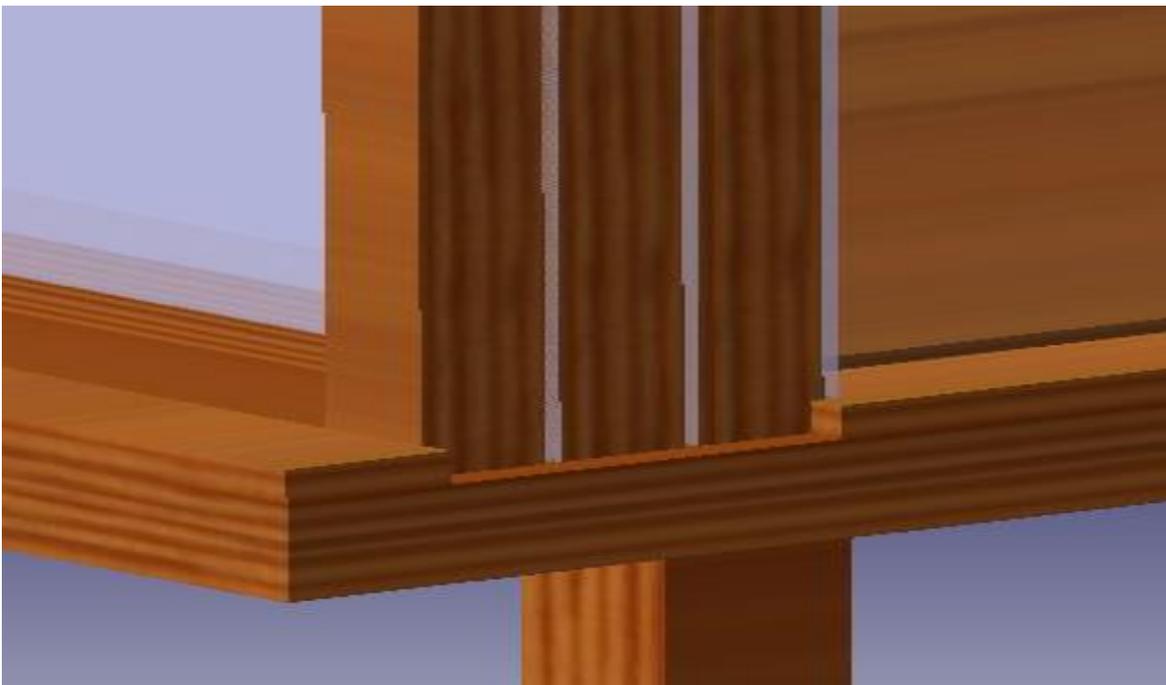


Figure 14. Agrandissement de l'insertion des moustiquaires dans la base

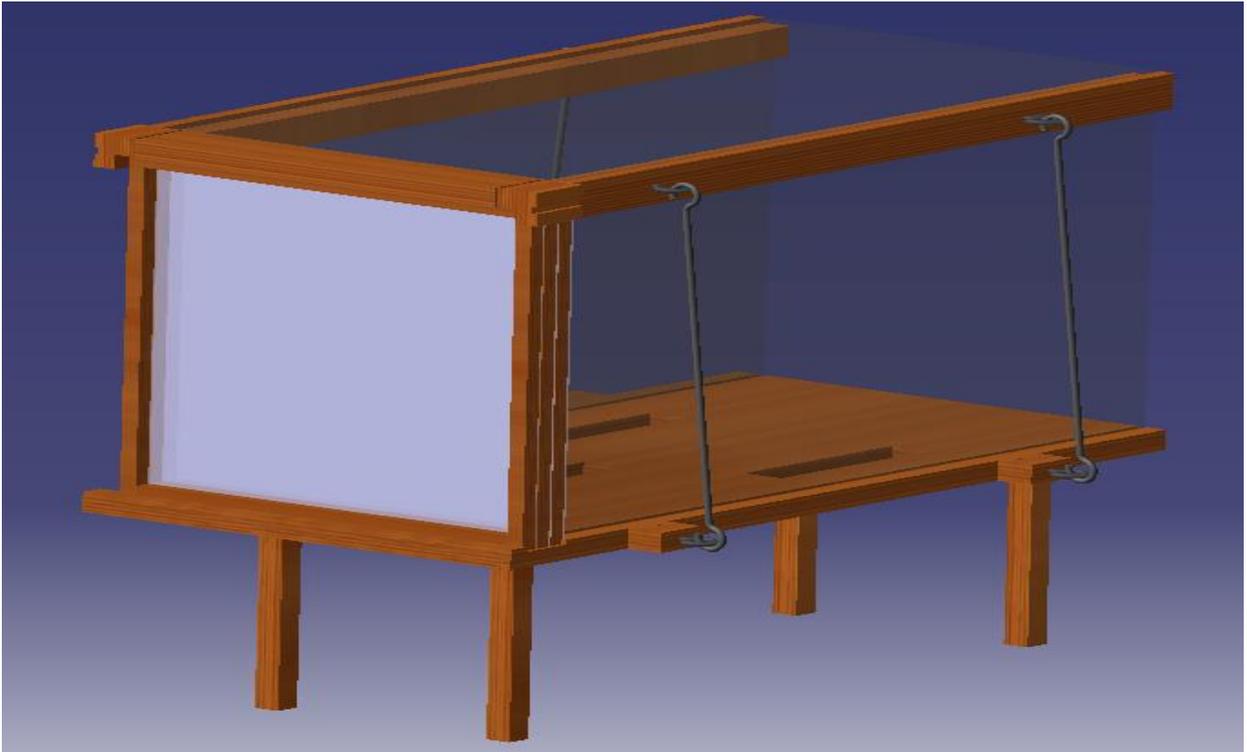


Figure 15. Ajout de coins en L et d'un morceau de bois pour limiter les pertes au-dessus des moustiquaires

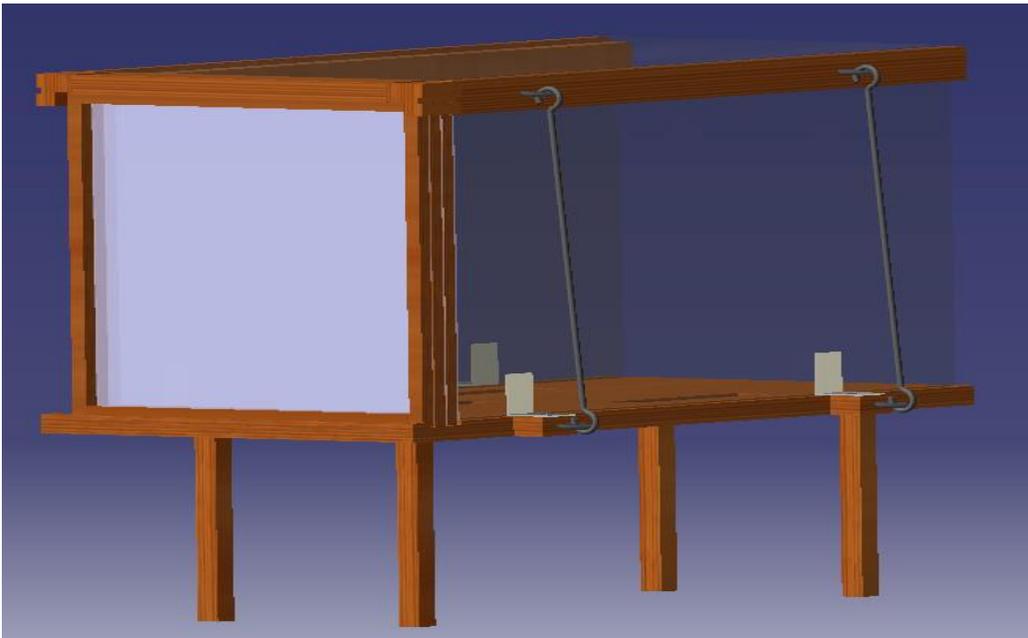


Figure 16. Ajout de pentures afin de stabiliser les panneaux d'acryliques verticaux

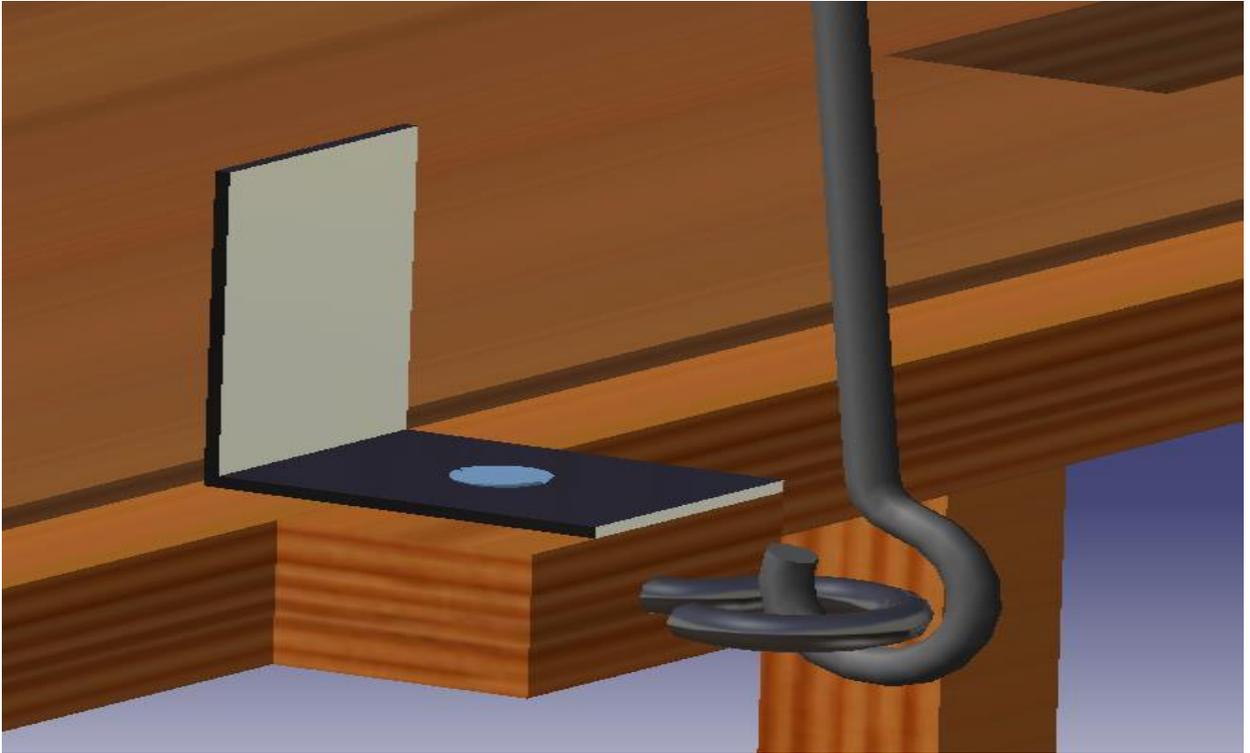
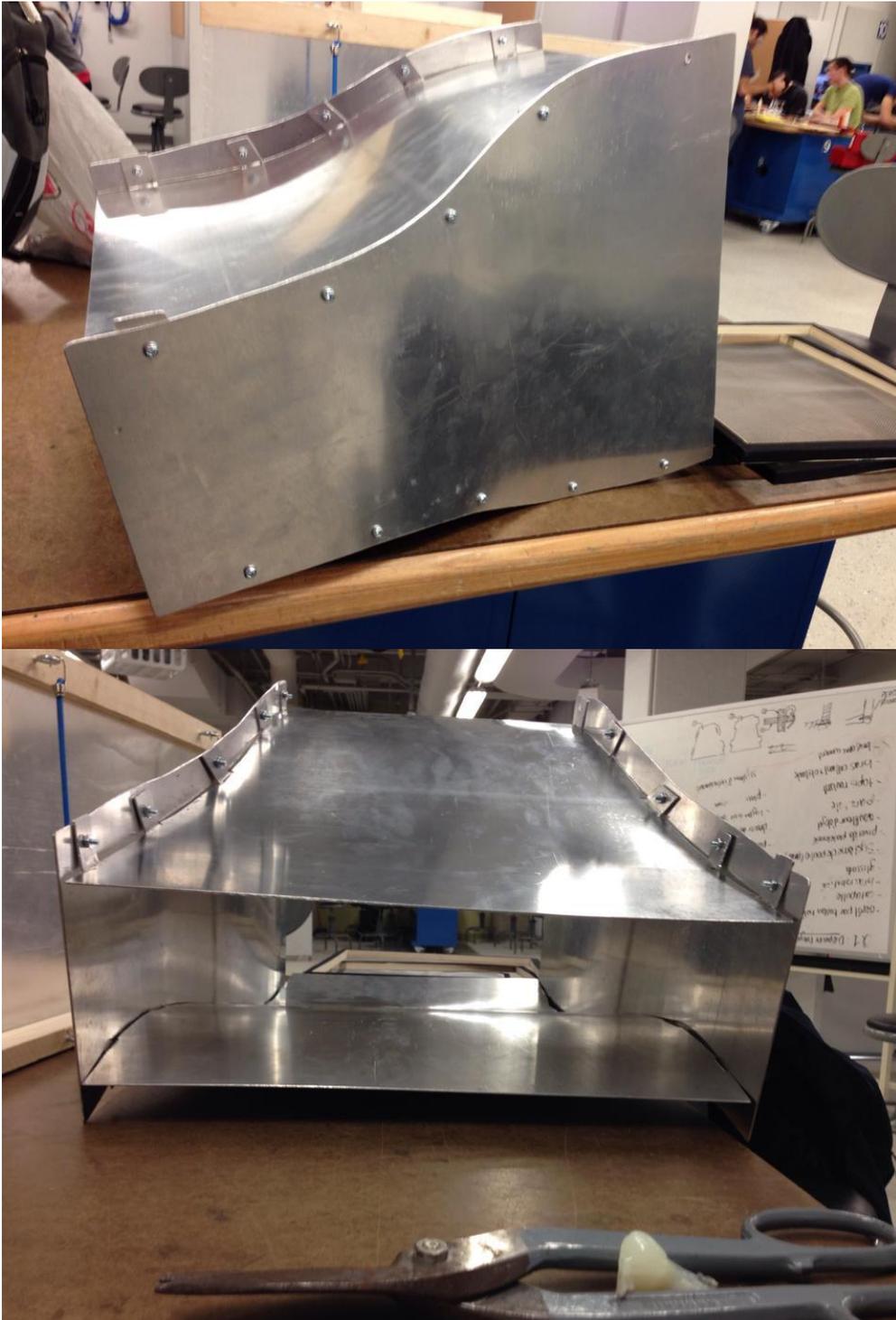


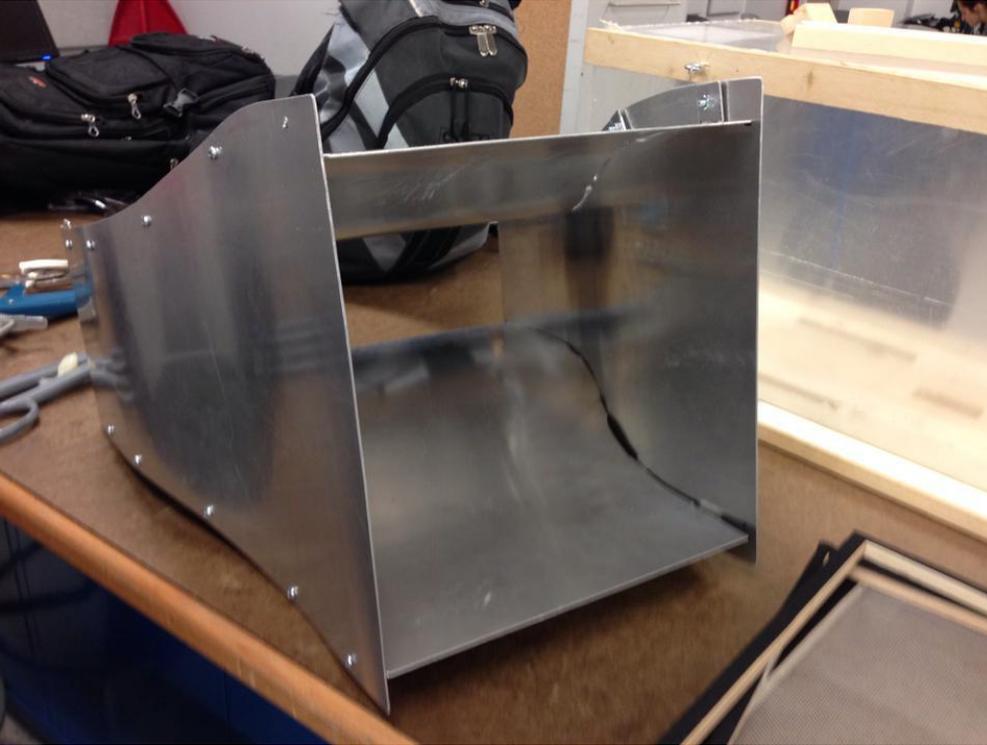
Figure 17. Agrandissement des pentures utilisées

## Annexe M

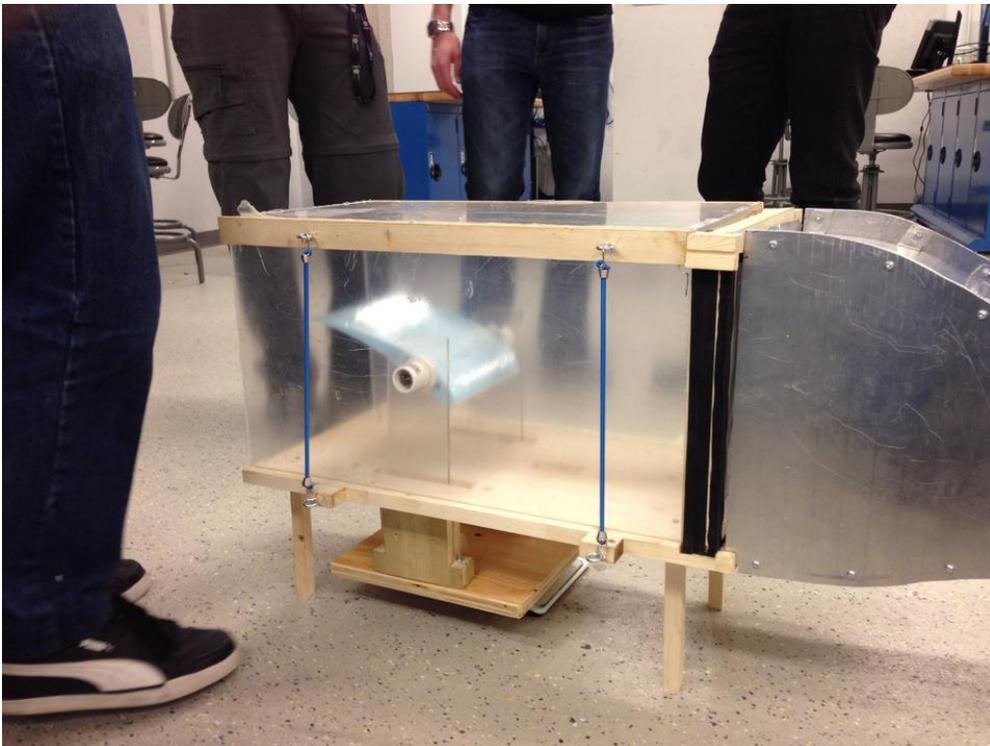
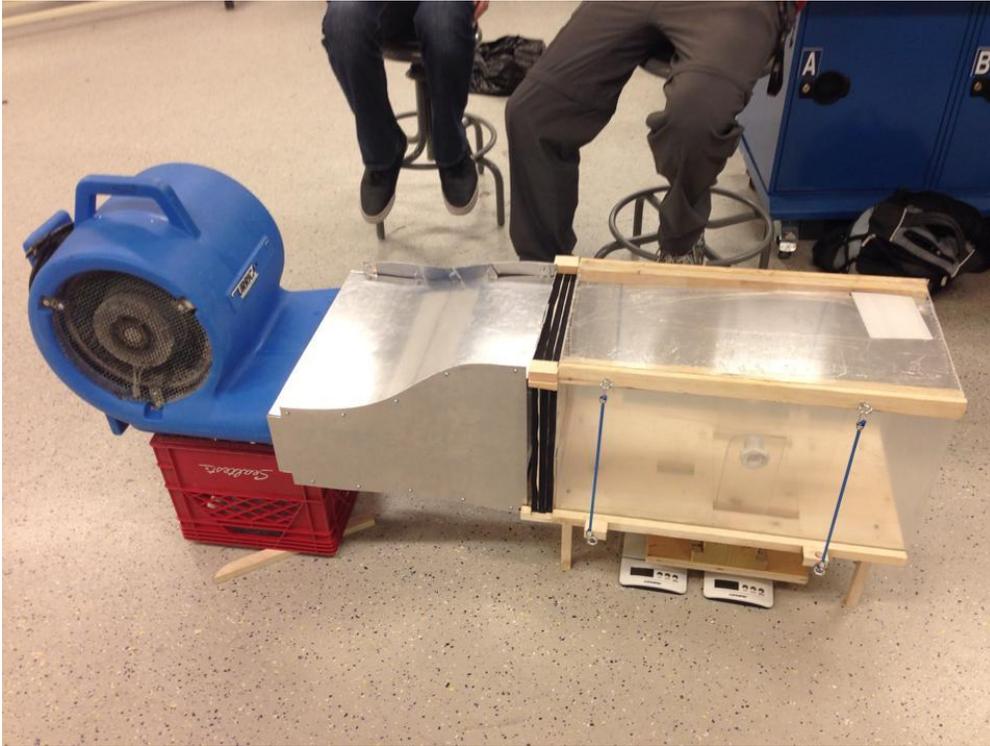
PHOTOS

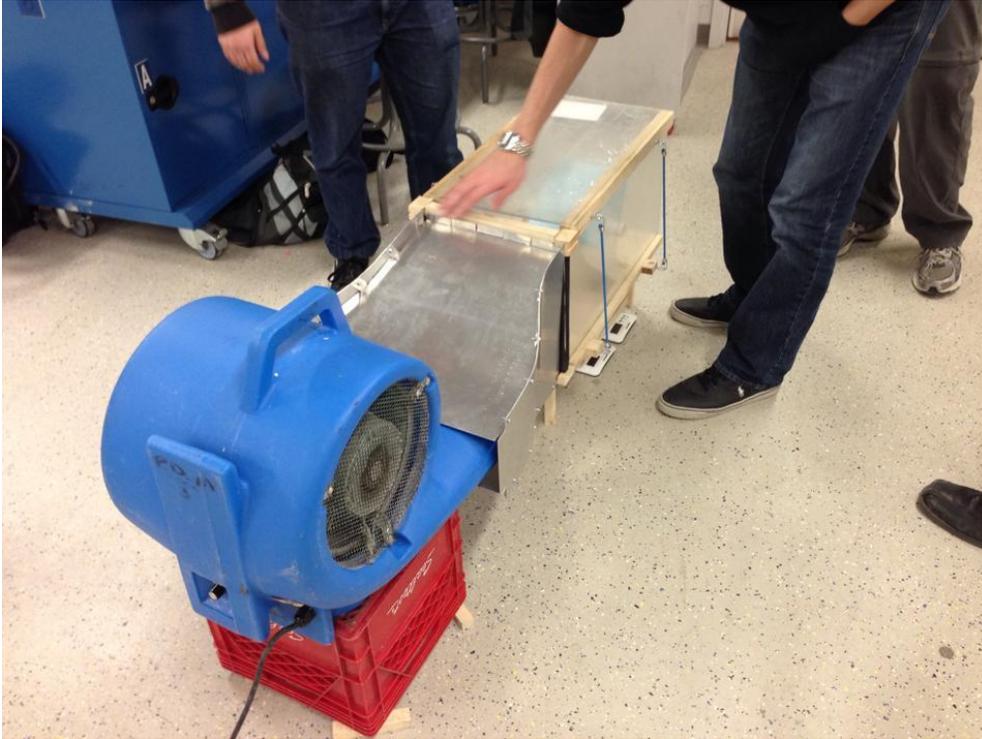
**Changeur de géométrie :**

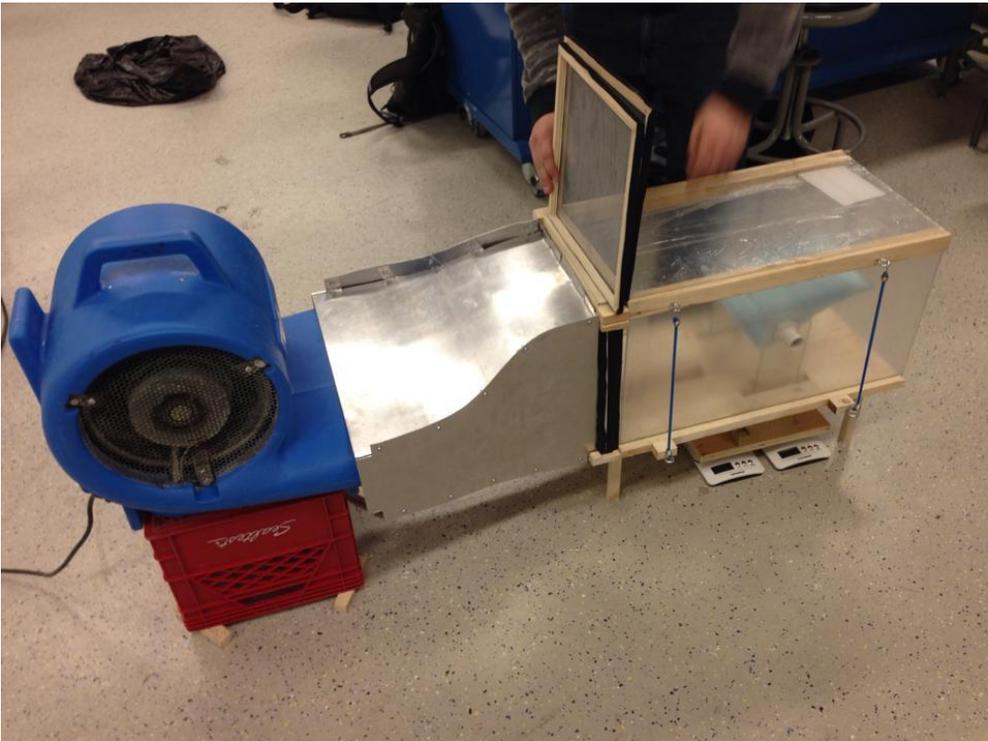
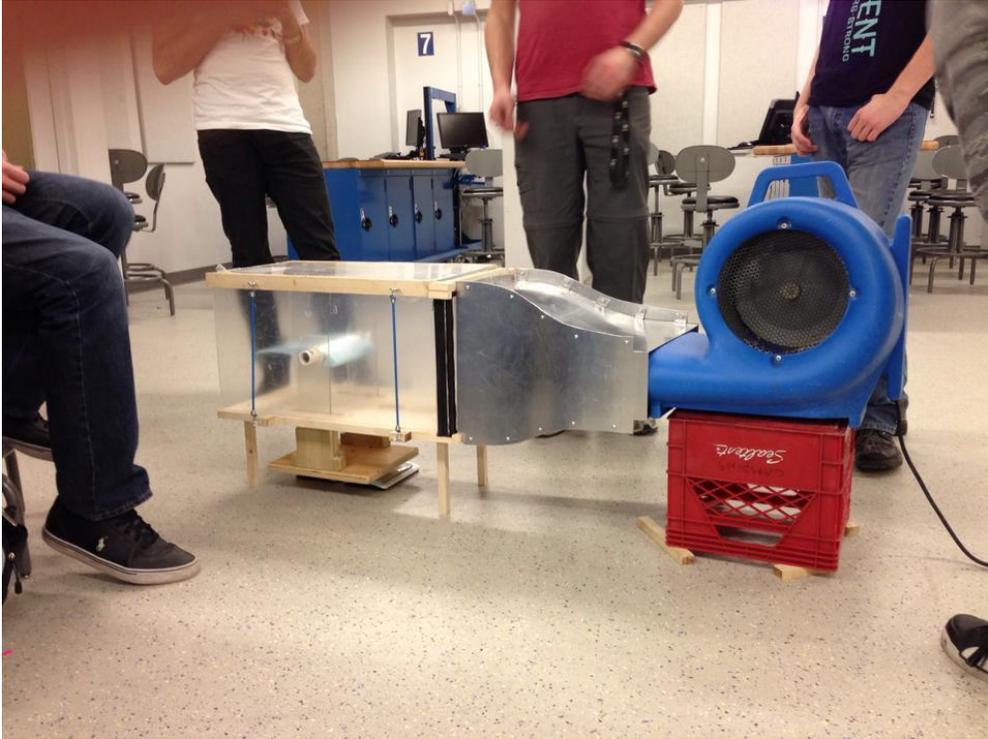




**Soufflerie :**







**Équipe et compagnie en action :**







## **Annexe N**

BROCHURE SOUFFLERIE

## Annexe O

### NORMES

#### **Tolérances de coupe**

-*Aluminium* : 3 mm pour les coupes faites à la main et 1 mm pour les coupes faites par des machines

-*Bois (pattes)* : Précision de plus ou moins 2 mm

-*Bois (base)* : Précision de plus ou moins 2 mm pour les dimensions externes et de 1 mm pour les rainures.

-*Bois (rails)* : Précision de plus ou moins 1 mm pour les dimensions externes et de 1 mm pour les rainures.

-*Acrylique (murs et toit)* : Précision de plus ou moins 2 mm

-*Plaque pour le moteur* : Faite en bois. Les dimensions ne sont pas importantes, il faut simplement que la planche de bois soit assez grande pour pouvoir supporter le moteur.

#### **Rigidité des matériaux /pour résister à une force de 900N**

-*Aluminium* : L'aluminium est assez rigide, mais nécessite une moins grande rigidité que le bois. / Elle ne doit résister qu'à son propre poids ou aux forces exercées lorsqu'une personne l'accroche par accident. Sa rigidité la protège dans ce cas.

-*Bois (pattes)* : Très rigide/ 900N, N'importe quel bois similaire en pin peut fonctionner avec les dimensions et la gamme de fabrication

-*Bois (base)* : Très rigide/ 900N, N'importe quel bois similaire en pin peut fonctionner avec les dimensions et la gamme de fabrication

-*Bois (rails)* : Très rigide/ 900N, N'importe quel bois similaire en pin peut fonctionner avec les dimensions et la gamme de fabrication

-*Acrylique (murs et toit)* : Très rigide/ 900N, Les dimensions sont importantes, mais il est possible d'avoir une erreur de 2 mm dans les coupures. Il est possible d'ajuster dans les coupes des rails en bois si une erreur est commise, mais ce n'est pas recommandé selon les concepteurs.

## Annexe P

### CATALOGUE DE PIÈCES CATIA

Boîte de lait	1	Std	plastique
Support moteur	1	24x24x3/4"	bois
base	1	16 x 36 x 3/4"	Bois
Support de toit	2	24 x 1.5 "	Bois
Bouche-fuites	1	12 x 2 x 1 "	Bois
L pour cadres	2	2 x 2 x 2 "	Bois
Appui veine d'essai	4	19 x 1.9 x 1.9 cm	Bois
Œillets à vis large	8	41 mm	métal
Toit en acrylique	1	X 0,220"	acrylique
Côtés en acrylique	2		acrylique
Câbles à tension	4	10'' (repos)	caoutchouc
Ruban de masquage	n/a	Std	papier
Agrafe à bois	n/a	Std	acier
Rouleau de moustiquaire	1	24x84"	aluminium
Tige de bois	6	.5x.5x48"	Bois

Tube de colle epoxy	1	std	-	résine
Rouleau de ruban adhésif	1	std	-	plastique
Bâtons de <i>Popsicle</i>	1	std	-	Bois
Clous à finition	4	std	-	acier
Feuille de papier	1	21.59 x 27.94	-	papier
Styromousse	-	30 x 30 x 5	-	polystyrène
Panneau de bois	20	30 x 5 x 0.5	-	Bois
Tige en bois	1	14 x 1.9 Ø	-	Bois
Planche de bois de 30 x 1.9	1	30 x 25 x 1.9	-	Bois
Panneau de bois	1	15 x 1.9 x 2	-	Bois
Panneau de bois	1	14 x 4 x 21	-	Bois
Tube en PVC	1	2 x 2.4 Ø	30	plastique
Tube PVC	1	10 x 1.9 Ø	50	plastique
Panneau d'acrylique	1	20 x 30 x 0.5	320	acrylique
Boulon bloc en T (2 x 3/8 ")	4	std	-	acier
Boulon base (2.5 x 3/8 ")	4	std	-	acier

goupille	2	std	1	acier
Aile en mousse	2	Au choix	27 - 36	métal
Support à profil d'aile	2	7 x 5.5 x 1.9	14	Bois
Bloc en T	2	14 x 10.5 x 4	165	Bois
Patte en bois	2	15 x 1 x 1.9	14	Bois
Cran d'arrêt en métal	1	-	5	
Base en bois	1	30 x 25 x 1.9	717	Bois
Plaques latérales en acrylique	2	10 x 30 x 0.5 cm	*	acrylique
Tube en PVC, partie mâle, 5 x 1.9 Ø cm	2	std	*	PVC (plastique)
Tube en PVC, partie femelle, 1.0 x 2.4 Ø cm	2	std	198*	PVC (plastique)
Balance Starfrit 5 kg	2	std	523	

4	Silicone transparent	1	Tube standard	silicone
3	Mousse isolante	1	Ø 1'' x 10'	
2	boulons	20	8-32 x 5/8''	Acier
1	Plaque d'aluminium	1	20 x 80 x 1/16 ''	Aluminium

Vis à bois M5 x 12 / 4

L en aluminium / 4

Ces produits sont les produits bruts de ces produits.

## Annexe Q

### FACTURATION

# Centre de développement pédagogique

Étude de cas 3 - Soufflerie

Facturé à : Éric Morissette  
 Expédié à : Éric Morissette  
 Facture N°: #AER1110-20140408-01  
 Agent de développement pédagogique  
 300, rue Sicard, bureau 1.55,  
 Sainte-Thérèse (Québec) J7E 3X5  
 Code client : #EMS2014

Date	Commande N°	Représentant	FAB	Expédier via	Conditions	N° de TVA
2014-04-08	01	NA	NA	Poste Canada	NA	NA

#### Facture abrégée :

Nom, Prénom	Heures travaillées		Montant avant taxes		Sous- total	Taxes		Montant avec taxes
	Administratif	Technique	Administratif (\$ 50/hr.)	Technique (\$ 100/hr.)		TPS (5 %)	TVQ (9.975 %)	
Gagnon, Miguel	11 :15	43 :30	\$ 562.50	\$ 4 350.00	\$ 4 912.50	\$ 245.63	\$ 514.52	\$ 5 672.65
Garceau, Marc- Antoine	9 :00	18 :30	\$ 450.00	\$ 1 850.00	\$ 2 300.00	\$ 115.00	\$ 240.90	\$ 2 655.90
Gosselin, Jérôme	8 :00	33 :45	\$ 400.00	\$ 3 375.00	\$ 3 775.00	\$ 188.75	\$ 395.38	\$ 4 359.13
Lemieux, Jonathan	9 :30	42 :30	\$ 450.00	\$ 4 250.00	\$ 4 700.00	\$ 235.00	492.27	\$ 5 427.27
Massicotte, Chloé	5 :00	32 :00	\$ 250.00	\$ 3 200.00	\$ 3 450.00	\$ 172.50	\$ 361.34	\$ 3 983.84
Shea, Alexandre	15 :00	52 :00	\$ 750.00	\$ 5 200.00	\$ 5 950.00	\$ 297.50	\$ 623.19	\$ 6 870.69
Total Équipe 9	57 :45	222 :15	\$ 2 887.50	\$ 22 225.00	\$ 25 112.50	\$ 1 255.63	\$ 2 630.22	\$ 28 998.35

2500, chemin de Polytechnique  
 Montréal, Québec, H3T 1J4

# Annexe R

## ÉCHÉANCIER

Sigle	Groupx Équipe		Trimestre	2014H		TEMPS																																		
	1	9																																						
DATE DE CRÉATION	2014-01-23		JOUR	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91									
DATE DE MISE À JOUR	2014-01-23		SEMAINE																																					
AUJOURD'HUI	2014-04-08		MARDI	2014-03-18																																				
Tâche (tenir compte du flux d'information)	Prév Vécu		ÉANCEN°	8		Pf	ÉTUDE DE CAS #3																																	
	h min	h max		h	%		Resp. (initiales)																																	
41	Finaliser la description de la solution retenue	1 2	1,5 h 100%	TOUS	h %	0,75 SI	0,75 III	1 SI	1 III																															
42	Planification du rapport de l'étude de cas 3	1 2	2 h 100%	TOUS	h %	1 SI	1 III	1 SI	1 III																															
43	Gamme de fabrication	4 8	0 h 100%	TOUS	h %	2 SI	6 III	2 SI	6 III																															
44	Création du prototype de la soufflerie	10 15	6 h 100%	TOUS	h %	2 SI	2 III	2 SI	2 III	4 SI	4 III																													
45	Croquis détaillés de la solution retenue	60 120	2 h 100%	TOUS	h %	1 SI	1 III	1 SI	1 III																															
46	Fiche résumé sur les effets de l'aviation sur l'environnement	30 60	0,75 h 100%	C.M/J.L.	h %	0,75 SI	0,75 III																																	
47	Rédaction du rapport de l'étude de cas 3	10 15	0,75 h 100%	TOUS	h %	1 SI	1 III	2 SI	2 III	3 SI	5 III																													
48	Rédaction de la fiche technique	1 2	5 h 100%	J.G.	h %	1 SI	1 III																																	
49	Assemblage du modèle CATIA de notre soufflerie	2 4	4 h 100%	J.L./M.G.	h %	2 SI	1 III	1 SI	1 III																															
50	Fiche résumé sur la présentation d'un ingénieur d'expérience	0,5 1	0,5 h 100%	C.M/M.-A.G.	h %	0,5 SI	0,5 III																																	
51	Modélisation de la soufflerie	10 15	0,5 h 100%	TOUS	h %	3 SI	4 III	3 SI	4 III	5 SI	6 III																													