



uOttawa

Université d'Ottawa  
Faculté de génie

GNG 1505 - Génie de la conception  
Projet

Rapport de conception final :  
Simulateur de pompe artérielle

P.

Présenté à :  
Emmanuel Bouendeu

Groupe FA2:

Hiba Boufernana  
Alexandre Leclerc  
Francois Veilleux  
Aymann Zibara

14 décembre 2018

**Sommaire** : L'équipe a créé une pompe capable de recréer le flux du sang de divers vaisseaux sanguins à différentes valeurs de pression et rythme cardiaque. Les raisons qui ont amené au développement de ce prototype seront développées ainsi que les différents concepts qui ont été faits.

## Table des matières

Introduction .....	4
I - Identification des besoins et le processus de spécification du produit.....	5
II - Conception préliminaire .....	6
III - Plan du projet et étude de faisabilité.....	7
IV - Prototypes, essais et validation auprès du client.....	8
a) Prototype 1 - Montage légo .....	8
b) Prototype 2 - Pompe péristaltique .....	8
c) Prototype 3 - Pompe à aquarium .....	10
d) Prototype 4 - Pompe à air .....	12
V - Solutions proposées .....	14
a) Fonctionnement .....	14
b) Avantages .....	14
VI - Analyse: Calculs faits pour la conception.....	15
VII - Résultats des essais finaux.....	16
VIII - Modèle d'affaires.....	17
IX - Fichier de conception .....	18
X - Réflexion .....	19
Conclusion et recommandations pour le futur .....	19
Bibliographie .....	20

## Table des figures

<b>Figure 1:</b> Schémas représentatif du prototype imaginé.....	6
<b>Figure 2 :</b> Étude de faisabilité du projet.....	7
<b>Figure 3:</b> Premier prototype conçu. Une maquette non-fonctionnelle en blocs lego. ....	8
<b>Figure 4:</b> Deuxième prototype conçu. Une pompe péristaltique avec un moteur stepper.....	9
<b>Figure 5:</b> Pompe submersible pour aquarium incluse dans le deuxième prototype.....	10
<b>Figure 6:</b> Concept du ballon. ....	11
<b>Figure 7:</b> Pompe à air utilisée dans le prototype 4.....	12
<b>Figure 8:</b> Prototype final de la de notre simulateur de pompe artérielle. ....	13

## Table des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Critères de conception établis selon les besoins du client .....	5
<b>Tableau 2 :</b> Liste de composantes et prix .....	17

## Introduction

Avant de se lancer dans la résolution d'un problème, il faut définir les raisons pour lesquelles celui-ci est important et demande résolution. D'abord, nous souhaitons réaliser un prototype permettant de simuler la circulation sanguine mais aussi et surtout de mettre en oeuvre une situation dans laquelle celle-ci serait compromise, notamment lorsqu'un vaisseau sanguin est entaillé. Le but premier de ce prototype est de donner la possibilité à l'utilisateur de recréer une scène de crime pour être en mesure de mieux l'étudier et comprendre ce qui s'est produit. Le prototype se résumerait donc à une pompe reliée à des tuyaux de différentes tailles dans laquelle le sang circulerait à la même vitesse et à la même pression que dans le corps humain, une simple entaille dans un des tuyaux permettrait de simuler les conséquences d'un vaisseau endommagé, comme lors d'un crime, par exemple.

A la suite de nombreuses recherches, *brainstormings*, prototypes et essais, nous en sommes arrivés à notre prototype final que nous avons présenté lors du *Design Day*. Notre prototype se démarque des autres en ce qu'il répond aux attentes du client tout en étant écologique, transportable et simple d'utilisation : entièrement fait de matériau récupéré, léger et manuel, donc facile d'utilisation, notre prototype est l'un des plus écologiques et pratiques des prototypes proposés.

## I - Identification des besoins et le processus de spécification du produit

Après avoir rencontré le client, nous avons défini ses besoins par rapport à la situation. Suite à cela, nous avons mis en place des critères de conception que nous voulions respecter avec la solution que nous allions concevoir. Ces besoins et critères ont été organisés dans le tableau suivant:

**Tableau 1:** Critères de conception établis selon les besoins du client

Numéro	Besoins	Critères de conception
1	Un appareil hygiénique est nécessaire.	Méthode de nettoyage correcte
2	L'intensité du flux doit être en mesure de se régler automatiquement.	Programmation de différents flux de la pompe recréant la pression sanguine (mmHg)
3	Un rythme cardiaque doit être créé lors des simulations.	Des intervalles doivent être faits lors des simulations. (battements/minute)
4	Changement de diamètres des tubes afin d'observer l'impact du jet de sang.	Différents tubes avec différents diamètres (mm)
5	La surface de l'appareil est d'une taille raisonnable et peut être porté comme un Walkman.	Volume durant l'utilisation ( $po^3$ )
6	Le réservoir devrait contenir assez de sang pour réaliser une simulation des plus réalistes	Capacité de sang contenu (l)
7	Accessible par ceux n'ayant pas de connaissances approfondies sur l'appareil.	Manuel d'utilisation
8	L'appareil est léger.	Masse (kg)
9	L'installation de l'appareil est simple.	Instructions claires et nombre minimal de pièces
10	L'appareil peut prendre diverses conformations.	Adaptabilité/Souplesse

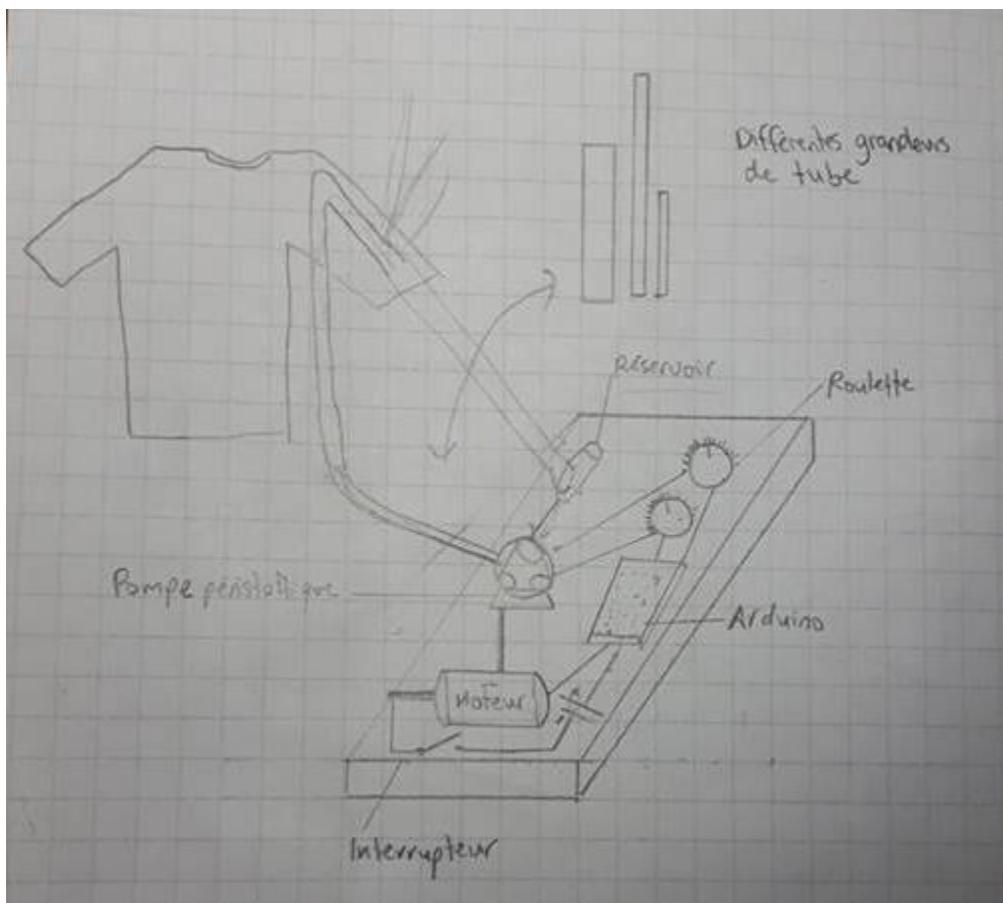
\*\* Tableau créé lors du livrable C

## II - Conception préliminaire

La toute première idée à laquelle nous avons pensé à été d'utiliser une pompe péristaltique reliée un à programme arduino qui permettrait de régler le débit du flux produit par la pompe. L'idée au départ plutôt vague, nous avons décidé de réaliser plusieurs *brainstorming* ainsi que de schémas afin de mettre nos idées en forme et d'avoir une vue plus claire de ce que nous souhaitons réaliser.

Le but premier d'une conception préliminaire est de voir si le prototype répond à une grande partie des besoins du clients, voire à tous ses besoins. Les critères de conception sont par la suite optimisés en fonctions de ces besoins et des objectifs du prototype.

**Figure 1:** Schémas représentatif du prototype imaginé

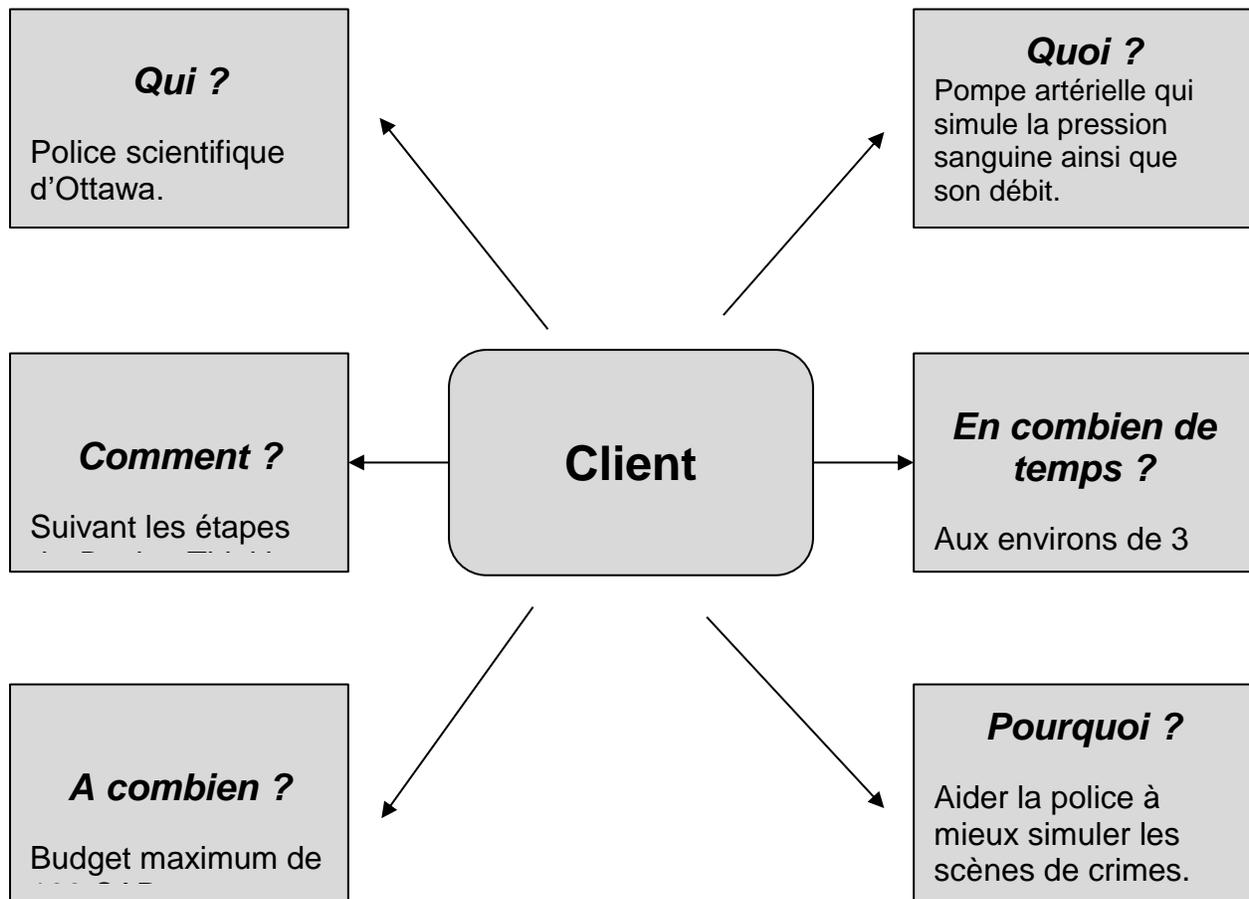


### III - Plan du projet et étude de faisabilité

Suite à une conception préliminaire, il est généralement préférable de réaliser un plan du projet ainsi qu'une étude de faisabilité de celui-ci : ainsi, nous serons en mesure d'analyser la viabilité et les implications économiques et organisationnelles de notre projet.

Cette étape de conception se résumerait donc à étudier les coûts que le projet engendrerait et à mettre en avant le temps nécessaire à accorder à chaque étape de la réalisation du projet.

**Figure 2 :** Étude de faisabilité du projet



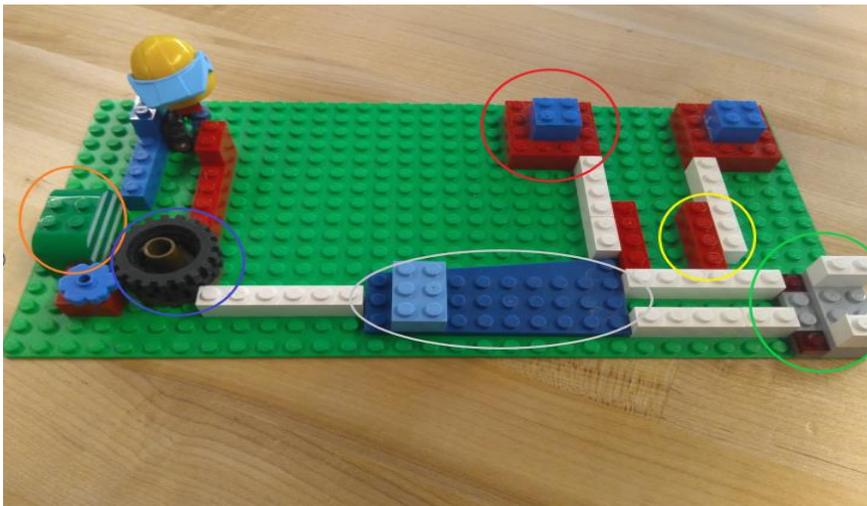
## IV - Prototypes, essais et validation auprès du client

Après avoir établi un plan du projet, il fallait se mettre à l'oeuvre. Nous avons donc commencé à créer nos prototypes. Nous avons vu plusieurs difficultés se présenter à nous et nous avons eu besoin de concevoir 4 prototypes différents avant d'arriver à notre produit final.

### a) Prototype 1 - Montage légo

Avant de créer quelque chose de fonctionnel, nous voulions avoir une idée plus concrète de ce que nous allions créer. Donc nous avons modélisé notre premier prototype avec des blocs lego. Ceci nous a aidé à réaliser la tâche que nous voulions effectuer en visualisant les composantes qui allaient être utilisées d'une manière non-fonctionnelle.

**Figure 3:** Premier prototype conçu. Une maquette non-fonctionnelle en blocs lego.



Afin de comprendre ce que chaque bloc représente, nous avons créé une légende:

=====

**En rouge:** Roulettes pouvant faire varier la fréquence et le rythme cardiaque

**En jaune:** Les potentiomètres reliant ces roulettes au reste du système

**En vert:** Interrupteur et piles adéquates

**En gris:** Plaque Arduino avec les composants nécessaires

**En bleu:** La pompe et le moteur sont étroitement relié, le moteur NEMA 17 fera tourner des éléments de la pompe

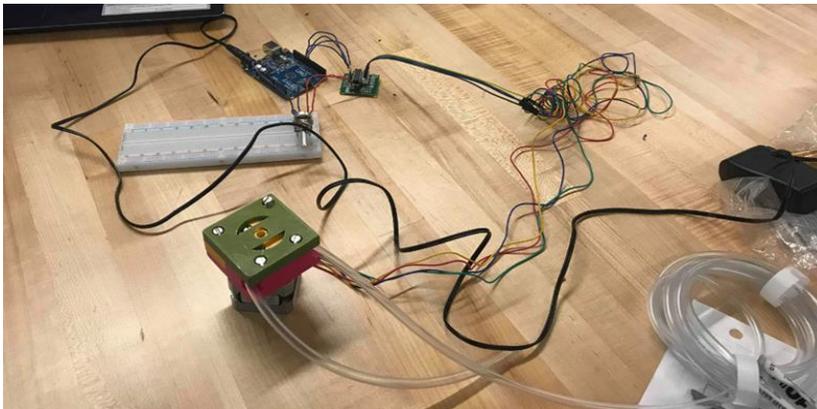
**En orange:** Le réservoir d'où provient le sang. Il y a également un retour sanguin dans ce même réservoir.

=====

## b) Prototype 2 - Pompe péristaltique

Par la suite, nous sommes passés à la prochaine étape. Celle-ci était de transformer nos idées dans un prototype plus fonctionnel. Donc, nous avons assemblé notre pompe péristaltique. Celle-ci étant imprimée en 3D et contrôlée avec un moteur stepper de type *Nema 17*. Tout était assemblé dans un circuit comprenant une carte Arduino pour contrôler le comportement du moteur, un potentiomètre pour ajuster le voltage du circuit et un contrôleur à moteur qui permet le contrôle du moteur par le programme dans la carte Arduino.

**Figure 4:** Deuxième prototype conçu. Une pompe péristaltique avec un moteur stepper.



Nous avons présenté ce prototype au client tout juste avant de pouvoir effectuer nos tests. La rétroaction que nous avons obtenu de sa part nous a été positive et nous pensions être sur la bonne voie pour la suite de notre projet. Par contre, ce n'était pas le cas puisque nous avons eu quelques difficultés avec le fonctionnement de ce prototype.

En effectuant des essais sur notre prototype, nous avons vite réalisé que nous avions surestimé la puissance à laquelle le moteur que nous avions pouvait tourner. Par conséquent, la puissance qu'il fournissait n'était pas suffisante afin de faire circuler du liquide à travers les tuyaux de la pompe. Nous avons conclu que ce concept ne pouvait plus fonctionner et nous ne pouvons pas apporter plus de changements dû à nos contraintes dans le temps et dans le budget. Donc, nous devons passer à autre chose rapidement si nous voulions avoir un produit final pour le *Design Day*.

### c) Prototypé 3 - Pompe à aquarium

Suite à cela, nous sommes passé à une autre idée de concept. Nous avons trouvé une pompe submersible utilisée pour pomper l'eau d'un aquarium. Cette pompe offrait une grande puissance de jet. Ceci pourrait possiblement venir régler le problème que nous avons avec la pompe péristaltique. Cependant, un autre problème nous est venu. Puisque notre pompe devait être conçue afin de pomper du sang, le fait de submerger une pompe dans un réservoir de sang ne semblait pas être la solution la plus hygiénique. Il fallait donc penser à une solution qui nous éviterait de submerger la pompe directement dans le sang.

**Figure 5:** Pompe submersible pour aquarium incluse dans le deuxième prototype.



C'est là que nous avons eu l'idée de pomper de l'eau et d'utiliser la pression exercée par l'eau afin de pousser le sang dans les tubes. Donc, nous sommes arrivés au concept du ballon. Nous aurions un réservoir rempli de sang et un ballon à l'embouchure du réservoir. Ce ballon se ferait remplir d'eau par la pompe submersible et l'expansion du ballon appliquerait une pression sur le sang afin qu'il circule dans les tuyaux.

**Figure 6:** Concept du ballon.



En réfléchissant à nos concepts, nous avons vite réalisé que la réalisation de nos idées serait beaucoup trop complexe pour le temps qu'il nous restait et que le résultat risquerait fortement de ne pas être à la hauteur de ce que nous voulions obtenir. En même temps, ce processus de recherche d'idées nous a amené à découvrir un nouveau concept qui était à la fois plus simple et plus efficace.

#### d) Prototype 4 - Pompe à air

Nous avons pensé à utiliser la pression de l'air au lieu de l'eau afin de faire circuler le sang. Ce processus réglerait à la fois nos inquiétudes autour du mélange de l'eau avec le sang, de la puissance de la pression et de la simplicité de notre produit. Nous avons donc trouvé une pompe à air qui nous permettrait de réaliser le concept que nous avons en tête.

**Figure 7:** Pompe à air utilisée dans le prototype 4.



Cette pompe à air a été utilisée afin d'appliquer une pression sur le sang qui se situait dans une bouteille de plastique. Une fois la pompe activée, le sang circule dans les tuyaux jusqu'à un réservoir vide ou la récupération du sang aurait lieu.

**Figure 8:** Prototype final de la de notre simulateur de pompe artérielle.



## V - Solutions proposées

### a) Fonctionnement

Comme brièvement expliqué précédemment, l'air provenant de la pompe créera une pression sur le sang se trouvant dans la bouteille, le forçant alors à circuler dans le tuyau. Entre temps, l'utilisateur pourrait faire une coupure à l'endroit voulu dans le tuyau et une partie du tube a été mis dans la forme d'une boucle afin de pouvoir effectuer des pincements manuellement dans le but de répliquer les battements du coeur. Différentes valeurs de pression peuvent être reproduites en faisant sortir plus ou moins d'air du système. On peut l'expliquer ainsi: si l'on veut que le sang circule avec un débit plus grand, il faut que l'air sorte plus rapidement. Pour faciliter les manipulations avant de faire les expérimentations, des supports amovibles ont été en mis en place.

### b) Avantages

Avec la réalisation de ce prototype final, la plupart des besoins du client sont comblés. D'abord, l'ensemble du produit est léger. Bien que celui-ci nécessite d'être connecté à une prise de branchement murale, on peut facilement procéder aux différentes simulations. C'est en grande partie la bandoulière et les crochets qui permettent cette transportabilité. Ensuite, le système est hygiénique jusqu'au moment où l'on veut réaliser les giclements simulant la coupure d'une artère. Avant les tests, le sang peut être introduit dans les réservoirs initiaux sans difficulté en utilisant un entonnoir. Pour poursuivre, la fréquence cardiaque peut être reproduite manuellement. En pinçant le tuyau à l'endroit approprié, il est possible d'arrêter la circulation pendant quelques instants, comme le font les battements du coeur. Dans un même ordre d'idées, l'utilisation de différents réservoirs finaux, c'est-à-dire n'ayant pas le même nombre de trous par lesquels l'air peut sortir, permet d'influencer le flux du liquide circulant dans le système, recréant ainsi quelques valeurs de pressions cardiaques. Un autre avantage de la solution est que le prototype a été conçu uniquement à l'aide de matériaux recyclés.

## VI - Analyse: Calculs faits pour la conception

Nous avons eu besoin d'effectuer très peu de calculs au cours de ce projet. Toutefois, nous avons pu calculer la pression que notre système fournissait. Pour ce faire, la loi de Poiseuille a été utilisée:

$$Q = \frac{\pi P r^4}{8 \eta l}$$

- Où
- Q représente le flux du liquide (m<sup>3</sup>/s)
  - P représente la pression du liquide (Pa)
  - r représente le rayon du tuyau utilisé (m)
  - l représente la longueur du tuyau (m)
  - n représente la viscosité dynamique du liquide (Pa\*s)

Ainsi, notre système avec le tuyau de 0,003175 m de rayon et de 1 m de longueur, l'eau possédant une viscosité de 0.001 Pa\*s, le système pouvait pomper l'eau avec une pression d'environ 7 kPa, ce qui est légèrement insuffisant considérant que le sang est un liquide plus épais et que la pression normale dans le corps humain est dans les environs de 10 kPa. De ce fait, nous pouvons conclure que l'utilisation d'une pompe à air plus puissante et de rendre le système plus étanche pourrait contribuer à atteindre les valeurs voulues.

## VII - Résultats des essais finaux

Lors des essais finaux en utilisant l'eau, il a été possible de bel et bien observer la variation de la pression selon le nombre de trous dans la bouteille. De plus, les battements créés de manière manuelle ont été aisément effectués. Une coupure avait également été faite et les giclements se faisaient sans aucun problème. Toutefois, sans dire que nous avons sous-estimé la viscosité du sang beaucoup plus grande que celle de l'eau, ce qui sortait du tuyau était uniquement du sang qui coulait le long du tuyau. Or, nous avons remarqué que le trou n'était pas semblable à celui qui avait été fait lors des tests avec l'eau. Alors, l'on peut penser qu'il s'agit d'un autre facteur ayant contribué au succès moins grand que celui obtenu avec l'eau. Malheureusement, une fausse manoeuvre a été faite durant le test final et le produit ne peut plus être réutilisé. Certes, nous savons que le produit fonctionne, celui-ci doit cependant être utilisé avec prudence. Nous conseillons d'ailleurs de procéder aux manipulations avec un assistant

## VIII - Modèle d'affaires

Avant d'aborder notre modèle d'affaires, il est de mise que nous développons davantage sur les composantes utilisées ainsi que leur coût.

**Tableau 2 :** Liste de composantes et prix

Composantes	Prix (\$)
Pompe à air	20
Tuyaux	12
Crochets et bandoulière	3
Bouteilles	1
Structure en MDF (utiliser les retailles)	5
Esthétique (peinture, velcros)	3
TOTAL	44

Ainsi, avec un coût de production de 44\$, nous prévoyons mettre sur le marché le produit à un prix de 60\$. Ce prix comprend également les transports et la main d'oeuvre nécessaire avant d'avoir un produit final, c'est-à-dire prêt à être vendu. Un profit net d'environ 11\$ sera donc réalisé par notre compagnie pour chaque *P.* Il existe une trentaine d'agent de police spécialisé dans l'analyse du sang. Or, considérant que chacun de ses experts se procurera le produit. De plus, la plupart d'entre eux occupent également des postes de professeurs, les établissements d'enseignement dans lesquels ils sont employés se procuraient également une pompe à des fins scolaires. Ainsi, nous pensons avoir la possibilité de vendre 60 appareils de simulation artérielle. Donc, uniquement pour le Canada, la compagnie pourrait faire un revenu net de 660\$, ce qui est très peu, un plus vaste marché devrait donc être ciblé. Les États-Unis ainsi que plusieurs pays d'Europe seraient sans doute accessibles. L'idéal serait d'être minimalement en mesure de produire et vendre 1000 simulateurs afin de faire un profit d'au moins 10 000\$.

## IX - Fichier de conception

Pour faciliter l'utilisation du produit par le client, un manuel d'instructions a été rédigé sous la forme d'un dépliant. Voir les captures ci-bas:

**Figure 9:** Pages 1, 5 et 6 du manuel de l'utilisateur

<p><b>Caractéristiques du produit</b></p> <p>Masse :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1,25 kg vide</li> <li>• 2,00 kg à capacité maximale</li> </ul> <p>Volume :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 6650 cm<sup>3</sup> debout</li> <li>• 2850 cm<sup>3</sup> en bandoulière</li> </ul> <p><i>*Fait avec des matériaux 100% recyclés*</i></p> <hr/> <p><b>Capacité du produit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chaque bouteille peut contenir jusqu'à 400 ml de sang.</li> </ul> <hr/> <p><b>Sécurité et précautions</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lors des manipulations avec le sang, il faut s'assurer de se mettre dans une tenue qui évite tout contact direct avec le sang.</li> <li>• Il faut s'assurer de bien visser les bouchons sur les bouteilles pour éviter toute possibilité de fuite</li> <li>• Lorsqu'un tuyau est hors d'usage, il faut l'accrocher sur un des crochets du côté pour éviter les écoulements.</li> </ul>	<p><b>Nettoyage</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. S'assurer de transférer l'entièreté du sang dans la bouteille centrale.</li> <li>2. Une fois cela fait, les tubes peuvent être dévissés des bouteilles et les bouteilles peuvent être enlevées du support.</li> <li>3. Les pièces pourront être nettoyées individuellement</li> </ol> <hr/> <p><b>Dépannage</b></p> <p>Si des difficultés sont rencontrées, il faut s'assurer de vérifier les aspects suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'embouchure de la pompe est entièrement dans le trou de la bouteille</li> <li>• Il n'y a pas de plis dans le tube</li> <li>• Les trous de la bouteille centrale ne sont pas bouchés</li> <li>• La source d'alimentation de la pompe</li> </ul> <hr/> <p><i>Pour de plus amples informations en cas de difficultés à utiliser le produit, n'hésitez pas à communiquer avec nous par courriel :</i></p> <p><i>fveil093@uottawa.ca</i></p>	<p><b>P.</b></p>  <p><b>Manuel de l'utilisateur</b></p> <p><u>Réalisé par :</u></p> <p>Hiba Boufernana Alexandre Leclerc François Veilleux Aymann Zibara</p> <p>FA 2</p>
--	--	--

**Figure 10:** Pages 2 à 4 du manuel de l'utilisateur

<p><b>Liste des pièces et utilité</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 bouteilles grossièrement trouées dans le bas             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Réservoirs de départ (gauche et droite)</li> </ul> </li> <li>• 2 bouteilles finement trouées dans le col             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Réservoirs finaux (milieu)</li> </ul> </li> <li>• 2 tuyaux transparents             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Répliques de vaisseaux sanguins</li> </ul> </li> <li>• Pompe à air             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Source de puissance pour la circulation du sang</li> </ul> </li> <li>• Bandoulière             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pour la transportabilité du produit</li> </ul> </li> <li>• Crochets sur les côtés             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pour accrocher le tuyau non-utilisé</li> </ul> </li> <li>• Pattes de bois avec velcros             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Comme support lors de l'installation</li> <li>○ Peuvent être ôtés et mises sur les côtés lors du transport</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>Étapes pour l'utilisation</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Choisir un tuyau correspondant au vaisseau sanguin voulu.</li> <li>2. Insérer le tuyau dans les trous adéquats de la structure de bois.</li> <li>3. Connecter les bouchons appropriés avec le réservoir initial et le réservoir final.</li> <li>4. Faire une incision dans le tuyau pour simuler une blessure.</li> <li>5. Détacher les bases de la structure et fixer les sur les côtés.</li> <li>6. Insérer la pompe à air dans le réservoir initial.</li> <li>7. Brancher la pompe à air.</li> <li>8. Allumer la pompe.</li> <li>9. Attendre d'obtenir un flux constant avant de débiter les battements.</li> <li>10. Pincer le tuyau pour chaque pulsation voulue.</li> <li>11. Diriger les jets vers une surface qui permettra d'analyser le patron sanguin.</li> <li>12. Éteindre la pompe à air.</li> <li>13. Remettre les bases du système en place et poser la structure.</li> </ol>	<p><b>Varier la taille du vaisseau</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Remplacer le tuyau préalablement choisi et installé sur le réservoir final par un tuyau de taille différente inséré dans un autre réservoir initial.</li> <li>2. Fixer le tuyau déjà utilisé sur le crochet.</li> <li>3. Faire la simulation en suivant les étapes décrites à la page précédente.</li> </ol> <hr/> <p><b>Varier la pression</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Remplacer la bouteille du milieu avec une des autres bouteilles trouées autour du col.</li> <li>2. Faire la simulation en suivant les étapes décrites à la page précédente.</li> </ol>
--	---	---

## X - Réflexion

Tout au long de ce projet, nous avons souvent précipité les choses, sans avoir une planification rigoureuse à l'avance. De ce fait, nous avons appris qu'il est crucial de réfléchir et de faire les recherches adéquates avant de se lancer dans un projet d'une telle envergure. Par exemple, il aurait été facilement possible de se rendre compte à l'avance que la pompe péristaltique initiale ne serait pas suffisamment puissante. Or, nous avons perdu énormément de temps à développer ce concept. De plus, les dépenses effectuées par l'équipe auraient dues être faites de manière plus responsable pour s'assurer d'avoir assez d'argent en cas de problèmes. Ainsi, les contraintes budgétaires n'auraient pas été aussi grandes lors des concepts suivants.

### Conclusion et recommandations pour le futur

En guise de conclusion, le projet nous a permis de nous familiariser avec la conception en génie. Notamment, l'impression en 3D, la découpe laser, les branchements électriques et la programmation Arduino a été apprises par les membres de l'équipe. De plus, des compétences de communication, d'organisation et d'ouverture d'esprit ont également été développés indirectement au cours de la session. Pour le futur, tous ces éléments seront déjà acquis et il sera beaucoup plus facile d'arriver à nos fins en les mettant en application.

## Bibliographie

(1) CAMPBELL. Reece, Urry, Cain, Wasserman, minorsky et Jackson, (biologie italique), 4<sup>e</sup> edition, Éditions du renouveau pédagogique in. (ERPI), 2012, Montréal, Canada, chapitre 35

(2) Bernard LE FUR, Jean-François DEVILLERS, Claude FRANÇOIS, « **FLUIDES MÉCANIQUE DES** », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 25 novembre 2018.  
URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/mecanique-des-fluides/>

(3) Clifford. A Pickover, *Futura Science*, « 1840: la loi de Poiseuille » <https://www.futura-sciences.com/sciences/dossiers/physique-physique-chronologie-grandes-etapes-1614/page/7/>