

GNG 1503

Manuel d'Utilisateur du Projet de Conception

**Simulateur de tracteur moderne pour le Musée de l'agriculture et de
l'alimentation du Canada**

Soumis par:

Groupe FA-01, composé de

Jacob Godin, 300105513

Jacob D'Aoust, 300106762

Benoît Gratton, 300113032

Hubert Lachaine, 300088965

Christophe Lepage Bilodeau, 300147272

Le 5 décembre 2019

Université d'Ottawa

Résumé

Dans le cadre du cours GNG 1503, un simulateur de tracteur interactif a été conçu pour répondre aux besoins du Musée de l'agriculture, c'est à dire moderniser la simulation de tracteur qui s'y trouve. Suite à avoir rencontré sa représentante M^{me} Gratton, le jeudi 19 Septembre 2019, le processus de conception en génie a été appliqué afin de trouver une solution respectant tous les critères définis. À l'aide de quelques itérations avec des prototypes, le prototype final a été mit au point.

Ce document traite du prototype en question de manière compréhensive afin d'établir de directives claires sur sa fabrication, son utilisation, la maintenance nécessaire ainsi que les étapes recommandées pour l'évolution future du prototype.

Table des matières

Résumé	1
Table des matières	2
Liste de figures	3
1 Introduction	7
2 Comment le prototype est construit	8
2.1 Les composantes physiques	8
2.1.1 Les boîtiers	8
2.1.1.1 Aperçu général	8
2.1.1.2 Plaques de MDF	9
2.1.2 Les périphériques	9
2.2 Le circuit	10
2.3 La simulation	10
2.4 Informations générales	11
2.4.1 LDM (Liste des Matériaux)	11
2.4.2 Instructions	12
2.4.2.1 Boîtier du volant	12
2.4.2.2 Console	13
2.4.2.3 Assemblage électronique	13
3 Comment utiliser le prototype	14
3.1 Démarrage des logiciels	14
3.2 Utilisation de la simulation	14
4 Comment maintenir le prototype	14
4.1 Facteurs Météorologiques	14
4.2 Composantes fragiles	15
4.3 Pouvoir informatique	16
5 Conclusions et recommandations pour les travaux futurs	16
APPENDICES	18
APPENDICE I: Fichiers de conception	18

Liste de figures

Figure 1

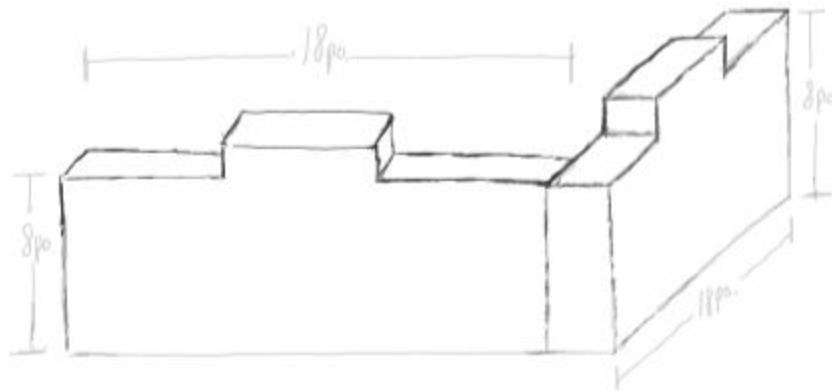


Figure 2

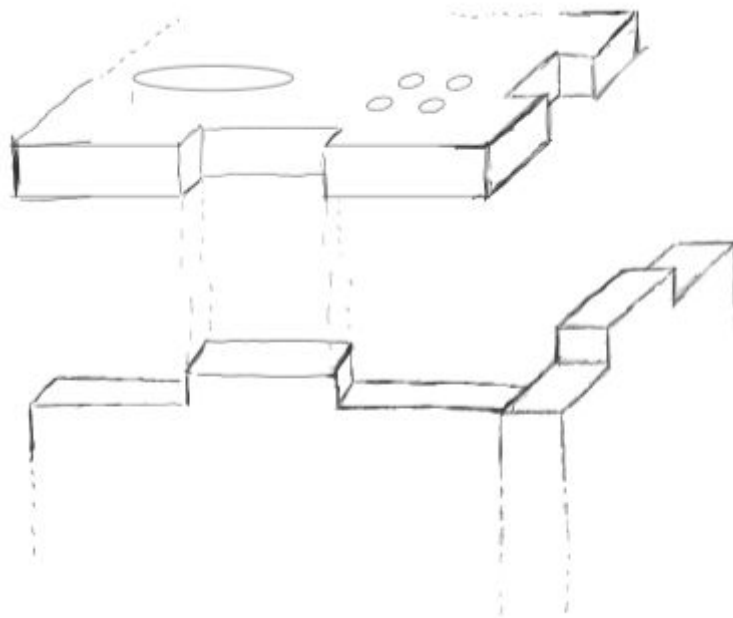


Figure 3

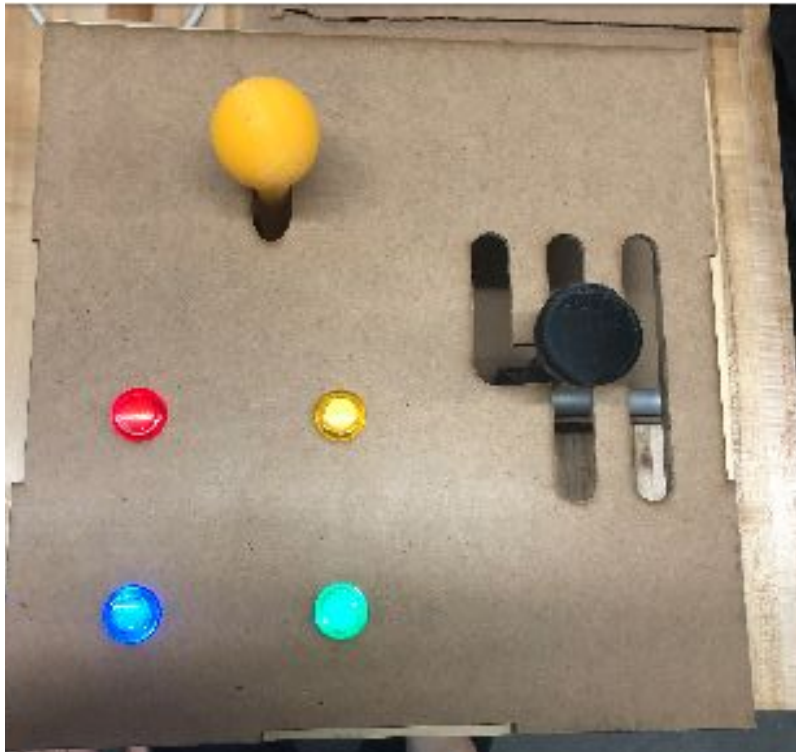


Figure 4



Figure 5

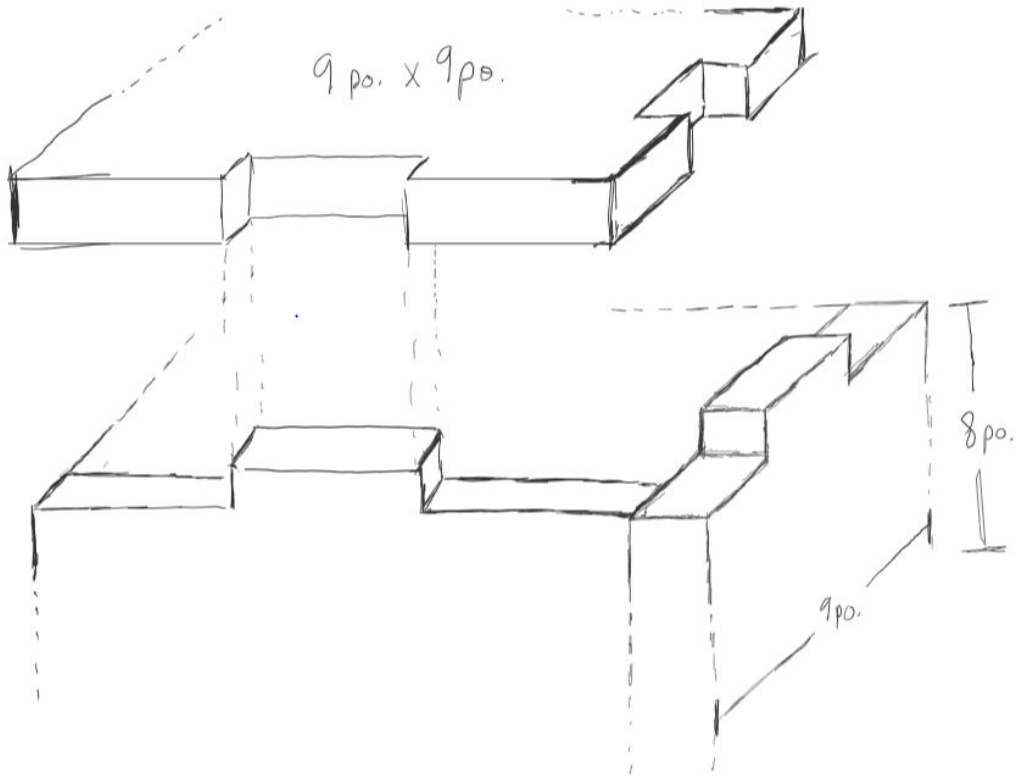


Figure 6

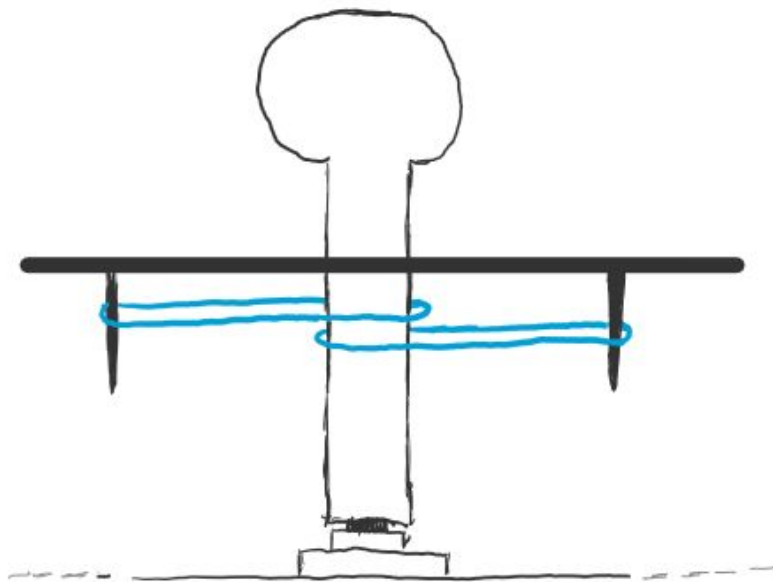
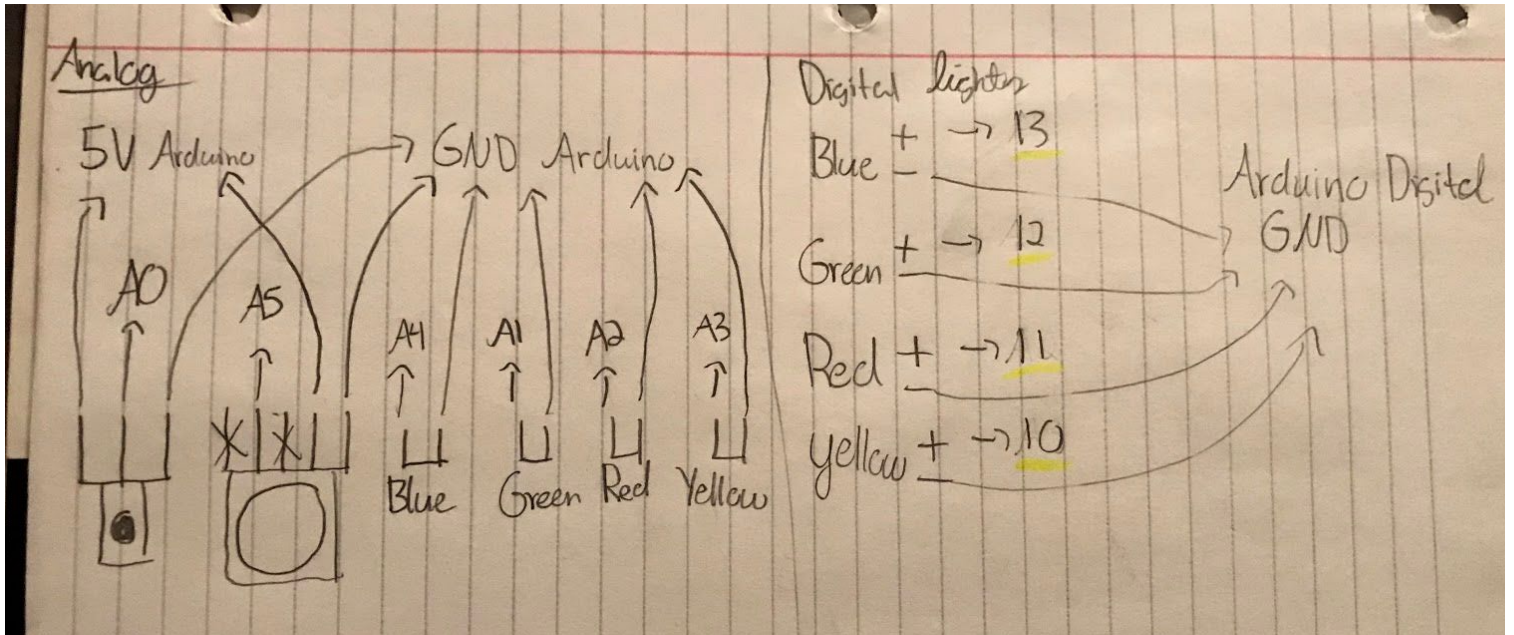


Figure 7



1 Introduction

Depuis son ouverture en 2002, l'exposition de tracteur interactif au Musée d'agriculture et de l'alimentation du Canada fut l'exposition la plus populaire auprès des visiteurs. Malheureusement, au cours des années, la condition du simulateur s'est détérioré de manière à perdre la plupart des fonctionnalités qui rendaient le tracteur si populaire. En effet, l'exposition a fermé ses portes le deux septembre 2019. C'est pour cette raison que le musée a cherché à mettre à jour la cabine de tracteur, afin que l'expérience soit autant et même plus interactive, amusante et enrichissante qu'avant. En plus de la restauration, le musée cherchait également à moderniser le tracteur afin de mieux représenter la réalité en agriculture moderne comme l'utilisation des techniques d'agriculture de précision et de la technologie à la ferme.

Ainsi, le prototype final du simulateur de tracteur interactif est un produit ciblé pour le Musée de l'agriculture et sa clientèle. Il fut conçu en gardant en tête les détails importants qui furent décrits par la représentante du musée, M^{me} Gratton. Ceux-ci incluent entre autres les aspects d'éducation et de loisir, l'accessibilité, la durabilité et le fait que les utilisateurs principaux sont de jeunes enfants.

En prenant les critères initiaux en compte, ainsi qu'en appliquant le processus de conception, le prototype fut mis sur pied. Celui-ci combine une variété de périphériques physiques et une simulation de tracteur à l'aide de circuits, de capteurs, d'un microcontrôleur et d'un ordinateur. Il offre donc un équilibre idéal entre l'interaction avec les objets physiques et la rétroactive active fourni par la simulation, tout en restant sous le budget total de 100\$.

Ce prototype, construit par l'équipe FA-01, s'agit du meilleur produit disponible comme il fut démontrée lors de sa sélection en première place contre ses compétiteurs du même type durant l'édition 2019 de la Journée de la conception à l'Université d'Ottawa.



2 Comment le prototype est construit

2.1 Les composantes physiques

2.1.1 Les boîtiers

2.1.1.1 Aperçu général

Les deux boîtiers du prototype, soit celui pour le volant et celui pour la console, sont tous deux fabriqués de manière presque identique. Chacun d'entre eux sont fait de panneaux de fibres à densité moyenne (MDF). Ce matériel a été choisi pour plusieurs de ses caractéristiques: premièrement, son coût est très faible, ce qui permet au prototype final de respecter les contraintes budgétaires. De plus, en tant que matériel, le MDF est très poli, c'est-à-dire que son apparence esthétique est adéquate et que ses surfaces sont lisses et sécuritaires. Puisque nos planches ont été choisie à un épaisseur de un quart de pouces ($\frac{1}{4}$ in), elles sont aussi assez rigides pour servir de partie structurale au boîtiers.

Au sujet de la structure, l'intérieur des deux boîtiers est renforcé avec une charpente en bois à chaque coin où deux plaques de MDF se rencontrent. Ces deux matériaux sont également utilisés afin de mettre d'offrir une base dans la console pour supporter les composantes électroniques et physiques du prototype. Notamment, le levier de vitesse, le levier d'accélération et la carte Arduino sont tous supportés par cette plaque de MDF interne.

2.1.1.2 Plaques de MDF

Pour aller plus en détails, toutes les planches de MDF utilisées dans les deux boîtiers ont été découpées au laser afin de pouvoir être assemblées ensemble et avec les composantes physiques du simulateur. Le logiciel Inkscape a été utilisé pour créer des modèles planches avec les coupes nécessaires. Ensuite, à l'aide de la conversion de ceux-ci sous des fichiers PDF, les coupes appropriés ont pu être faites sur les planches de MDF avec les découpeuses laser du Makerspace dans l'édifice STEM de l'Université d'Ottawa. Les coupes effectuées pour le prototype servent tous une de deux utilités: soit pour permettre aux composantes physique du simulateur de pouvoir être fixés dans le boîtier, ou afin de permettre l'emboîtement des plaques de MDF lors de l'assemblage de celles-ci en forme de boîtes.

2.1.2 Les périphériques

D'autres composantes physiques importantes du prototype final sont les divers périphériques qui offrent l'expérience de tracteur interactive. La plupart de ces périphériques offrent directement

de la rétroaction active à travers la simulation: notamment le volant, la poignée de conduite et son écrou, le levier d'accélérateur et les boutons. Le prototype comprend aussi un levier de vitesse qui ne fournit que de la rétroactive passive puisqu'il n'est pas connecté à la simulation.

Le volant, la poignée de conduite et son écrou ainsi que les deux levier ont tous été fabriqués à l'aide d'une imprimante 3D. Les pièces ont été conçues dans le logiciel de CAO Solidworks et ensuite été converti sous le format compatible pour l'impression à l'aide du logiciel gratuit Cura. Au contraire des pièces disponibles sur le marché, les pièces imprimés en trois dimensions permettent d'être personnalisées. Pour cette raison, ces pièces ont les dimensions exactes qui sont appropriés à la taille des boîtiers et qui favorise l'accessibilité auprès des utilisateurs. Les pièces imprimés 3D ont également été conçues afin d'être compatibles avec les autres composantes avec lesquels interagissent; le volant a une rainure permettant d'insérer le potentiomètre, le levier d'accélérateur a aussi une rainure permettant de le connecter au capteur approprié et finalement le levier de vitesse a un trou d'environ un pouce afin de permettre de l'installer pour qu'il puisse glisser sur une rail. La poignée de conduite a été conçue pour être installée sur le volant à l'aide d'un écrou compatible qui a aussi été imprimé en trois dimensions. Les pièces imprimés 3D sont également favorables pour le fait qu'elles sont gratuites si produites au Makerspace, ce qui permet d'alléger le budget. De plus, le matériel qu'utilise l'imprimante, le PLA, est assez rigide pour les besoins du prototype. D'autres matériaux auraient pu être utilisé cependant, à condition de rencontrer les mêmes exigences.

D'un autre côté, les boutons ont été achetés pour leur simplicité. Tout en un paquet, les boutons fournissent le périphérique physique ainsi qu'un capteur et une ampoule DEL internes. Leur coût était également assez bas pour notre budget. Les boutons qui ont été choisi respectent aussi les standards de durabilité et d'accessibilité requis avec leur taille et leur matériel (plastique rigide). Le prototype ne comprend que quatre boutons afin de garder la simulation simple. Ceux-ci sont espacés de plusieurs pouces d'un de l'autre afin qu'ils soient accessibles et facile à utiliser pour tous.

2.2 Le circuit

Le circuit du simulateur fait la liaison entre plusieurs parties importantes du prototype. D'un bout, les périphériques physiques sont directement connectés à nos divers capteurs; le volant est connecté à un potentiomètre, le levier d'accélération à un potentiomètre à ressort et les boutons ont leur propre capteur d'activation interne en plus de leurs propres lumière LED. Ces capteurs sont ensuite branchés directement dans le microcontrôleur Arduino Uno qui reçoit toutes leurs entrées de données et transmet simultanément des signaux aux indicateurs LED. Finalement, la cartouche Arduino est connectée à l'ordinateur ce accompli un relais des l'informations des

capteurs, avec lesquels l'ordinateur fait fonctionner la simulation pour ensuite l'afficher à l'écran et diffuser le son aux haut-parleurs.

Les composantes électroniques mentionnées dans le paragraphe précédent ont tous été choisies spécifiquement pour leur fonction. Les capteurs ont été choisis pour recueillir les données nécessaires; l'angle de rotation pour le volant et le degré de liberté de mouvement pour le levier d'accélération. Le microcontrôleur a été choisi pour avoir un nombre de ports bien agencé avec le nombre d'entrées et de sorties nécessaires pour le circuit. Finalement, les composantes spécifiques ont été choisies afin de remplir ces fonctionnalités au prix le plus bas possible.

2.3 La simulation

La simulation a été créée en symbiose avec Unity et la plateforme de microprocesseur Arduino. Le langage de programmation utilisé pour Arduino est un dérivé de C et de C++. Pour ce qui en ai de Unity, ce programme utilise plusieurs différents types de fichier soit des modèle .fbx pour les modèles 3D et la programmation se fait en C#. C dernier est très proche de Java et très puissant pour une utilisation lors des simulation. L'application Unity est le logiciel de choix pour la simulation car celui-ci est gratuit pour les étudiants. De plus, ce logiciel offre une interface simple et aussi une facilité d'utilisation. La compilation se fait à l'intérieur de Unity directement et donc un compilateur externe n'est pas nécessaire. Des programme furent créés pour tester toutes les composantes individuellement ce qui permet de trouver rapidement si certaines des composantes sont brisées ou si un problème existe à travers la simulation. Des version finale et exécutable de la simulation ont également été construites. Celles-ci sont disponible pour PC sous forme de programme .EXE et sur Mac sous forme d'application .app. D'un autre côté, le code Arduino s'occupe de recevoir toutes les données des différents capteurs. Lors de chaque exécution, il détermine la position du volant, la position du levier de vitesse, il détermine quel bouton sont activés et finalement, il reçoit de Unity les commandes pour allumer les voyants lumineux des différents boutons. Pour ce qui en est de Unity, le logiciel reçoit les valeurs des entrées du code Arduino et les traduit pour le tracteur donc, il trouve la vitesse de celui-ci, la direction et les différents boutons pour le klaxon et lever ou descendre la machine à l'arrière du tracteur. Ce code est exécuté à chaque image lors de la simulation et prend environ 16 milliseconde dépendamment de la puissance de l'ordinateur utilisé. En ce qui concerne l'amélioration de la simulation, le GPS sur écran serait une fonction à optimiser. En effet, présentement celui-ci n'est vraiment pas efficace. Celui-ci prends une photo de point de vue aérienne lors de chaque image et par la suite la position du tracteur est mis-à-jour sur cette nouvelle photo. Puisque la photo de vue aérienne de l'espace de jeu est invariable, celle-ci n'a pas à être changé donc il serait plus efficace de ne mettre à jour que la position du tracteur au lieu de changer l'image entièrement. La simulation est très rudimentaire pour le moment mais elle est

prête à être perfectionné en ajoutant de nouvelles fonctionnalités comme par exemple des objectifs à atteindre. Surtout, ceci est relativement facile à faire puisque toute la base du jeu est complète.

2.4 Informations générales

2.4.1 LDM (Liste des Matériaux)

Matériaux (quantité)	Équipements
Panneaux MDF	Fusil à colle chaude
Bois	Cloueuse ou marteau
Boutons poussoirs	Ordinateur personnel
Manette, “Joystick”	Logiciel Arduino
Assortiment de fils électriques	
Carte Arduino	
Élastiques de caoutchouc (2)	
Tubes en aluminium (de 3 pouces) (2)	
Tube en aluminium (de 7 pouces)	
Colle chaude	
Gaines thermorétractable (20)	
Tube de plastique (1 po. de diamètre, 3 po. de longueur)	

2.4.2 Instructions

2.4.2.1 Boîtier du volant

1. Placer les quatre panneaux en MDF de 9 po. x 8 po. ensemble pour créer le boîtier. S’assurer que ces panneaux soient perpendiculaires l’un à l’autre afin de former un carré de 9 po. x 9 po. et que la boîte ait une hauteur de 8 pouces. Les indentations de ceux-ci

devraient pointer vers le haut. À noter: un des panneaux est unique car il a un trou en son centre, mais sa position est arbitraire. Ensuite, placer le panneau de MDF carré (9 po. x 9 po.) au dessus, agissant comme un couvercle pour la boîte (voir Figure 5).

2. Fixer la poignée de conduite à travers le volant et l'attacher à l'aide du boulon.
3. Coller le tube de plastique de 1 po. de diamètre autour du trou à l'extérieur du boîtier. S'assurer de coller le tube pour que le manche puisse toujours tourner librement à l'intérieur.
4. Placer le manche du volant dans le trou du boîtier (en passant à travers le tube).
5. À l'aide de la colle chaude, fixer le bloqueur du volant à la position indiquée sur le panneau ayant le trou pour le volant.
6. Placer le bout du potentiomètre dans le trou au bout du manche du volant, de manière que le côté plat de la tige du potentiomètre soit aligné vers le haut du volant (opposé du support intérieur droit du volant).
7. Fixer le petit panneau de MDF à une distance du panneau de MDF dans lequel le volant est situé, de sorte que la base du potentiomètre puisse être collé dessus.
8. Fixer le potentiomètre à la plaque directement derrière le centre du volant avec la colle chaude.
9. Laisser les fils du potentiomètre dépasser dans ou derrière le boîtier.

2.4.2.2 Console

1. Placer les deux panneaux de MDF 18 po. x 8 po. ensemble pour qu'ils soient en angle droit. Les cotés de 8 pouces doivent s'aligner ensemble pour former une base carrée de 18 po. x 18 po. avec une hauteur de 8 pouces (voir Figure 1).
2. Placer au dessus de cela le panneau de 18 po. x 18 po. de la console afin que les fentes de celui-ci s'alignent avec les indentations des deux autres panneaux. Choisir l'orientation pour que les quatre trous pour les boutons sont le plus proche possible du coin formé par les plaques des MDF verticales (voir Figure 2).
3. Placer les quatre morceaux de bois de 2x4x8po au quatre coins intérieurs de la boîte formée par le MDF.
4. Clouer ces morceaux verticalement, pour qu'ils agissent comme des pattes pour le boîtier. Important de clouer de toutes les directions afin de bien renforcer les joints.
5. À l'aide de deux morceaux de bois 2x4x4, clouer le panneau en MDF en forme de «L» aux deux côtés de la boîte adjacents aux plaques de MDF verticales.
6. Coller le joystick avec de la colle chaude sur le panneau en L, directement en dessous du centre de la fente pour le levier d'accélération.
7. Enfiler le levier d'accélération jaune à travers la fente et coller le bout du joystick dans le trou du levier d'accélération avec de la colle chaude.

8. Clouer deux clous, de distance égale (entre ½ et 1 pouce) de chaque extrémité de la fente et attacher un élastique entre chacun d'eux et le levier d'accélération (voir Figure 6).
9. Ensuite faire passer le levier de vitesses noir dans l'espace désigné pour le levier de vitesse de manière que l'extrémité avec le trou soit dans la console (voir Figure 3) puis passer le tube d'aluminium de 7 po. au travers du trou dans le levier. Ensuite coller celui-ci aux deux tubes d'aluminium de 3 po. (voir Figure 4).
10. Finalement, placer les quatre boutons dans les quatre trous dans un ordre arbitraire et laisser les fils suspendre des boutons, ils seront connectés dans la prochaine partie (revoir Figure 3).

2.4.2.3 Assemblage électronique

1. Placer la carte Arduino sur le centre de la plaque de MDF en «L, à l'intérieur de la console.
2. Puisque que tous les capteurs et boutons sont en place dans la console, connecter chaque paires de fils c'est à dire connecter les deux fils étiquetés A ensemble, et les deux fils étiquetés B ensemble et ainsi de suite, jusqu'à ce que tous les fils soient connectés.
3. S'il y a des étiquettes manquantes, référez-vous au diagramme de fils (voir Figure 7).

3 Comment utiliser le prototype

3.1 Démarrage des logiciels

1. Démarrer l'ordinateur en connectant l'alimentation à celui-ci.
2. Connecter l'Arduino à l'ordinateur dans le port USB et ensuite spécifier celui-ci dans les paramètres du logiciel.
3. Se rendre dans les logiciels installés sur l'ordinateur et sélectionner «Simulateur de Tracteur Ingénium».

3.2 Utilisation de la simulation

Une fois le logiciel lancé et le prototype proprement installé, il suffit de suivre les directives affichés à l'écran pour débiter la simulation.

1. Il faut choisir la langue de la simulation désiré (français ou anglais). Ce choix est effectué avec les boutons rouge ou bleu, respectivement.
2. Lire les instructions affichées à l'écran qui désignent la fonction de chaque boutons :
 - Bleu : klaxon
 - Vert : arrêter, continuer ou démarrer la simulation
 - Jaune : abaisser la charrue

- Rouge : remonter la charrue
- 3. Lorsque la simulation est lancée, le volant permet à l'utilisateur de faire un virage vers la gauche ou vers la droite et le levier d'accélération jaune permet de faire avancer, arrêter ou reculer le tracteur.
- 4. La simulation s'arrête automatiquement après 60 secondes de jeu, puis recommence à l'étape 1.

Note: Pour utiliser le prototype en sécurité il faut s'assurer que chaque composante soit bien installé sur une base robuste. La console ne devrait pas bouger lors de la simulation.

4 Comment maintenir le prototype

4.1 Facteurs Météorologiques

Au stage du prototype final, le simulateur n'est pas conçu pour résister aux intempéries de la météorologie canadienne. C'est-à-dire, la pluie, la neige, le froids ou même l'exposition au soleil sont tous des facteurs qui pourraient grandement mettre le fonctionnement et la fonctionnalité du simulateur à risque. Vu que simulateur n'est pas fabriqué pour résister à de tels facteurs météorologiques, pour proprement maintenir le prototype, il faut le garder à l'intérieur, à l'abri des éléments et à une température ambiante d'autour 20°C à 25°C.

4.2 Composantes fragiles

Le MDF qui constitue l'extérieur des consoles est assez résistant. Cependant, il faut s'assurer de manipuler les deux boîtes qui forment de simulateur avec délicatesse car les composantes internes sont relativement fragiles. Du côté des périphériques, les boutons peuvent endurer un peu de rudesse de la part de l'utilisateur. Par contre le levier d'accélération n'est pas conçu pour faire des mouvements plus grands que ceux permis par la console. Le levier d'accélération peut se déconnecter de sa manette si il est manipulé avec trop de force. Pour en prendre soins, il faut donc l'utiliser avec délicatesse. Dans l'éventualité où ce levier serait déconnecté, il est quand même simple de le rebrancher à la base, en accédant à l'intérieur de la console par en arrière. Il est important de noter que le trou du levier où la base est connectée n'est pas symétrique: il faut donc avoir la bonne orientation pour le rebrancher.

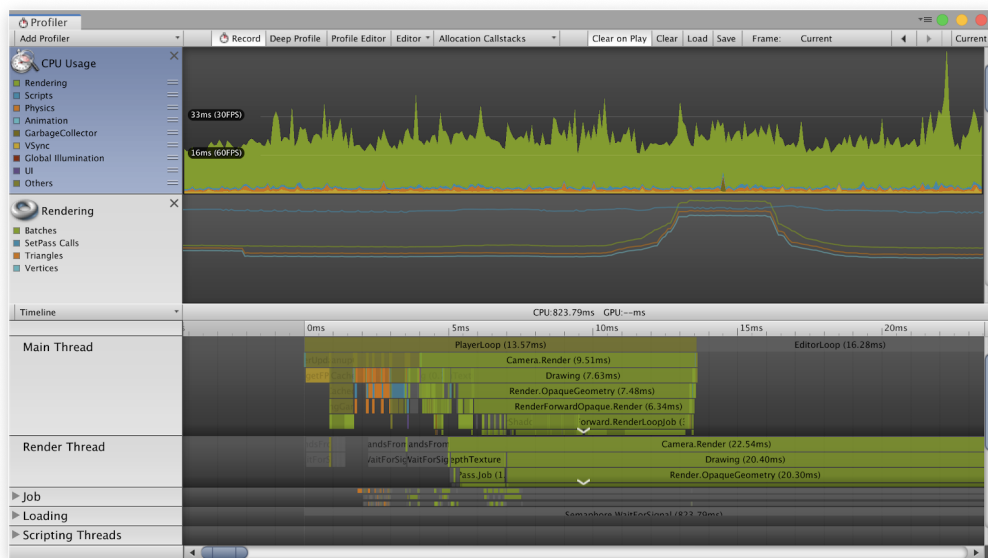
De plus, le potentiomètre attaché à l'extrémité du volant à un angle de rotation maximal de 270°. Donc, le volant peut faire environ 135° vers la gauche ou vers la droite à partir de la position neutre. Pour empêcher les utilisateurs de briser le potentiomètre au bout du volant, il y a un morceau de caoutchouc qui empêche le volant de continuer son mouvement lorsqu'il atteint

l'angle de rotation maximal. Par contre, parfois ce morceau tombe ou perd de la stabilité. Pour remédier à ce problème, ajouter de la colle chaude ou du ruban adhésif sont de bonnes options sécuritaires, rapides et efficace pour garder le simulateur bien fonctionnelle.

Le prototype comporte aussi certaines connexions fragiles qui nécessitent une attention particulière. Pour débiter les fils connectés au dessous de bouton rouge sont fragiles et ont tendance à se déconnecter assez facilement. Lorsqu'ils se débranchent, la fonction du bouton n'est pas compromise, c'est-à-dire qu'il fonctionne encore normalement, cependant la lumière de celui-ci cesse de s'allumer. Pour éviter ce problème, il faut renforcer les connections entre des fils et des composantes/autre fils à l'aide de gaines thermorétractables ou encore de simple ruban électrique adhésif. Du ruban adhésif peut aussi être utilisé pour garder les fils à un angle favorisant une connection électrique, si cela est nécessaire. Une solution plus permanente serait d'entreprendre d'améliorer les soudures faites entre les fils et sur les différentes composantes électroniques afin d'éliminer le problème.

4.3 Pouvoir informatique

Finalement, le prototype final requiert un ordinateur personnel afin de pouvoir exécuter les différents logiciels nécessaires. Pour cette raison, il est important de garder un oeil sur le stress que la simulation exerce sur l'appareil utilisé. Toujours faire sur que l'ordinateur n'est pas dans une position qui le met à risque de surchauffer. Cela peut être atteint en gardant l'ordinateur à jour, et en assurant qu'il ait les composantes internes assez fortes/récentes pour alimenter le logiciel adéquatement. Ci-bas ce trouve un exemple d'une interface permettant de voir l'effort que doivent fournir les différentes parties de l'ordinateur. Les statistiques qui y sont affichés ont été prises durant l'exécution des programmes nécessaires pour la simulation.



5 Conclusions et recommandations pour les travaux futurs

Pour améliorer le prototype final, plusieurs travaux futurs sont nécessaires. Après avoir eu la rétroaction du public et avoir analysé leurs intuitions envers l'utilisation du prototype final, plusieurs éléments du prototype qui étaient assumés intuitifs ne l'étaient pas pour plusieurs membres du public. Premièrement, au début de la simulation, le menu indique la fonction de chaque boutons. Cependant, la majorité des gens ont tendance à ne pas lire, au lieu, ils tentent d'appuyer sur tous les boutons en espérant que la simulation démarre. Pour régler ce problème, il faudrait ajouter des titres autour de chaque boutons qui indiqueraient leur fonction. En plus, il faudrait ajouter des symboles sur les boutons pour qu'ils puissent facilement et rapidement reconnaître la fonction de chaque boutons. Deuxièmement, le levier d'accélération est très fragile en raison de sa petite base qui a une masse peu élevée et du haut centre de gravité du levier. Pour améliorer la robustesse du levier, il faudrait abaisser le centre de gravité et réduire la masse totale du levier pour qu'il soit plus fonctionnel avec la base. Troisièmement, pour rendre le simulateur plus accessible aux utilisateurs avec une déficience de la vue, il faudrait ajouter des indications sonores pour les fonctions du simulateur. Évidemment, ces instructions sonores seraient offertes en français et en anglais pour accommoder la majorité du public canadien. Finalement, la taille des consoles pourrait être diminuée car cela diminuerait la quantité de matériaux requise pour la fabrication des pièces du simulateur et conséquemment, diminuerait le coût total du prototype. De plus, réduire la taille des consoles pourrait rendre le prototype plus facile à manoeuvrer lors de son installation et dans l'éventualité où de la maintenance serait nécessaire.

Pour conclure, lors de ce projet plusieurs leçons ont été apprises. Ces leçons peuvent se résumer au fait que le travail d'équipe requiert plus de planification et de préparation que certains pourraient l'imaginer. De plus, la conception des trois prototypes a permis l'apprentissage aux multiples défis qui viennent avec un projet de conception pour un produit qui doit répondre à des critères spécifiques. Souvent il a fallu avoir des idées originales pour trouver des solutions fonctionnelles tout en respectant les contraintes comme, par exemple, le budget maximal du projet.

APPENDICES

APPENDICE I: Fichiers de conception

Tous les fichiers de conception sont disponibles sur la page MakerRepo du projet, accessible avec le lien suivant: <https://makerepo.com/jdaou067/tracteur-interactif>. Ces fichiers incluent tous les livrables importants rédigés au long du processus de conception, les fichiers nécessaires pour l'impression des pièces 3D et des découpes au laser, ainsi que le fichier pour faire exécuter le logiciel.