

Rapport final - Projet hydroponique

GNG1503A

Faculté de génie

Université d'Ottawa

Hiver 2017

Présenté au professeur: Patrick Dumond

Présenté par:

- Amina Berrada (#8391581)
- Jason Desroches (#8586185)
- Courtney Tower (#8178786)
- Tyler Vallance (#8101001)

Abstract :

Ceci est un document technique décrivant les étapes de conception et le fonctionnement d'un projet hydroponique. C'est un projet qui sert à créer un système pour pousser des légumes et des fines herbes pour les services alimentaires de l'Université d'Ottawa. Le but était de créer un système rentable et simple d'utilisation. Cette conception prend en considération les besoins et les critères des clients, acquis lors de multiples rencontres avec ces derniers. Les prototypes créés permettent d'avoir une rétroaction de notre clientèle et par la suite d'améliorer notre système. La conception finale est aussi présentée.

Table des matières :

Introduction.....	5
Empathiser.....	5
Définir.....	8
Concevoir.....	12
Les événements clés et les dépendances du projet:.....	18
Prototype I.....	20
Prototype II.....	24
Prototype III.....	26
Conclusions et recommandations.....	32
Bibliographie.....	34

Table des figures :

Figure 1: Premier système fonctionnel non choisi.....	12
Figure 2: Deuxième système fonctionnel non choisi.....	13
Figure 3: Système fonctionnel choisi.....	14
Figure 4: Diagramme de Gantt.....	19
Figure 5: Un bassin d'eau idéal.....	21
Figure 6: Un morceau de styromousse idéal, avec les trous.....	21
Figure 7: Les pièces en styromousse du premier prototype.....	23
Figure 8: Plusieurs vues de la pompe Marina.....	25
Figure 9: Plusieurs vues du support en bois.....	27
Figure 10: Système de vérification du Ph.....	28
Figure 11: Les nutriments "Miracle Gro".....	29
Figure 12: Contrôle de la température avec Arduino.....	29
Figure 13: La pompe Tetra.....	31
Figure 14 budget annuel pour le système hydroponique finale.....	32
Figure 15 Flux monétaire nette.....	33
Figure 16 Flux monétaire annuels.....	33

Liste des tableaux:

Tableau 1 : Récapitulatif des énoncés et besoins:	6
Tableau 2: Classification des besoins:	7
Tableau 3: Besoins des clients transformés en critères de conception	8
Tableau 4: Étalonnage - comparaison de 4 systèmes	9
Tableau 5: Spécifications cibles en fonction des critères de conception.....	11
Tableau 6: Comment et à quel point le système choisi répond aux critères de conception	15
Tableau 7: Liste de tâches à accomplir, dans quel ordre et par quel membre	17

Introduction

L'utilisation d'un système hydroponique apporte à l'Université d'Ottawa plusieurs avantages tels que produire des aliments frais, de haute qualité et riches en nutriments toute l'année. Ceci permet aussi de réduire les coûts d'achat d'aliment frais ainsi que la production de gaz à effet de serre causée par une réduction du transport et des possibilités de recherche et d'intégration universitaires, menant alors à une possibilité d'offrir plus de produits biologiques. Les besoins fondamentaux sont la productivité tout au long de l'année scolaire, la rentabilité de production, l'esthétique et une excellente qualité de produit frais. Notre prototype hydroponique n'est pas seulement fonctionnel et rentable mais il représente le concept clé dont l'Université d'Ottawa a besoin. Notre système se démarque par la simplicité et le peu d'entretien nécessaire. En fait c'est un système indépendant ce qui permet à l'Université de varier la manipulation de l'entreposage du produit. De plus, la simplicité permet d'avoir peu de formation pour bien entretenir le système. Pour arriver à ce produit final nous avons dû suivre le principe de conception du design thinking : emphatiser, définir, concevoir, prototypage et essai.

Empathiser

Premièrement, nous avons eu une rencontre avec nos clients. Ils nous ont introduit le problème. Nous avons pu comprendre un peu ce que nos clients recherchent. La première étape était d'écouter leurs énoncés et les transformer en besoins

Tableau 1 : Récapitulatif des énoncés et besoins:

	Énoncé du client	Besoin interprété
Cultiver de la nourriture sur le campus	<ul style="list-style-type: none"> • Produits frais, de haute qualité et riches en nutriments. • Réduction de la production de gaz à effet de serre causée par une réduction du transport. • Possibilité de recherche et d'intégration universitaire. • Possibilité d'offrir plus de produits biologiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bon pour la santé. • Produits de qualité • Minimiser les effets néfastes sur l'environnement. • Diversité des aliments • Participation des étudiants
Défis du jardinage traditionnel	<ul style="list-style-type: none"> • Impossible d'obtenir un accord sur un emplacement. • Travail intensif. • Connaissances intensives • Le calendrier est opposé à l'année scolaire. • La récolte se produit lorsque les produits sont disponibles localement pour un prix bas. • La moisson vient tout à la fois. 	<ul style="list-style-type: none"> • Taille compacte • Système automatisé. • Des compétences techniques minimales. • Opérationnel durant l'année scolaire. • Récolte dans une période différente que les produits locaux. • Consommé tout de suite après la récolte
Avantages de la culture hydroponique	<ul style="list-style-type: none"> • Moins de travail que le jardinage conventionnel. • Possibilité d'être hautement automatisé. • La production se poursuit tout au long de l'année. • Environnement contrôlé pour la sécurité alimentaire. • Production échelonnée 	<ul style="list-style-type: none"> • Peu d'entretien. • Automatique • Production durant l'hiver/l'année scolaire • Contrôlez l'environnement manuellement ou automatiquement. • Rentable

Il fallait ensuite préciser l'importance des besoins. Nous avons contemplé ce que chaque besoin signifiait et comment cela aura un effet sur le fonctionnement du

système. Nous avons établi une échelle de 1 (étant le moins important) allant jusqu'à 5 (étant le plus important)

Tableau 2: Classification des besoins:

Besoins	Importance
Rentabilité: <ul style="list-style-type: none">• Faible besoin en main d'œuvre• Système facile à comprendre• Compatible avec les infrastructures existantes• Minimiser les coûts et l'espace	4
Qualité: <ul style="list-style-type: none">• Cultiver des espèces et des variétés en demande.• Protégé contre la contamination et l'altération• Eco-friendly	5
Esthétique: <ul style="list-style-type: none">• Convivial• Système visible au public	3

Après notre discussion avec le client nous avons pu identifier un ensemble de critères de conception sur lequel nous devons nous baser. Bien que nous avons terminé avec succès l'identification des besoins de nos clients, il s'avère indispensable de les convertir en critères de conception. Ces critères de conception sont basés sur les besoins de nos clients ainsi que l'étalonnage de la compétition. On remarque alors que notre discussion avec le client a eu un impact très important et spécifique sur le développement de nos critères. Nous avons ainsi pu identifier les besoins et les classer de plus important au moins important. De la liste de critères de conception et basé sur l'étalonnage, nous avons pu fixer les spécifications cibles et nous avons pu déterminer les valeurs idéales et acceptables.

Nous avons commencé par transformer les besoins de nos clients en critères de conception. Les critères de conception se définissent comme étant une description précise de ce qu'une solution doit être, basé sur les besoins interprétés.

Définir

Tableau 3: Besoins des clients transformés en critères de conception

NO.	Besoin	Critères de conception
1	Faible besoin en main d'œuvre.	Automatiser Temps réduit pour l'entretien(minutes).
2	Système facile à comprendre.	Instruction simple
3	Compatible avec les infrastructures existantes.	Dimension (pi) Volume (pi ³)
4	Minimiser les coûts et l'espace.	Coût (\$), Dimension (pi)
5	Cultiver des espèces et des variétés en demande.	Nombre de variétés
6	Protégé contre la contamination et l'altération.	Protocole d'entretien : gants, pot, eau, protection
7	Eco-friendly	Biologique (compost, pas de pesticides)
9	Système visible au public.	Forme de l'hydroponique

Il a ensuite fallu déterminer une liste d'exigences fonctionnelles, non-fonctionnelles ainsi que de contraintes. Les exigences fonctionnelles ont un effet sur la fonction du système, tandis que les non-fonctionnelles en ont pas. Les contraintes sont un ensemble de considérations importantes qui doivent être prises en compte dans la conception

- Exigences fonctionnelles
 - Automatisation
 - Forme de l'hydroponique
 - Temps réduit pour entretien (minutes).
 - Biologique (compost, non-pesticide)
 - Système d'irrigation
 - Système d'éclairage
- Contraintes
 - Dimension, Volume (l x L x h (pi))
 - Coût (\$)
 - Quantité de récolte, volume (Kg) ou nombre de plantes

- Condition d'opérations: température (oC), quantité de soleil (temps), quantité d'eau (L).
- Exigences non fonctionnelles
 - Esthétique
 - Durée de vie (années)
 - Instruction simple
 - Protocole d'entretien: gant, pot, eau.
 - Fiabilité

Il était nécessaire pour nous de faire l'étalonnage. L'étalonnage peut être fait par rapport aux perceptions des clients ou par rapport au rendement du système. On doit pouvoir apprendre de notre compétition. On devait comparer les systèmes déjà existants sur le marché, pour voir ce qui fonctionne bien. On avait aussi besoin d'avoir une bonne idée du fonctionnement et des critères de conception de ces systèmes. Nous avons comparé 4 systèmes, de compagnies différentes. Nous avons ensuite choisi les meilleures qualités en les identifiant avec une couleur.

Tableau 4: Étalonnage - comparaison de 4 systèmes

Système hydroponique /Spécifications	Pack complet - Culture hydroponique - 600w LUXE	Système hydroponique Platinum HydroStar 60	SuperPonics 16 Hydroponique Grow System	6-Site Bubble Flow Buckets Hydroponic Grow System
Compagnie	Le petit hydroculteur	Platinum Hydroponiques	Super Closet	Super Closet
Coût	269.10€ (377.99\$)	85.5€ (120\$)	349.99- 399.99(\$)	995.00 (\$)
Montage		Facile	Déjà fait	Facile
Dimensions	-	60 x 60 x 39 cm	16 pots de 7.62cm de diamètre.	6 pots de 25cm de diamètre

Récolte	1 à 2 mètres carrés	6 plantes	16 plantes	6 plantes (Jusqu'à la grandeur des petits arbres, non seulement des légumes etc.)
Système d'éclairage	1 lampe complète 600w	-	HID light	HID light
Capacité	12 cubes	6 pots	-	5 gallons par pot
Vérification du Ph	Oui	Non	oui	Oui
TDS (Total dissolved solides)	non	non	oui	oui
Automatisation	Oui, 1 programmateur digital	Non	Oui, utilise un système de minuterie	Oui
Nutriments	Oui- inclus	No-inclus	Oui- inclus	Oui- inclus
Irrigation	Pompe (axe céramique)	Inclus	Pompe - 185 gallons/h	Eco series water pump

Pour les spécifications cibles, il faut déterminer des valeurs idéales et des valeurs acceptables. Ces spécifications ont souvent une valeur numérique.

Tableau 5: Spécifications cibles en fonction des critères de conception.

Critères de conception	Relation (< ,< ,=)	Valeur	Unités	Méthode de vérification
• Exigences fonctionnelles				
Automatisation	=	Oui	-	Analyse
Temps réduit pour entretien	<	15	Heures/semaine	Essai
Biologique/nutriments	=	Oui	-	Analyse
Système d'irrigation	=	Pompe		Essai
Éclairage	=	Oui	-	Essai
• Contraintes				
Le coût	<	300	\$	Estimation
Dimensions	<	10	Cm de diamètre	Analyse
Quantité de récolte	=	5	Plantes	Estimation - essai
Vérification du Ph	=	Oui	-	Analyse et essai
• Exigences non fonctionnelles				
Temps de montage	<	2	Heures	Essai
Esthétique	=	Oui	-	Analyse
Durée de vie	>	5	Ans	Essai
Fiabilisé	=	Oui	-	Essai

Concevoir

Après avoir défini les critères de conception pour notre système hydroponique, il est temps de développer un ensemble de concepts préliminaires basé sur l'étalonnage et les spécifications cibles déjà établis. Un ensemble d'esquisses détaillées ont été fait pour chaque sous-système nécessaire au bon fonctionnement d'une unité hydroponique, tout en respectant les besoins des clients. Trois systèmes fonctionnels ont ainsi été développés, et un seul modèle potentiel a été choisi. Les trois systèmes fonctionnels qui n'ont pas été choisis sont:

Figure 1: Premier système fonctionnel non choisi

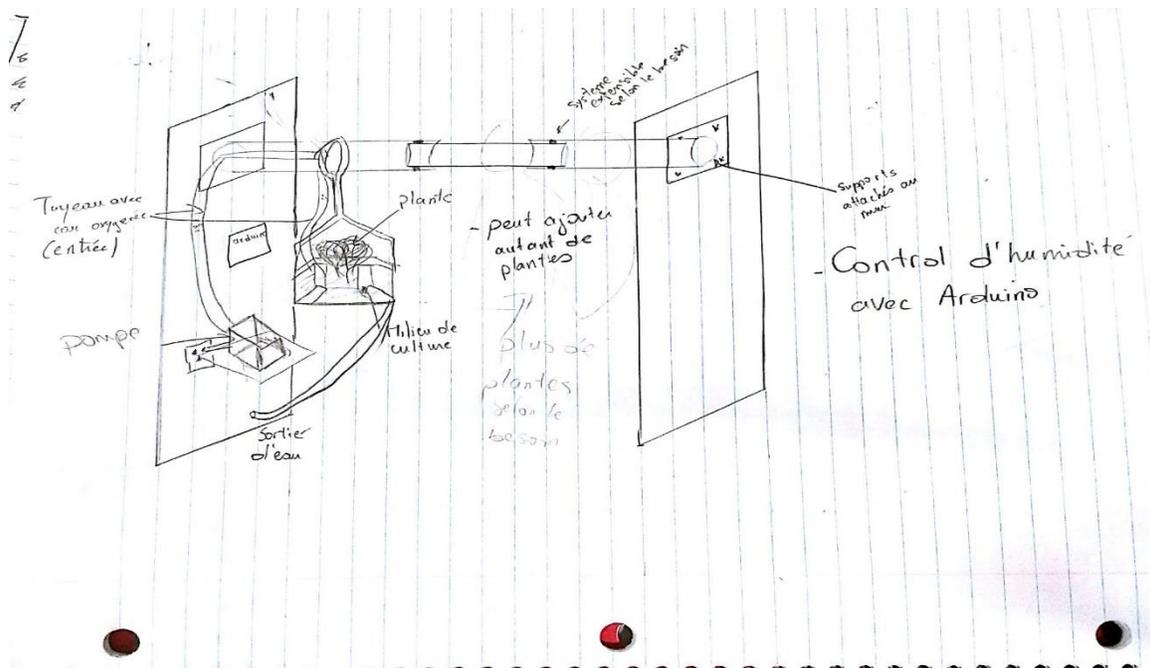
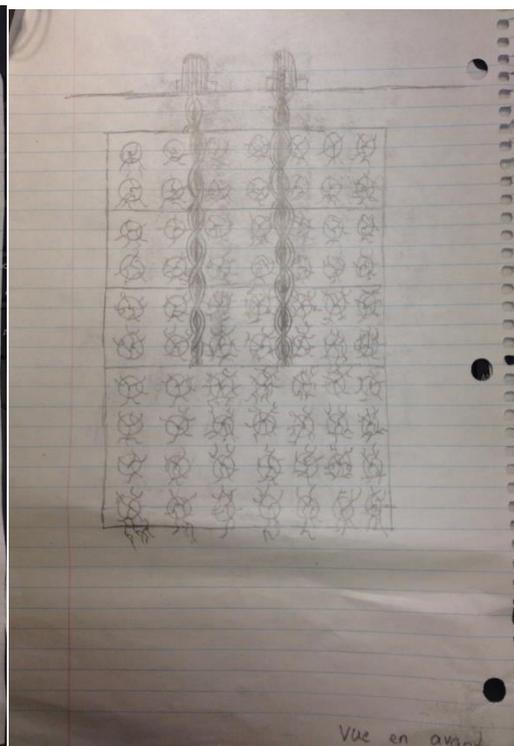
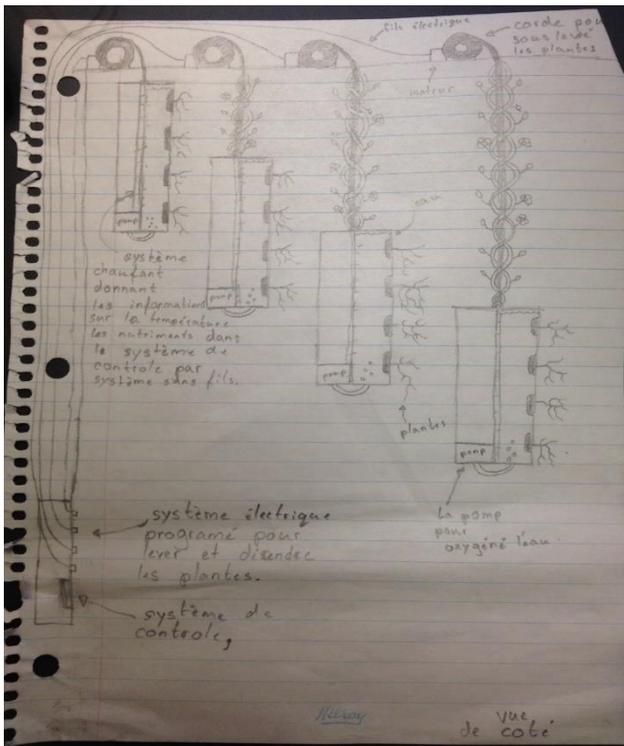
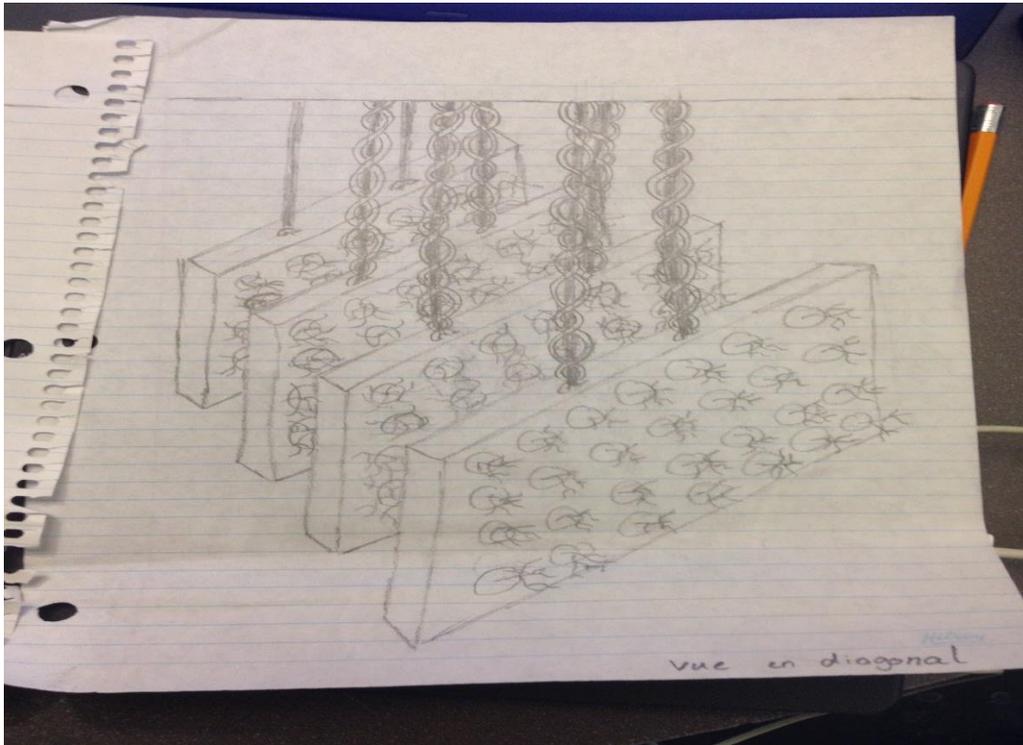
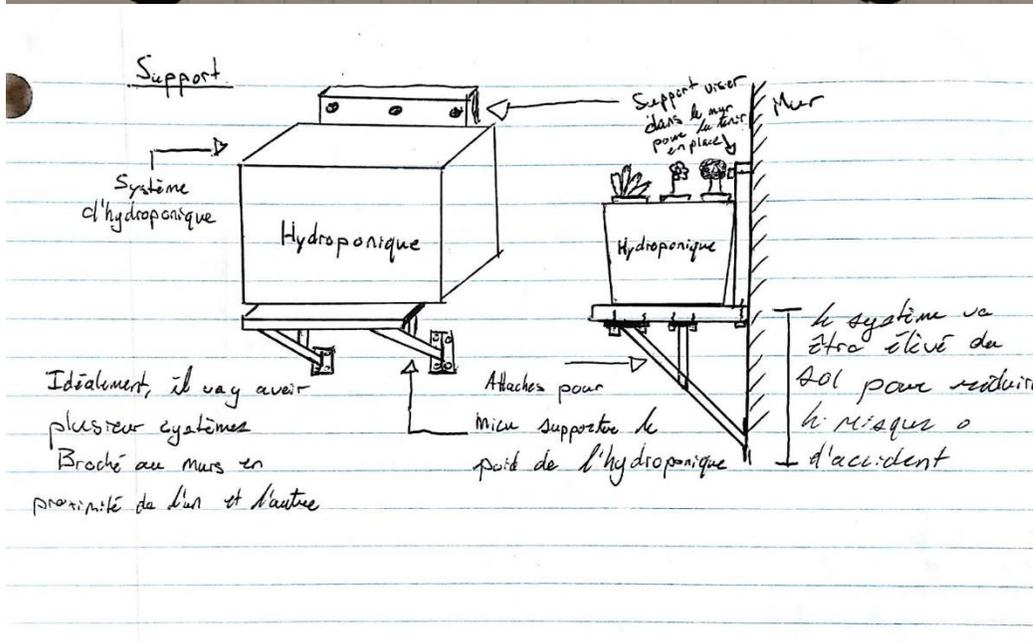
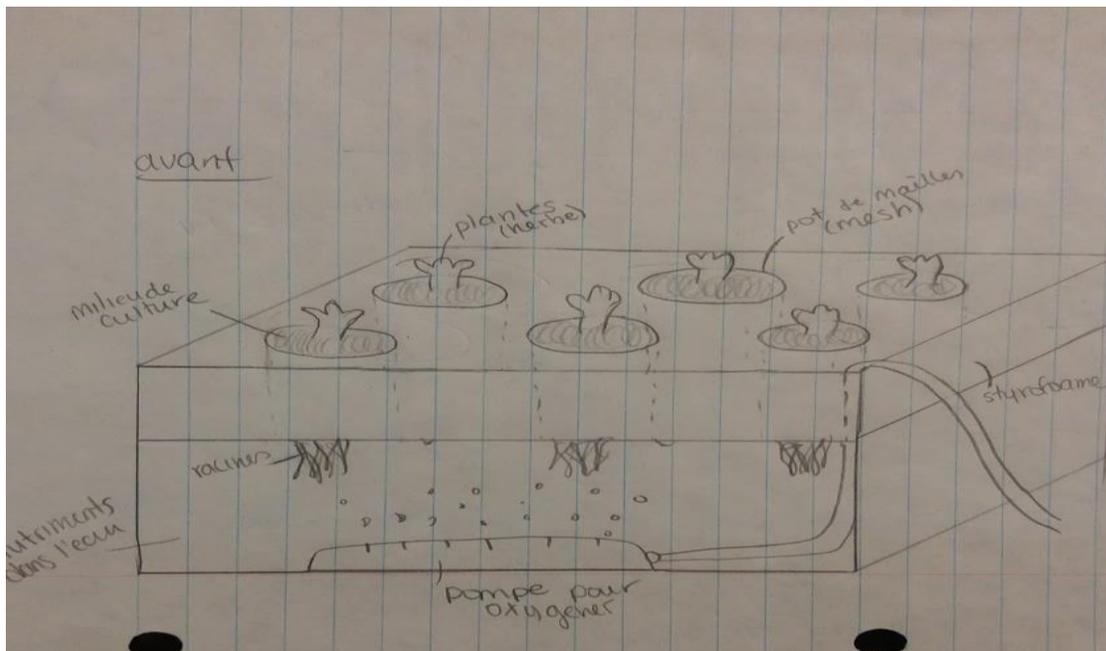


Figure 2: Deuxième système fonctionnel non choisi



Ces deux systèmes respectaient les besoins du client, et ils avaient plusieurs avantages. Par exemple, le premier maximisait l'espace et est très esthétiquement plaisant, tandis que le deuxième maximisait la production et le profit. Par contre, ces deux systèmes étaient trop difficiles à bâtir pour le budget de 100\$. Ils auraient aussi nécessité plus de temps que ce qui nous était alloué pour le projet. Pour ces raisons, nous avons opté pour une conception beaucoup plus simple:

Figure 3: Système fonctionnel choisi



Nous avons vérifié si cette conception répondant à ce que nos clients recherchaient. Pour bien faire cela, il est utile de faire un tableau

Tableau 6: Comment et à quel point le système choisi répond aux critères de conception

Critère de conception	Respecté (échelle 1-5)	Pourquoi/Comment
Automatiser Temps réduit pour l'entretien(minutes).	4	<ul style="list-style-type: none"> • Pompe fonctionne automatiquement • Une personne doit vérifier le pH hebdomadairement • Doit vérifier les TDS une fois aux deux semaines environ • Doit vérifier la température à tous les jours • Doit ajouter des nutriments (Voir plus bas) • Doit vérifier le fonctionnement de chaque pièce pour s'assurer qu'il n'y a pas de brisures <p>Ceci n'est pas automatisé à 100%, mais nécessite très peu de main d'œuvre-seulement 15-30 minutes par jour, donc maximum de 3 heures par semaine</p>
Instruction simple	4	<ul style="list-style-type: none"> • Très peu de formation <p>Le système est très facile à comprendre, il suffit d'expliquer aux gens responsables comment mesurer le pH et les TDS(concepts simples à comprendre).</p>
Dimension (pi) Volume (pi³)	5	<ul style="list-style-type: none"> • On peut avoir environ 6 plantes pour 20L d'eau • On peut varier la grandeur et la forme du réservoir en fonction de nos besoins une fois le lieu connu <p>Le système est assez petit, et donc facile à bouger, et entreposer si nécessaire</p>

Coût (\$), Dimension (pi)	4	<ul style="list-style-type: none"> • Les matériaux sont peu coûteux • La dimension est raisonnable donc le coût va rester bas <p>On pense utiliser des “wood shavings” en tant que milieu de culture, un réservoir en plastique, une pompe d’aquarium.</p>
Nombre de variétés	3	<ul style="list-style-type: none"> • On peut certainement faire pousser des herbes. • Possibilité de pousser des “leafy greens” <p>On pense se concentrer plus sur le basilic, la menthe ou la ciboulette. Ceci a mérité seulement un 3 car on aurait plus de difficulté à faire pousser des fruits ou des choses plus grandes</p>
Protocole d’entretien : gants, pot, eau, protection	4	<ul style="list-style-type: none"> • Si la vérification est bien faite il n’y aura pas de contamination • Le système est suspendu donc le public ne peut pas le corrompre <p>Le système est bien protégé contre toute sorte de contamination, soit organique ou inorganique. Comme avec n’importe quel système, il y a des risques de bactéries ou d’algues mais les vérifications préviennent cela.</p>
Biologique (compost, pas de pesticides)	3	<ul style="list-style-type: none"> • Le milieu de culture n’est pas tout à fait organique (i.e. on ne peut pas utiliser le compost ou quoi que ce soit) • Les nutriments sont relativement organiques <p>Le système est construit avec des matériaux, mais il n’y pas d’effets néfastes directs sur l’environnement. Il y a possibilité de prendre les plantes localement.</p>

Rendu à ce point, il était déjà possible de penser à l’entretien de notre système. Nous avons pu établir quelques concepts de base.

pH - Le pH est la mesure de l’acidité dans l’eau. Les plantes poussent mieux dans l’eau qui a un pH entre 5.5-6.2, et il ne doit pas dépasser 6.5 ou aller en bas de 5.5, sinon cela peut endommager les plants. On peut tester le pH avec des bandes qui changent de couleur pour indiquer le niveau de pH.

Nutriments - Les plantes nécessitent plusieurs nutriments, comme l'azote, phosphore, potassium, magnésium, calcium, soufre, manganèse, fer etc. On peut utiliser quelque chose comme "Miracle-Gro", ou une autre formule similaire. On utilise souvent un système "50%", c'est à dire qu'une fois qu'on a rempli le réservoir avec une quantité d'eau qui est équivalente à la moitié de sa capacité, on ajoute notre solution de nutriments. C'est aux quelques jours, mais cela va dépendre des plantes et de la quantité d'eau qu'on a. Il existe aussi des solutions de nutriments qui sont faits spécialement pour les systèmes hydroponiques, mais rendu là c'est une question de quantité et de coût.

Température - 18-24 C, il faut faire attention car plus c'est chaud plus il y a de risques de bactéries et d'algues.

Puisque nous avons identifié un design final pour notre projet, il était temps de faire un calendrier. Nous avons commencé en faisant la liste de tâches et l'ordre de précedence. Il était ensuite possible de séparer ces tâches équitablement entre les membres de l'équipe. Nous avons pu aussi estimé le temps qu'il faudra pour compléter chaque tâche.

Tableau 7: Liste de tâches à accomplir, dans quel ordre et par quel membre

No. de tâche	Description de tâche	Estimation de la durée (Jours)	Responsable	Dépend sur les no. de tâches:
1	Générer les idées pour la surface de l'hydroponique	1	Oumayma	--
2	Générer les idées pour le système de pompe	1	Courtney	--
3	Complété la conception préliminaire (3 idées)	-	Amina, Tyler	1,2
4	Créer un diagramme Gantt	2	Amina	1
5	Prototype I	4	Tous	5

6	Définir les besoins de productions	1	Jason	1,2
7	Analyser le volume nécessaire de la boîte	1	Jason	6
8	Analyser la pompe nécessaire	1	Tyler	7
9	Prototype II (système de pompe)	5	Tous	5,6,7,8,9,10
10	Analyser la force de l'étagère minimale	1	Amina	9
11	Définir les matériaux de l'étagère	1	Oumayma	10
12	Créer une liste de matériaux	1	Courtney	3,11
13	Acheter les matériaux	2	Courtney, Jason	12
14	Générer les idées pour l'emplacement de la pompe	1	Tyler	12
15	Créer le prototype III	7	Tous	9,13,14
16	Analyser l'entretien	1	Oumayma	15

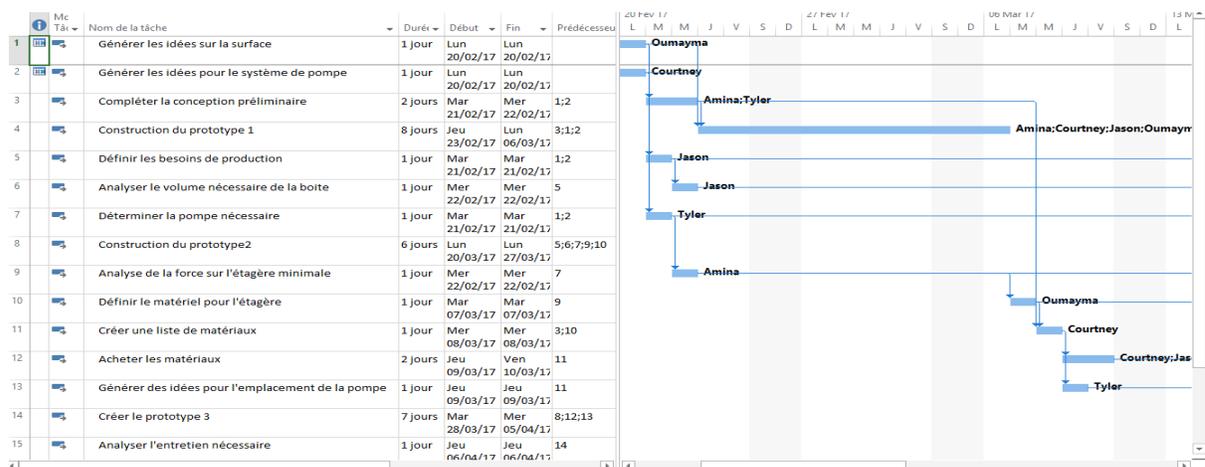
Les événements clés et les dépendances du projet:

- L'assemblage dépend de l'achat des matériaux
- L'achat des matériaux dépend de l'accord du TA pour le budget

- La création du budget dépend de l'analyse des esquisses et le choix des matériaux
- Le calendrier dépend du choix des tâches et des gens responsables
- Livrable du prototype 1
- Livrable du prototype 2
- Livrable du prototype 3

Comme nous avons vu en cours, il est très utile d'utiliser un diagramme de Gantt pour avoir une bonne visualisation de notre emploi du temps. Nous pouvons facilement voir la dépendance des tâches. Ceci nous permet de vérifier quelle personne doit faire quelle tâche, et pour quelle date. Il existe d'autres solutions pour organiser l'emploi du temps, mais nous avons préféré le diagramme de Gantt. On peut facilement le créer en utilisant Microsoft Project, ainsi que nos connaissances acquises en cours et aux laboratoires. Le nombre de jours alloué pour chaque tâche est raisonnable. Nous avons basé nos décisions sur l'observation de notre efficacité en tant qu'équipe. Ceci ressemble beaucoup à un « pire des cas » situation, car nous avons espéré pouvoir tout accomplir en moins longtemps.

Figure 4: Diagramme de Gantt



Ensuite, nous avons fait une estimation du prix de chaque composante, pour ensuite planifier notre budget. Nous avons dû choisir des composantes qui respectaient le budget, tout en étant le plus durable et efficace possible.

- Lampe UV - environ 35\$ - Pet Smart
- Pompe à aquarium - environ 30\$ - Walmart
- Pots - environ 5\$ - Walmart
- Copeaux de bois - environ 3\$ - Bulkbarn
- Plantes - environ 6\$ - Loblaws

Ce qui nous donne environ 20\$ pour les imprévus, les changements de prix ou des bris dans les matériaux. Nos prix sont justifiés par de la recherche. Nous avons été sur les sites web de plusieurs fournisseurs pour comparer les prix. Il

fallait non seulement viser le prix le plus bas, mais en même temps une bonne qualité. Nous avons trouvé que même si on n'associe pas toujours les produits Walmart avec une grande qualité, cette pompe recevait toujours de très bons commentaires. Nous avons visité plusieurs magasins pour trouver les meilleurs prix pour notre budget. Par exemple, nous avons regardé les prix des lampes au Pet Value et au Pet Smart. Nous avons pu aussi économiser de l'argent en utilisant des composantes qu'on avait déjà, par exemple le bac en plastique. Aussi, nous avons réalisé que prendre les herbes au Loblaws était beaucoup plus économique que les prendre dans un magasin spécialisé en plantes. Par la suite nous avons acheté progressivement les matériaux mentionnés ci-haut. En même temps, le premier prototype suivait.

Prototype I

Ce prototype doit être fait à partir de matériaux peu coûteux, comme des objets communs qu'on trouve à la maison. Nous avons choisi de bâtir le sous-système du bassin d'eau. Ce bassin est en tant que telle très simple, c'est uniquement pour contenir l'eau. Les détails importants sont dans le support pour les plantes, ce qui fait aussi partie du prototype. Notre schéma idéal pour le prototype se définit comme suit:

Une boîte en plastique d'environ 50 cm de long, 35 cm de large et 25 cm de profondeur. Un total de 6 trous va être fait dans le styrofoam qui va servir de base aux pots pour les plantes, mais seulement 5 vont être utilisés. Le dernier trou va nous permettre de mesurer les variables comme la température de l'eau et le pH. À ce niveau, nous avons pensé que les trous seront entre 7 et 10 cm de diamètre, selon la disponibilité des pots qu'on allait acheter plus tard.

Le volume total de la boîte va être de $43.75 \times 103 \text{ cm}^3$

$\frac{2}{3}$ du contenant va être rempli d'eau, ce qui nous donne un volume d'eau de $29.16 \times 103 \text{ cm}^3 = 29.16 \text{ L}$

Le styrofoam va avoir une épaisseur 2.5 cm de afin de garantir la stabilité des plantes.

Ici, les critères d'arrêt sont un peu moins nombreux que pour les autres prototypes, car le sous-système demeure relativement simple. Un critère était de voir jusqu'à quel poids le styromousse peut supporter. Cette information est importante pour savoir quel type de plante nous pouvons produire. Lors de la construction du premier prototype, nous n'étions pas encore certains si nous voulions produire des laitues ou des fines herbes. Des laitues auront été plus pesantes, donc c'était important de vérifier ce critère d'arrêt. Nous avons vérifié en faisant des essais. Nous avons suivi le protocole pour les essais qui se trouve dans les notes de cours.

Figure 5: Un bassin d'eau idéal

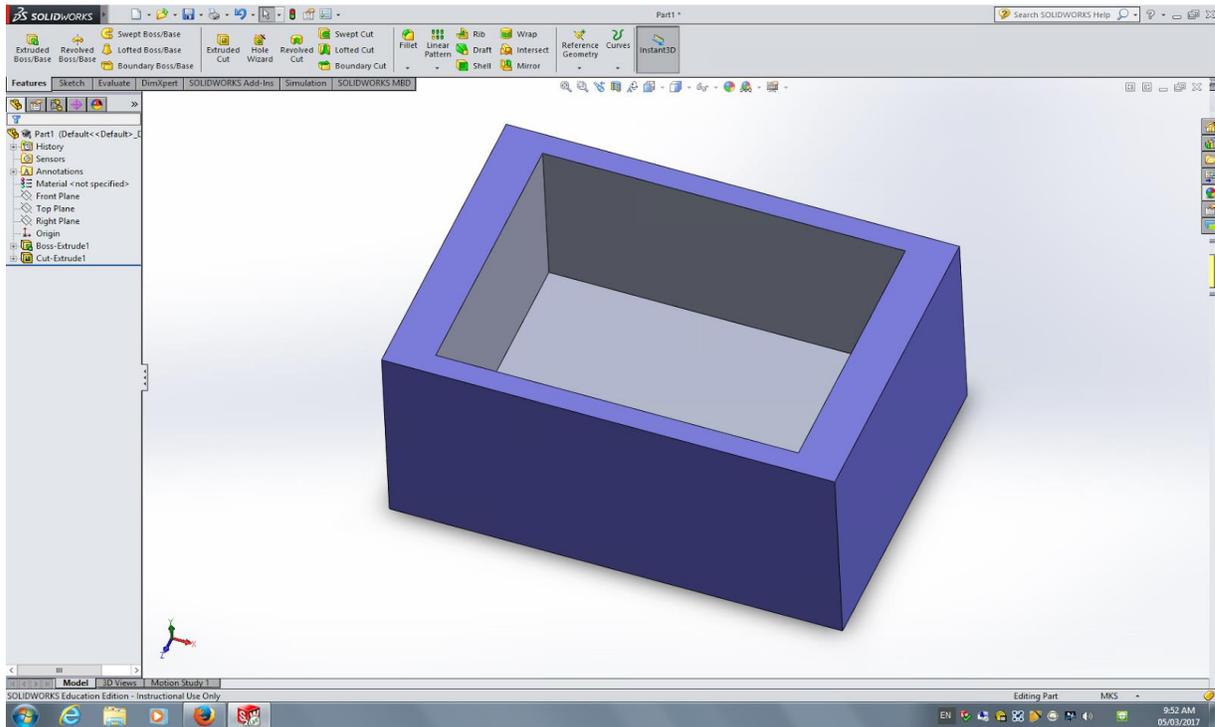
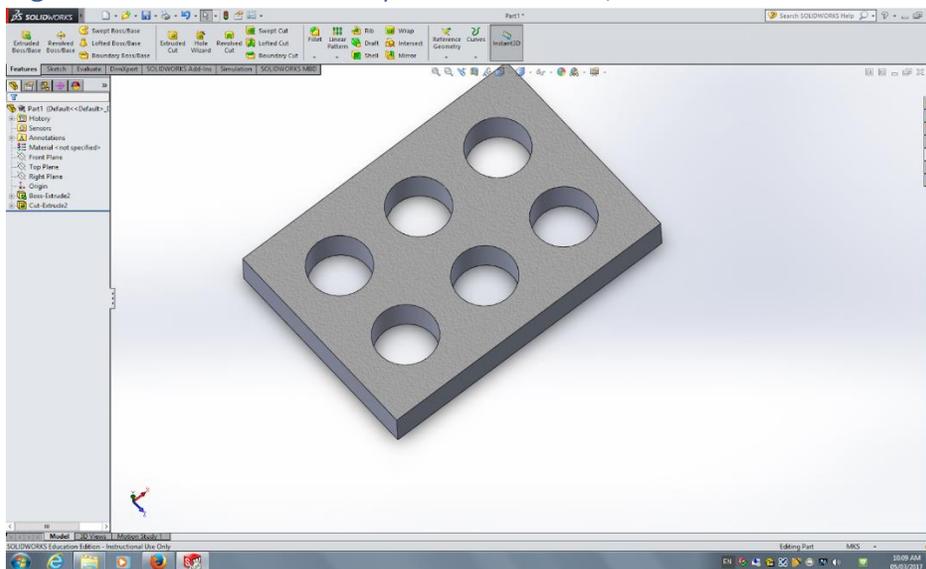


Figure 6: Un morceau de styromousse idéal, avec les trous



Le prototype I a permis de clarifier l'aspect physique et la communication du produit. En fait, l'objectif était d'avoir une vision plus claire du modèle de système hydroponique. De plus, cela nous a donné une meilleure idée sur l'aspect physique et analytique du système. Ceci nous a permis d'en apprendre mieux

sur les contraintes physiques de notre modèle et diminuer le risque lié à l'entreposage. L'un des objectifs spécifiques de l'essai était d'avoir une idée plus claire sur la dimension qui nous permet de définir la capacité de production et le système de pompe nécessaire pour ce système. Ceci nous a donné ainsi de l'information sur le volume, le nombre de plantes qui peuvent être produit et la quantité d'eau possible. Le volume d'eau nécessaire pour soutenir la survie des plantes était un autre de nos critères d'arrêt. Le type de résultats possible dépend des matériaux disponibles sur le marché avec le budget. Les résultats nous ont aidé à prendre des décisions sur le type de pompe nécessaire ainsi que sur quel produit végétal nous pouvons produire. De plus, les résultats nous ont aidé à choisir un concept pour un système automatique de pompage. Les étapes de construction pour ce premier prototype étaient:

- Mesurer les dimensions de la boîte en plastique
- Une esquisse sur le styrofoam des dimensions
- Coupé le contour du styrofoam pour qui rentre parfaitement dans la boîte de plastique
- Coupé les cercles pour les pots, après les avoir mesurer et dessiner au crayon feutre.
- Prendre un cercle et coller un cube de styrofoam pour pouvoir le retirer pour les analyses.

Pour le prototype réel, nous avons utilisé un contenant en plastique durable, pour éventuellement contenir l'eau. La partie en styromousse supporte les pots et les plantes. Nous avons choisi cette épaisseur de styrofoam car c'est assez épais pour bien supporter le tout, sans dommages. Le trou qui est bouché sert de façon à ajouter des nutriments et tester le pH de l'eau. Au lieu d'enlever toutes les plantes et toute la base en styrofoam, il suffit uniquement d'enlever le couvercle. Il existe même une poignée pour faciliter l'utilisation.

Figure 7: Les pièces en styromousse du premier prototype



Nous avons essayé de faire un prototype réel qui sera très proche de notre analyse idéale. Il a une longueur de 57.5 cm, largeur de 42 cm et profondeur de 39 cm. Le volume total est de $94.2 * 103\text{cm}^3$, ainsi que le volume de l'eau sera: 62 L

Par la suite, nous avons présenté notre premier prototype à des clients potentiels. Nous avons demandé à une mère au foyer intéressée par notre projet hydroponique pour faire pousser ses propres fines herbes.

- Ce système est esthétiquement acceptable mais pourrait être amélioré. Il est facile à utiliser, ne demande pas beaucoup de main d'œuvre et de temps. Le prix est raisonnable.
- La hauteur semble grande pour des fines herbes, mais il serait très utile de pouvoir avoir une plus grande quantité d'eau pour produire des légumes.
- Le dernier trou pour l'analyse est pratique et évite de déplacer toutes les plantes à chaque fois.
- La grandeur reste plus au moins raisonnable mais pourrait être encombrante dans certains cas.

Prototype II

Après la création de notre premier prototype, et avec la rétroaction de notre client, il est maintenant le temps de créer le deuxième prototype. Encore, le prototype II est uniquement un sous-système, et non le système complet. Celui-ci est le sous-système le plus critique de notre design, la pompe. La pompe va faire circuler de l'oxygène et les aliments dans l'eau, pour bonifier la croissance des plantes et augmenter les récoltes. De plus, avec la circulation d'eau de la pompe, le risque de champignons et d'autres développements indésirables baissent significativement. Par contre, c'est probablement le sous-système le plus complexe et cher, et nous ne pouvons pas le créer de nous-même.

Nous avons acheté la pompe "Marina air pump" de la compagnie Marina chez Walmart. Cette pompe fonctionne bien pour une quantité d'eau entre 10 et 30 gallons, donc entre 37.8L à 113.5L, ce qui dépasse un peu nos besoins actuels, mais pourrait être utile si on décide d'agrandir le prototype.

Pour les dimensions de la pompe :

- Largeur de 6.4 in (16.2 cm)
- Longueur de 2.9 in (7.3cm)
- Hauteur de 4.2 in (10.6cm)
- Le poids est de 1 lb (0.45 kg) .

Ces paramètres nous semblaient raisonnables et satisfont aux critères de conception définis plus tôt durant le projet. Les critères d'arrêt pour la pompe sont la capacité à filtrer l'eau et avoir une bonne oxygénation. Dans ce cas, c'est impossible pour nous de tester pour voir combien de temps la pompe peut fonctionner sans s'arrêter ou se briser. Pour ce critère d'arrêt, nous nous sommes donc basés sur deux choses. Premièrement, notre recherche nous a démontré que la plupart des gens utilisent ces pompes pour plusieurs années, il y a même quelqu'un sur le site de Walmart qui dit avoir une pompe similaire depuis 10 ans. Deuxièmement, un des membres de notre équipe avait des poissons à la maison pendant longtemps. Elle nous a assuré qu'elle avait une pompe de la même marque et elle l'a utilisée pendant 6 ans sans arrêt, et qu'elle est encore fonctionnelle.

Figure 8: Plusieurs vues de la pompe Marina



L'un des objectifs spécifiques de l'essai est d'expérimenter la pompe. En fait, le résultat nous permettra d'observer et analyser l'entretien qui sera requis. De plus, un autre objectif est d'analyser si la position de la pompe change le résultat. Ceci nous permet d'obtenir un résultat analytique et physique du mécanisme. Les résultats nous donnent des informations sur le fonctionnement du système de pompage, l'entretien requis et la manipulation du système pour créer un système final efficace et esthétiquement plaisant.

Par la suite, nous avons encore demandé l'avis de plusieurs clients potentiels.

Voilà ce que nous avons recueilli comme commentaires :

- Les dimensions et le poids de la pompe utilisés sont bien efficaces pour la faisabilité du système
- Ce système est facile à utiliser, ne demande pas beaucoup de main d'œuvre et nécessite un peu d'entretien
- La pompe utilisée est suffisamment puissante pour apporter l'oxygène nécessaire à la pousse des plantes

La plupart des clients nous ont dit qu'ils préfèrent une pompe qui peut être submergée directement dans l'eau. Celle-là ne peut pas l'être, elle doit être à l'extérieur et attachée avec des tubes. Nous avons considéré que les commentaires de nos clients étaient très vrais, et nous avons donc retourné cette pompe et pour en prendre une qui peut être mise directement dans le bassin

d'eau. Pour les autres rétroactions de nos clients, ils avaient des bons commentaires, comme par exemple :

- La pompe a une bonne taille
- La pompe a un bon poids
- Elle est silencieuse

En mettant la pompe à l'intérieur, nous pouvons grandement améliorer l'esthétique de notre système. Les équipements externes de la pompe enlevaient un peu du côté esthétique de ce produit. Les clients ont mentionné que ceci était important pour eux, donc nous avons pris des mesures pour améliorer cette situation lors du prochain prototype.

Prototype III

Le troisième prototype était celui du support. Le support est fait de bois, simple à construire, et stable. Il a comme tâche de tenir nos deux autres prototypes, pour nous permettre de les visser au mur et maximiser notre espace, tout en s'assurant de la sécurité du système.

Le support peut être facilement visé dans un mur, à n'importe quelle hauteur voulue. On peut le bouger facilement, et l'entreposer sans problèmes. Le petit rebord au-devant protège ce qui est sur le support. Le système ne pourra pas glisser en bas du support grâce à cela. Il est fait à base de bois contre-plaqué. Il y avait plusieurs avantages à choisir ce type de bois. C'est un bois qui peut être très fort et résistant, tout en restant mince et facile à transporter. C'est une sorte de bois fait en couches, donc la stabilité est très grande. Dû au fait que c'est un produit manufacturé, c'est aussi moins coûteux. Il est plus flexible que la plupart des sortes de bois. La construction du support était très simple. La partie triangulaire du devant ajoute au côté esthétique et de la stabilité. Il y a encore plusieurs options pour ce prototype. C'est possible de le peindre ou décorer en fonction des besoins et demandes de nos clients. Nos essais nous ont prouvé que le support était en fait bien construit. Il a pu soutenir l'entièreté du système sans briser ou s'effondre.

Figure 9: Plusieurs vues du support en bois



Vue de côté

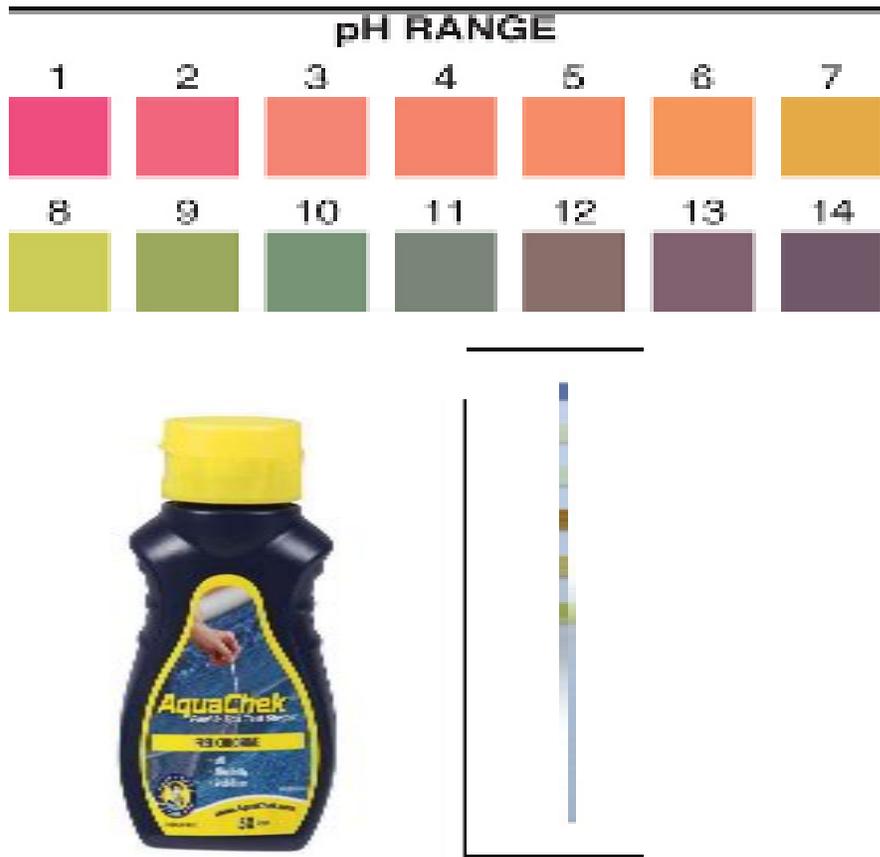


Vue d'en dessous

Notre système inclut aussi une façon de vérifier le pH. Pour pouvoir s'assurer que l'eau a un bon pH, il suffit de tremper le bâton dans l'eau, et par la suite attendre environ 5 secondes et vérifier la couleur du bâton sur la fiche de référence. C'est la façon la plus simple et peu coûteuse de vérifier le pH. Un bon niveau de pH est important pour la survie des plantes, si l'eau devient trop acide ou basique il va rapidement avoir des problèmes. On suggère un niveau entre 6.7-7.7. Notre vérification d'essai fut réussi, et nous avons même pu faire une démonstration lors de la présentation finale en cours.

Nous allons imprimer et coller une feuille pour comparer le ph sur la boîte en plastique pour faciliter l'entretien comme celle-ci:

Figure 10: Système de vérification du Ph



Pour les nutriments, il y a plusieurs options. Il existe beaucoup de différents types de nutriments sur le marché. Nous avons choisi de commencer avec un système "Miracle Gro"

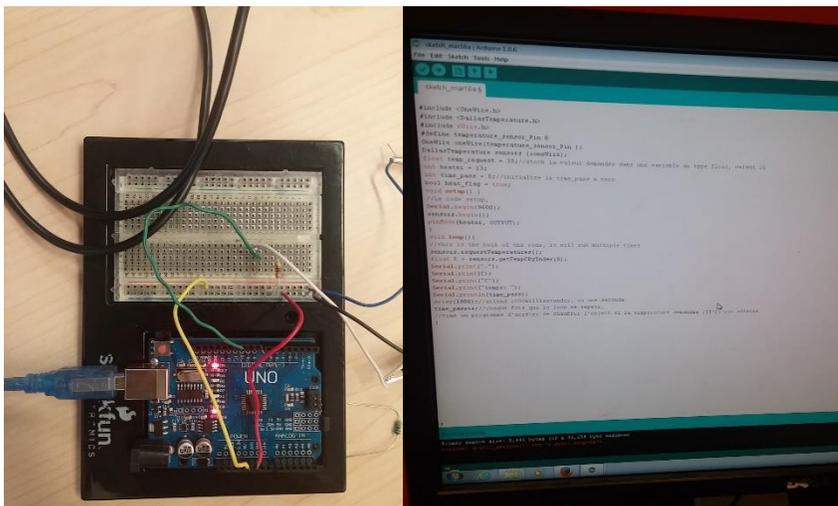
Ce sont des nutriments qui sont efficaces pour toutes sortes de plantes, ce qui nous laisse une grande liberté sur le choix de nos légumes. On pourra donc varier selon les changements des besoins des clients avec le temps, s'il y en a. C'est facile d'utilisation, il suffit de rajouter quelques cuillerées à table. On utilise souvent un système "50%", c'est à dire qu'une fois qu'on a rempli le réservoir avec une quantité d'eau qui est équivalente à la moitié de sa capacité, on ajoute notre solution de nutriments.

Figure 11: Les nutriments “Miracle Gro”



Nos clients s'inquiétaient un peu de l'automatisation du système. Nous avons donc décidé d'intégrer un système de contrôle de température en utilisant Arduino. Voici le circuit et le code utilisé:

Figure 12: Contrôle de la température avec Arduino



Le prototype III représente l'aspect d'entreposage et l'optimisation avec le control des paramètres. En fait, l'objectif est d'obtenir un résultat où l'eau est chauffée à une température de 20 C lorsque le logiciel détermine que la température est trop basse ainsi que l'entreposage pour maximiser l'accessibilité et l'espace. Il est important d'avoir un bon contrôle sur la température, car si elle devient trop haute, il y a un plus grand risque de formation de bactéries et d'algues. C'est deux choses qui sont très néfastes pour non seulement les plantes, mais aussi pour la santé et la sécurité. Malheureusement, nous n'avons pas reçu le Arduino à temps pour l'essayer avec notre système. Nous avons commandé de Amazon, car habituellement ils offrent un service de livraison rapide. Par contre, nous sommes certains que le code fonctionne, car nous avons utilisé quelque chose de similaire en laboratoire. Nous avons bien compris le langage de programmation, donc il n'y a pas eu de problèmes à ce niveau-là. De plus, le prototype III donne une représentation complète du produit. Ceci nous permet d'expérimenter le produit général s'il y est fonctionnel.

Nous avons parlé avec une famille qui serait intéressée à faire pousser leurs propres légumes et herbes. Ils ont des jeunes enfants et un chien, donc le système doit être protégé contre ces dangers. Voici ce qu'ils en pensent:

- "J'aime bien l'idée du support. Je pourrais accrocher le système à une hauteur qui ne serait pas accessible par mes enfants et animaux"
- "Le rebord est très important. Oui, je ne voudrais pas que le système se brise en tombant, mais je m'inquiète encore plus au sujet de s'il tombe sur un membre de la famille qui se promène à proximité"
- "J'aime l'automatisation de la température, c'est simple à comprendre et c'est efficace"
- "Je voudrais voir les autres sortes de nutriments qui existent pour ces systèmes, j'ai utilisé celui-là dans le passé et je n'étais pas totalement satisfait avec les résultats"
- "De façon globale, j'aime le concept pour le système. Vous avez tout considéré, comme par exemple le pH et la température. Le système est aussi esthétiquement plaisant"

Nous avons aussi changé notre pompe. Nous avons décidé de prendre la pompe Whisper de la marque Tetra. Cette pompe permet d'oxygéner la même quantité d'eau que la dernière, mais cette fois elle peut s'accrocher sur le bord du bassin d'eau et être dans l'eau. Elle est très silencieuse.

Figure 13: La pompe Tetra



Conclusions et recommandations

Pour la rentabilité nous suggérons la production de laitue et d'herbes. En fait, la production par système hydroponique est favorable pour ces aliments car il est facile de créer un environnement parfait de 20C avec une humidité de 40% à 80%. L'Université d'Ottawa utilise 19 800 Kg par session de laitue notre système produit 7 Kg de laitue donc pour subvenir à la demande on suggère d'avoir 1586 système hydroponique pour subvenir une demande de 2 mois. La raison pour 2 mois est que la floraison de la laitue est de 2 mois donc pour minimiser l'entretien et les coûts de minimiser la commande de produit. Comme la figure 14 démontre l'investissement initial serait de 182 672\$ et demandera une main d'œuvre de 127 520,78\$ par année. La figure 15 démontre que le flux monétaire net d'une période de 6 ans apporterait à l'université une valeur d'actualisation nette de 1 303 22\$ dont un taux de rendement interne de 140%.

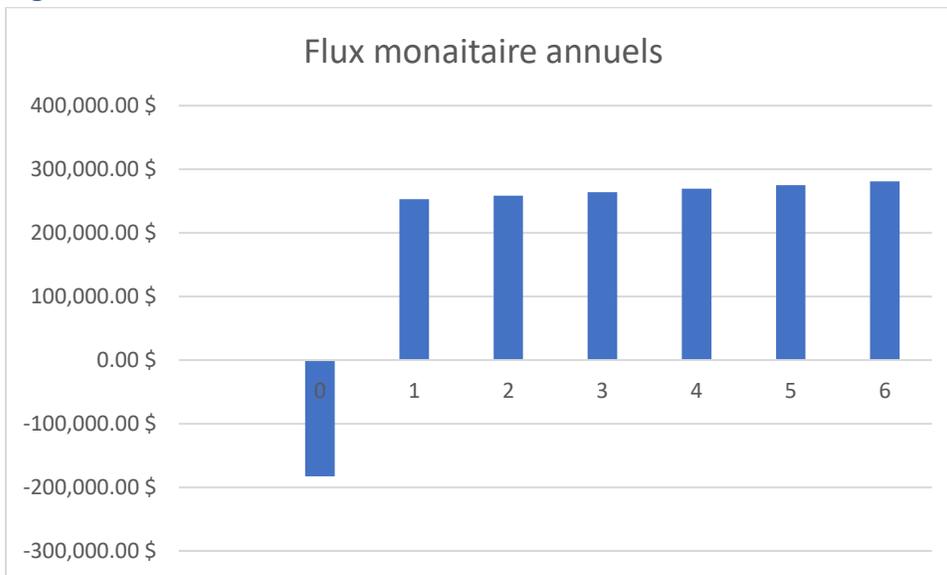
Figure 14 budget annuel pour le système hydroponique finale.

Éléments	Système hydroponique
Coûts d'exploitation et d'entretien annuels	
Main d'œuvre	780,00 \$
Matière	- \$
Frais généraux et de fabrication	2 934,68 \$
Inventaire	- \$
Impôt	123 806,10 \$
Total des coûts annuels	127 520,78 \$
Investissement initial	182 672,00 \$
Rendement annuels	375 170,00 \$
Valeur de récupération nette	97 860,00 \$

Figure 15 Flux monétaire nette

Année	Flux monétaire annuels
0	-182 672,00 \$
1	252 924,15 \$
2	258 311,43 \$
3	263 813,47 \$
4	269 432,69 \$
5	275 171,61 \$
6	281 032,76 \$
VAN+	1 303 22.
TRI=	140%

Figure 16 Flux monétaire annuels



En résumé, notre système a une petite taille, simple pour l'utilisateur et rentable. Le client a une mobilisation complète du produit pour l'entretien et la disposition au public. L'esthétique peut facilement être améliorée car la boîte de plastique peut être remplacé par n'importe quel contenant comme un aquarium. De plus, l'indépendance du système assure un entreposage variable dépendamment de l'espace disponible.

Suite à plusieurs conversations avec nos clients, nous avons pu construire un prototype qui répond bien à leurs besoins. Nous avons fait un produit qui peut être facilement adaptable pour satisfaire à plusieurs sortes de besoins différents. C'est disponible à un prix abordable aussi, et facile à entreposer. Les détails font

une grande différence dans la qualité du système, et nous avons pensé à tout pour s'assurer d'avoir la meilleure qualité de plantes possible. Le plus important, nous avons réussi à garder des herbes en vie dans notre système pour une durée considérable de temps.

Bibliographie :

<https://www.walmart.ca/en/ip/marina-75-air-pump/6000042404294>

<http://www.culture-hydroponique.com/packs-complets/pack-complet-culture-hydroponique-600w-luxe-1288.html>

<http://www.growshops.fr/1426-systeme-hydroponique-platinum-hydrostar-60-6-pots.html>

<https://supercloset.com/product/hydroponics-systems/superponics-16-hydroponic-grow-system/>

<https://supercloset.com/product/hydroponics-systems/6-site-bubble-flow-buckets-hydroponic-grow-system/>