

**Projet hydroponique
Rapport final**

Rapport présenté à

**Monsieur Maxime-Alexandre Ferko
Aide à l'enseignement**

**Monsieur Patrick Dumond
Professeur**

Dans le cadre du cours GNG 1503 A :
Génie de la conception

Par
Alexandre Bigeau
Aoua Diallo
Sadia Faty
Zakaria Moumine
Dylan Tapsoba

Université d'Ottawa
Le 11 avril 2017

Sommaire de gestion

Lors de la création de ce projet, les membres du groupe se sont basés sur les étapes du Design Thinking présentées en classe dans le cadre du cours GNG 1503. Le client du projet, le Service alimentaire de l'Université d'Ottawa, avait comme problème une manière de faire pousser des aliments par l'entremise d'un système hydroponique qui nourrirait les milliers d'étudiants de l'université. Le groupe a évalué les différentes sortes de systèmes hydroponiques et a opté pour une table à marée grâce à sa simplicité, sa facilité d'entretien et sa capacité d'être échelonnée verticalement. Quatre sous-systèmes importants ont été élaborés et optimisés: structure interne, plomberie, automatisme et structure interne. Bref, le projet comprend des réservoirs de croissance alimentés par des pompes dans des réservoirs d'eau. Des billes d'argile sont le substrat qui supportent les plantes et les permettent de respirer. Des pièces Arduino régis par un code renvoie, sans fil, l'état du pH et de la température de l'eau à l'utilisateur ou l'employé. Entourant une colonne de béton à SITE, le système est enfermé par une serre qui assure non seulement la protection des aliments, mais permet aussi de contrôler des systèmes d'éclairage et de ventilation idéaux pour la culture des aliments. Pour favoriser la rentabilité, du projet, l'équipe a choisi de faire pousser du basilic puisque ça ne prend pas beaucoup de temps à faire pousser, il est en assez grande demande à l'université et il est produit efficacement en hydroponie. L'équipe tient à remercier Professeur Patrick Dumond et Monsieur Maxime-Alexandre Ferko pour leur appui tout au long du projet, les représentants du Service alimentaire pour leur coopération et leur avis, Monsieur Roy Kyrillos et Docteur Jihad Abdounour pour leurs rétroactions et les employés du Makerspace pour leur générosité et leur patience.

Table des matières

Partie I - Introduction.....	1
Partie II - Sympathiser	
2.1 Recueil des données brutes.....	1
2.2 Identification des besoins.....	1
2.3 Priorisation des besoins.....	2
Partie III - Définir	
3.1 Énoncé du problème.....	2
3.2 Critères de conception.....	3
3.3 Gestion de conflit.....	4
Partie IV - Concevoir	
4.1 Conception préliminaire.....	4
4.2 Analyse de sous-système.....	5
4.3 Gestion de projet et de temps.....	6
Partie V - Prototypage	
5.1 Description des prototypes.....	6
5.1.1 Prototype I.....	6
5.1.2 Prototype II.....	6
5.1.3 Prototype III.....	6
5.2 Modélisation.....	7
5.3 Rétroactions.....	8
5.3.1 Rétroaction I.....	8
5.3.2 Rétroaction II.....	9
5.3.3 Rétroaction III.....	9
Partie VI - Essais	
6.1 Prototype I.....	10
6.2 Prototype II.....	11
6.3 Prototype III.....	12
Partie VII - Conclusion.....	13
Bibliographie.....	14
Annexes	
Annexe I : Sous-systèmes.....	15
Annexe II : Gestion de temps.....	23
Annexe III : Prototypes.....	24
Annexe IV : Arduino.....	33

Liste des figures

Figure 1.1	
Liste des schémas des sous-systèmes du projet.....	15
Figure 1.2	
Structure interne et externe avec quelques aspects techniques relatifs à la tuyauterie à l'automatisme et à l'éclairage.....	16
Figure 1.3	
Système d'éclairage avec des ampoules à faible consommation d'énergie, système de ventilation sur les 4 côtés du bâtiment, installation d'un système d'alerte avec des voyants lumineux.....	17
Figure 1.4	
Structure interne - design en demi-cercle.....	18
Figure 1.5	
Structure externe - serre individuelle.....	19
Figure 1.6	
Système de plomberie - alimentation à deux tables.....	19
Figure 1.7	
Circuits électrique - information et alimentation.....	20
Figure 1.8	
Système général.....	21
Figure 1.9	
Système de tuyauterie, d'éclairage et de structure.....	22
Figure 2.1	
Diagramme Gantt : organisation de l'équipe.....	23
Figure 3.1	
Prototype I - vue de face.....	24
Figure 3.2	
Prototype I - vue de haut.....	24
Figure 3.3	
Prototype I - réservoirs, tuyaux et pompe.....	25
Figure 3.4	
Prototype I - endroit choisi.....	25
Figure 3.5	
Prototype II - premier modèle AutoCAD.....	26

Figure 3.6	
Prototype II - modèle Solidworks.....	26
Figure 3.7	
Prototype II - vue de face du système de tuyauterie.....	27
Figure 3.8	
Prototype III - modèle AutoCAD modifié.....	28
Figure 3.9	
Prototype III - vue de face.....	29
Figure 3.10	
Prototype III - vue d'arrière.....	29
Figure 3.11	
Prototype III - pompe et tuyaux.....	30
Figure 3.12	
Prototype III - portes révélant l'intérieur.....	30
Figure 3.13	
Prototype III - arrosage du substrat.....	31
Figure 3.14	
Prototype III - déversement avec le robinet.....	31
Figure 4.1	
Code Arduino.....	32
Figure 4.2	
Pièce Arduino en marche et sonde de pH.....	34
Liste des tableaux	
Tableau I	
Priorisation des besoins.....	2
Tableau II	
Critères des conception.....	3
Tableau III	
Récapitulatif de tous les essais pour le Prototype II.....	11
Tableau IV	
Récapitulatif de tous les essais pour le Prototype III.....	15

1. Introduction

L'hydroponie peut être définie comme étant une culture hors-sol de végétaux. Cette méthode se faisant grâce à l'utilisation principale de l'eau et de substrats, permet de rendre le système plus écologique, moins encombrante et plus efficace que la culture sur terre qui occupe beaucoup d'espace et cela est parfois nuisible avec divers herbicides utilisés.

Le projet envisagé doit permettre au Service alimentaire de pouvoir nourrir sa clientèle, les étudiants de l'Université d'Ottawa durant toute l'année et surtout entre septembre et avril. Cependant, dans l'ensemble des recherches, beaucoup de solutions en hydroponie pourraient bien servir l'Université d'Ottawa. De fait, selon certains facteurs et besoins, la meilleure solution est la table à marée qui est un système adéquat. La table à marée ou table d'inondation par définition, s'applique de manière très facile et a le mérite de ne pas avoir besoin d'un entretien excessif. Cette méthode permet d'économiser beaucoup de temps et d'efforts que réclament d'autres systèmes hydroponiques.

2. Sympathiser

2.1 Recueil des données

Depuis 2006, la population étudiante de l'Université d'Ottawa connaît une croissance importante. En effet, elle est passée d'environ 36 000 à 43 000 étudiants. Ceci équivaut une clientèle d'environ un million de personnes par année. Le client, le Service alimentaire de l'Université d'Ottawa, dispose maintenant de 23 espaces pour nourrir les étudiants. Il est à noter que l'Université d'Ottawa est la première université au Canada qui a été certifiée par le Green Restaurant Association pour une salle à manger durable. Le client, soucieux d'être de plus en plus respectueux envers l'environnement, aimerait récolter ses propres fruits et légumes par l'entremise d'un système hydroponique. Ce dernier consiste principalement à faire pousser des aliments à l'aide d'un système d'eau cyclique. En d'autres mots, il favorise le recyclage d'eau riche en nutriments afin de réduire le sol nécessaire. Il permet également de réduire la pollution par émission de gaz à effet de serre en réduisant le transport des aliments aux cuisines centrales du campus.

2.2 Identification des besoins

D'abord, le client énonce plusieurs besoins pour le projet. Un des besoins principaux est la qualité des aliments. Ce système écologique pourrait permettre d'exploiter des fruits et légumes bien frais qui nécessitent peu d'engrais et de pesticides. Le client tient à offrir aux étudiants des produits qui ont une excellente saveur et qui sont riches en nutriments. Les cuisiniers pourraient préparer de meilleurs plats avec des aliments frais. Pour assurer ceci, il est primordial de sceller le système hydroponique. D'après le client, la nourriture doit être à l'abri de la contamination extérieure en le sécurisant de cette façon simple.

Ensuite, le Service alimentaire exige une production rentable qui leur permettrait de générer de bons revenus relativement à l'envergure du système. Comme toute autre entreprise, un besoin essentiel

est que le résultat final vaille l'investissement initial. Ceci dit, ce projet ne dispensera pas toutes les fournitures pour les 23 salles à manger, mais il pourrait prouver qu'un système écologique durable peut être économique. Le marché culinaire fluctue de jour en jour et cela est évident surtout en tenant compte des produits jardiniers. Alors, il faut aussi considérer quels aliments sont en demande et en pénurie.

2.3 Priorisation des besoins

Dans cette étape, il a été question de mettre en avant l'idée la plus importante selon le client. Ainsi nous nous sommes basés sur celles-ci afin de créer les trois prototypes, y compris le prototype fonctionnel. Dans le tableau ci-dessous, ces besoins sont classés sur une échelle de 1 à 5, en prenant 5 comme étant le degré de priorité le plus élevé.

Tableau I : Priorisation des besoins

Besoins spécifiques du clients	Note de 1 à 5
Qualité	5
Prix	4
Rentabilité	4
Facilité d'utilisation/entretien	4
Sécurité	3
Esthétique	2

Cette priorisation des besoins a permis tout au long de notre projet de rester dans la recherche de la satisfaction du client.

3. Définir

3.1 Énoncé du problème

Notre client, le Service alimentaire de l'Université d'Ottawa, dispose de 23 espaces pour nourrir les étudiants. Puisque la population étudiante de l'Université est passée d'environ 36 000 à 43 000 étudiants qui est équivalent une clientèle d'environ un million de personnes par année. Par ailleurs, l'Université d'Ottawa est la première université au Canada qui a été certifiée par le Green Restaurant Association pour une salle à manger durable. Le client, soucieux d'être de plus en plus

respectueux envers l'environnement et aimerait commencer à récolter ses propres fruits et légumes par l'entremise d'un système hydroponique.

3.2 Critères de conception

Un système hydroponique consiste principalement à faire pousser des aliments à l'aide d'un système d'eau cyclique. En d'autres mots, il favorise le recyclage d'eau riche en nutriments afin de réduire le sol nécessaire. Il permet également de réduire la pollution par émission de gaz à effet de serre en réduisant le transport des aliments aux cuisines centrales du campus, où ce système amener de la convivialité à l'université en promouvant son esprit écologique et novateur.

En se basant sur les points suivants comme critères. Premièrement, les normes de sécurité pour protéger le produit contre la contamination. Deuxièmement, les aliments sont bien frais et ont une excellente qualité. En plus, la température d'eau et de la salle favorise la croissance des plantes (entre 6°C et 20°C pour l'eau et entre 20°C et 22° pour la salle), et la production doit être constante à longueur d'année et la récolte est fréquente et abondante, où la consommation d'eau et d'énergie du système est économise beaucoup par rapport à un système conventionnel.

En outre, la main d'œuvre nécessaire est restreinte et peu de compétences sont requises pour l'entretien aider par le sous-système d'automatisme technologique. Finalement, avoir un espace disponible pour la récolte des aliments en but qu'elle soit le plus fructueuse et rentable possible.

Tableau II : Critères des conception

Critères de conception de notre système (table à marée)								
Exigences non fonctionnelles				Exigences fonctionnelles				
Normes de sécurité	Goût et qualité	Compétences requise	Esthétique et visibilité	Conditions d'opération		Production constante et rentabilité	Nombre d'employés	Automatisme
				Température	Eau et électricité			
Respectées	Satisfaisant	Minimale	Peu visible	Réglage	Recyclage	Optimale (peu onéreux)	Faible	Créé (Capteur pH)

3.3 Gestion de conflit

Pour ce projet, on devait être en équipe de cinq membres et d'avoir de différentes personnalité, culture, éducation et expérience créées des équipes solides, en but de promouvoir une grande variation d'idée, de force, de connaissance et d'habileté, et pour réduire les faiblesses d'équipe.

Dans notre démarche de formation de l'équipe, on a écrit un contrat qui insiste sur les conditions suivantes:

- Toute les rencontres de groupe soit à Morisset ou SITE entre neuf heure du matin et midi, mais à cause des engagement de chaque membres de l'équipes à des autres cours, on a ajouté des heures le vendredi, ou le samedi ou les deux dépendant du poids du travaille à faire.
- Les méthodes de communications choisis sont Facebook, Google Docs, téléphone et face-à-face.
- La politique de prise de décision est basée sur l'idée de la majorité.

En but d'assurer la coopération, on a essayé de créer un environnement tolérant et fructueux et un équilibre favorable entre l'amitié et le professionnalisme. L'égalité de la répartition des tâches est atteinte en les distribuant au besoin et en consacrant chacun environ les mêmes heures à nos tâches. Par ailleurs, en favorisant les périodes de remue-méninges, chacun aura du temps pour partager ses idées et donner son opinion sur les idées des autres pour inclure toutes les idées de tous les membres. Il est essentiel de garder un esprit ouvert et de chacun agir comme modérateur pour arriver à des compromis qui satisferont tous les membres.

Au sujet de la gestion des infractions, on a décidé de les gérer avec respect pour bien comprendre la situation et trouver des solutions pour qu'elles ne se reproduisent plus. Il s'agit également de communiquer avec la personne dans les plus brefs délais afin de ne pas laisser germer des tensions entre les membres.

4. Conception

4.1 Conception préliminaire

La conception préliminaire est une étape du processus du 'Design Thinking qui consiste à générer des idées de produits possibles. Chaque membre de l'équipe peut se permettre d'être créatif et réaliser des esquisses à main levée de sous-système fonctionnel. Pour une bonne réalisation de concept préliminaire, chaque membre peut suspendre son jugement et générer toutes sortes d'idées.

Dans ce projet qui touchait à l'hydroponie, nous avons généré des schémas relatifs au système de plomberie, de structure interne, d'automatisme et même de structure externe du système. Après des comparaisons et regroupements des idées, nous avons pu déterminer à quoi ressembleraient les différents prototypes et les différents sous-systèmes en réalité. Voici un aperçu des différentes idées qui avaient été générée par les membres de l'équipe (Annexe I). En fin de compte, le système de table à marée était l'option la plus favorable grâce à sa simplicité, sa capacité de production et sa convivialité.

Nous avons également mené une étude pour déterminer les divers types de plantes que nous aurons suggérés aux clients de faire pousser par l'entremise du système hydroponique. Celui que nous avons décidé de produire est le basilic. Le basilic est un aliment assez commun dans plusieurs types d'arts culinaires, y compris les cuisines du Service alimentaire de l'Université d'Ottawa. Le client consomme environ 4.5 kg par jour, équivalant à 495 kg par session, avec un prix de 7524.00 \$. Notre système offrirait les moyens de réduire ces dépenses.

En effet, cette plante prend 10 à 15 jours avant d'être à maturité. Donc, par session nous serons en mesure d'avoir 6 récoltes. C'est un plant qui ne nécessite pas beaucoup d'entretien ni de fertilisant pour se développer. Il est juste de constater qu'environ 0.54 kg peut être récoltée par table à marée et par récolte. En outre, le système en général a 6 étages: un étage comme réservoir d'eau et 5 pour les plantes. Dans ce dernier, un étage a 4 table à marée, alors dans tout le système, il y aurait 20 tables à marée. On conclut que notre système en tout fournirait 10.8 kg de basilic, soit un pourcentage de 240 % du besoin du client par jour si tout les réservoirs étaient consacrés à la culture de basilic. Ce chiffre plus qu'encourageant nous a conduit à perfectionner nos sous-systèmes pour de meilleurs résultats.

4.2 Analyse des sous-systèmes

Simplement déterminer les sous-systèmes n'était pas suffisant pour la réalisation du projet. Il s'agit de les identifier clairement et préciser leurs rôles de façon précise pour ne pas se perdre lors de la conception des prototypes.

D'abord, le sous-système de plomberie était le coeur du produit final. En effet, il permet d'acheminer l'eau aux plantes à l'aide d'une pompe. À la suite d'essais, la pompe EcoPlus 185 avec un débit de 500L par heure s'est avérée la plus favorable. Ce sous-système s'intègre aisément avec le reste de la structure parce qu'il est compact et nécessite peu de matériaux.

De plus, le sous-système d'automatisme est ce qui permet de vraiment différencier ce projet des autres. À l'aide du logiciel et des pièces Arduino, il est possible de mettre en place des sondes de pH et de température qui transmettent directement les informations recueillies via Bluetooth ou Wifi aux clients et ceux qui entretiennent le système, les utilisateurs. C'est un des sous-système qui avait demandé le plus d'effort par sa complexité de conception et de rédaction du code (Annexe IV).

La structure interne est bel et bien le squelette du système hydroponique. Il se compose de la charpente métallique qui soutient toute la structure. Il comprend également les différents réservoirs inférieurs chargé de contenir l'eau et les réservoirs supérieurs qui, à l'aide de substrat de billes d'argile, accueillent et supportent les plantes tout au long de leur croissance.

Enfin, la structure externe se compose d'une serre en plexiglas qui entoure les tables à marées. Afin de répondre au besoin de qualité et sécurité des aliments. Elle comporte un système d'éclairage formé de lampe DEL qui fournit un régime de lumière et de ventilation aux plantes pour leur assurer des conditions favorables à leur croissance contrairement aux conditions externes.

Ce système de tables à marée mesurerait environ 114 pouces de hauteur et environ 88 pouces de largeur en réalité. Il serait formé de 6 étages de réservoirs, ce qui correspond à plus de 60 pieds carrés d'espace de culture.

Il se serait situé tout autour d'un pilier situé au niveau 0 de SITE. Cet emplacement offre un bon ensoleillement aux plantes et une excellente visibilité pour le public est possible. Il est également à proximité d'une cuisine ce qui facilite grandement l'acheminement des aliments.

4.3 Gestion de projet et de temps

Après avoir généré des idées et élaboré les sous-systèmes, il était impératif de planifier les dates et échéances des livrables suivants. Nous disposions de peu de temps avant la présentation d'un prototype final et fonctionnel, d'où provient la nécessité d'une bonne organisation et coordination d'équipe. Il fallait planifier des dates et lieux de rencontre, ainsi que des ordres du jour pour ces rencontres. Nous avons dû également dresser une liste des tâches avec des échéances que nous avons essayé de respecter tout au long de cette session. Chaque membre de l'équipe s'est alors assigné une tâche en fonction de ses compétences, de manière à ce que tout le monde participe de façon équitable. Nous avons donc dressé un diagramme Gantt (figure 2.1) qui nous a permis de visualiser cette planification et compléter les prototypes à temps.

5. Prototypage

5.1 Description des prototypes

Tout d'abord, ce projet hydroponique requiert la conception et la réalisation de trois prototypes. Le premier était un modèle visuel, le deuxième était un modèle visuel et fonctionnel et le troisième était un modèle fonctionnel. Tout au long de ces étapes de prototypage durant les dernières semaines du projet, il fallait rédiger des plans d'essais, afin de déterminer le but et la fonction de chaque prototype, ainsi que de réviser les prototypes avec trois différents clients potentiels.

5.1.1 Prototype I

En premier lieu, le Prototype I a été conçu afin de communiquer la disposition des grandes composantes du système en général. Il était donc strictement un modèle visuel puisqu'il n'avait que la communication de ces composantes comme but d'essai (Annexe III).

Ce prototype comprenait une variété de matériaux recyclés et peu dispendieux. Pour illustrer, les deux réservoirs supérieurs et le réservoir inférieur étaient faits de petits pots troués en plastique pour le jardinage. Le cadre et les lattes pour l'esthétique étaient composés de bâtons de sucettes et la

tuyauterie était en pailles. Enfin, du feutre vert a été trouvé pour représenter les filtres au fond des réservoirs. En effet, le tout a coûté environ 15\$.

5.1.2 Prototype II

Par ailleurs, le Prototype II était également un modèle visuel avec le but de communiquer plus précisément les sous-systèmes de structure interne et de plomberie. Néanmoins, on peut constater qu'il était également un modèle fonctionnel par sa capacité de faire circuler l'eau à travers différents réservoirs et tuyaux. À l'aide de ce prototype, l'équipe voulait tester un débit d'eau adéquat pour le fonctionnement de la table à marée (Annexe III).

En contraste avec le Prototype I, le Prototype II était de plus grande échelle, plus réaliste et plus dispendieuse. D'ailleurs, un voyage à Home Depot et à Walmart a permis au groupe de se procurer du bois 1 po X 2 po pour créer le cadre, deux réservoirs en plastique, des vis, de la colle chaude et du ruban de plomberie. L'équipe a eu la chance de retrouver des tuyaux en acrylique près du recyclage au pavillon Colonel By. De plus, la peinture grise servie pour le cadre a été offerte gratuitement par Makerspace. En tout, le coût des fournitures pour le Prototype II s'est élevé à environ 23\$ et environ six heures ont été consacrées à Makerspace pour sa construction.

5.1.3 Prototype III

Dans le même ordre d'idées, le Prototype III était un modèle fonctionnel. Le cadre et le système de tuyaux du deuxième prototype étaient employés dans celui-ci afin de tester les sous-systèmes plus en profondeur et de communiquer leur efficacité lors des présentations

formelles. En effet, ce prototype était un modèle réduit de ce qui pourrait vraiment exister sous forme de 80 pi² d'espace de culture. En plus de communiquer ces détails, les buts du Prototype III étaient aussi de tester le débit des pompes, la relation de l'eau avec le substrat et le sous-système d'automatisme (Annexe III).

En combinant plusieurs sous-systèmes et en complétant l'étape de prototypage du processus de Design Thinking, le Prototype III requierait alors plus de temps, d'effort et d'argent pour construire. Notamment, il a fallu commander une pompe et la pièce Arduino LeoPhi en ligne et effectuer un voyage à Home Depot pour se procurer des charnières, des lattes de bois, du velcro et de la colle. Il ne faut pas oublier que le magasin Brite-Lite à Gloucester a été merveilleux quant à la connaissance des employés, l'obtention du substrat, d'une pompe adéquate et des robinets de réservoir. Leur générosité a permis au groupe d'acheter ces produits sans payer de taxes ni payer le coût des robinets. Makerspace a également été généreux en permettant l'équipe d'emprunter un capteur de pH et des pièces Arduino adéquates. Ceci dit, le coût de tous ces matériaux s'est élevé à environ 95\$ et de nombreuses heures de travail.

5.2 Modélisation

Tout comme les prototypes ciblés et physiques sont importants, il faut aussi considérer les modèles compréhensifs et analytiques. Dans le cas de ce projet hydroponique, nous avons opté pour des modèles analytiques élaborés sur AutoCAD et Solidworks. L'équipe a décidé d'implémenter ces modèles pour les Prototypes II et III. D'abord, le premier modèle AutoCAD a été créé principalement pour représenter la disposition du système de plomberie dans un environnement réel, c'est-à-dire autour de la colonne de béton au niveau 0 à SITE (figure 3.5). De même, un modèle en trois dimensions a été généré avec Solidworks aussi pour démontrer le système, mais plutôt au niveau du sous-système de structure interne (figure 3.6). On voit clairement la forme des réservoirs et des cadres. Enfin, le livrable du Prototype III a favorisé l'amélioration du modèle initial AutoCAD et nous nous sommes basés sur celui-ci pour faire les changements propres aux rétroactions énoncées ci-dessous.

5.3 Rétroactions

5.3.1 Rétroaction I

Pour la première rétroaction, nous avons rencontré Madame Maryann Moffitt et Madame Patricia Prelude Desrochers. Elles sont des représentantes de notre client, le Service alimentaire de l'Université d'Ottawa. La rencontre a été fructueuse. D'abord, nous avons commencé par présenter les besoins qui nous semblaient les plus prioritaires. Ensuite, nous avons décrit le concept général du projet par sous-système: structure interne, structure externe, plomberie et électricité/automatisme. D'autre part, nous avons discuté plus particulièrement des prototypes du projet et leur fonctionnement, incluant le premier qui traite d'une visualisation simple et réduite du système. Enfin, nous avons visité l'emplacement désiré pour la construction du projet.

Sur ce, les clientes semblaient d'accord avec notre priorisation des besoins et voulaient mettre l'accent sur l'importance de la qualité des aliments et la rentabilité du projet. Parallèlement, nos sous-systèmes semblaient les intéresser. Le système Leo Phi (code Arduino pour pH-mètre et thermomètre) a piqué un intérêt particulier grâce à sa simplicité et son habileté de recueillir des données sans intervention humaine. En outre, nous les avons montrés les deux emplacements envisagés à SITE: près des escaliers contre un mur vide au niveau 0 et autour du grand poteau de béton près des escaliers circulaires au niveau 0. Le premier choix est près d'une source d'eau et d'électricité, mais est moins visible pour le public et la lumière extérieure. Le second possède plusieurs sources d'électricité, un bon potentiel esthétique et est plus près de la lumière extérieure, mais se retrouve un peu plus loin d'une source d'eau. À vrai dire, elles préféreraient le deuxième choix et c'est selon celui-là que se poursuit le projet.

5.3.2 Rétroaction II

Pour la deuxième rétroaction, nous avons fait recours à monsieur Roy Kyrillos, directeur de la résidence universitaire Parkhill et ingénieur électrique. Avec ces rôles, monsieur Kyrillos pourrait être un client potentiel avec l'implémentation d'un tel système hydroponique afin de produire de la nourriture pour les gens de sa résidence.

Monsieur Kyrillos a énoncé certains points semblables à la rétroaction du premier prototype. Pour illustrer, un des plus grand besoin qu'il ressentait face à un tel système est la quantité de produits pour la quantité d'investissements. En effet, la polyvalence et l'efficacité d'un système de table à marée l'a rassuré. Il était impressionné que le prototype ne nous a pas coûté plus de 25\$. De plus, il a apprécié la simplicité du design du prototype car cela reflète moins d'entretien nécessaire pour le système. Enfin, une autre remarque qu'il avait faite est le potentiel d'améliorer le système avec un système électronique comme celui que nous envisageons instaurer dans le prochain prototype. C'est un système Arduino qui permettra de détecter le niveau de pH, l'humidité, ainsi que la température de l'eau. Ces données pourront être envoyées ensuite à un Android. Cela dit, tout comme notre première rencontre, celle avec M. Kyrillos a été fructueuse et nous permet de viser un système encore meilleur pour notre client.

5.3.3 Rétroaction III

Pour la troisième rétroaction, nous avons eu l'occasion de rencontrer Docteur Jihad Abdunour. Docteur Abdunour possède un baccalauréat en agriculture générale, une maîtrise en horticulture, une maîtrise en ressources renouvelables et un doctorat en sciences de la ressource naturelle des plantes. Ses nombreuses connaissances dans les domaines de biologie et d'hydroponie nous ont vraiment portés fruit lors de notre rencontre.

D'abord, Docteur Abdunour a prononcé sa crainte que les plantes allaient se noyer si le niveau d'eau de la table à marée est trop élevé et si le flux entrant d'eau est constant. Il recommande donc un arrosage par impulsion. C'est-à-dire, un arrosage peut se faire pendant quelques minutes et s'arrête pendant un autre intervalle de temps pour permettre aux plantes de consommer l'eau au niveau d'eau de se régler. Ce procédé favorise la respiration de la plante en la nourrissant d'eau, de nutriments et d'oxygène. Afin d'implémenter cette recommandation, nous avons décidé de diminuer la taille du tuyau de déversement et d'employer dans notre concept une minuterie pour alimenter la pompe à intervalle réguliers.

D'autre part, Docteur Abdunour nous a vraiment aidés par rapport à la nutrition des plantes pendant leur croissance. Entre autres, il nous a conseillé d'employer 16 éléments essentiels de nutrition pour les plantes dans notre concept. Il s'agit de: carbone, hydrogène, oxygène, azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium, soufre, bore, chlore, cuivre, fer, manganèse molybdène et zinc.

En général, ces nutriments peuvent être ajouté hebdomadairement à 10g par litre d'eau. D'après Docteur Abdunour, une manière de bien surveiller la concentration de nutriments est de mesurer soit la

conductivité électrique de l'eau ou de mesurer la concentration en ppm. Une concentration d'environ 1800 ppm est idéale pour la culture de plantes en hydroponie.

De plus, la plantation des aliments était un sujet important soulevé par Docteur Abdounour. Il était d'accord avec nous que la culture de basilic et de fines herbes est une bonne manière de profiter d'un système hydroponique. Cependant, il nous a faits remarquer que les plantes ne peuvent pas être introduites dans le système à moins qu'elles soient assez fortes pour se supporter dans le substrat de billes d'argiles avec un système racinaire. Il est donc favorable de commencer la croissance sur du papier filtre et ensuite les transférer dans le substrat de billes d'argile.

Enfin, d'autres points à considérer d'après la rétroaction de Docteur Abdounour sont d'ajouter plus de tuyaux d'eau si la surface n'est pas arrosée au complet, de négliger les filtres au fond des réservoirs car les plantes ne produisent pas assez de déchets et d'assurer que les plantes reçoivent assez de lumière et de noirceur. En effet, suite à une journée de lumière suffisamment intense, les plantes favorisent entre 8h et 12h de noirceur.

De surcroît, nous avons eu la chance de présenter notre progrès du projet devant les clients et le professeur en classe le 14 mars. Nous apprécions les commentaires constructifs qui nous ont été présentés. Notamment, au lieu d'avoir un étage de réservoirs d'eau pour chaque étage de réservoirs de plantes, on peut inclure uniquement un étage de réservoirs d'eau au bas et acheminer l'eau à travers un système de tuyaux. Cela permettrait de maximiser l'espace pour ajouter des réservoirs de plantes et produire d'autres aliments. Un autre point à soulever est la question de nettoyage. Avec une table à marée, dépendant de la taille des réservoirs, cela peut s'avérer difficile à manipuler et entretenir. Nous optons donc d'installer des robinets pour évacuer l'eau dans le cas où il faut déplacer les réservoirs et effectuer un entretien. Finalement, des statistiques précises sur le choix d'aliments à faire pousser et leur rentabilité permettraient de mieux vendre le design, d'après les clients. En étudiant les meilleures options et les présentant de façon concrète, les avantages de notre design seront alors plus évidentes pour les clients et les utilisateurs.

6. Essais

Vers la fin de ce projet, nous avons eu à fabriquer trois prototypes pour qui nous ont permis de tester les sous-systèmes et implémenter les différentes améliorations selon les rétroactions mentionnées précédemment.

6.1 Prototype I

Lors des essais pour le prototype I il s'agissait de faire une modélisation physique et visuelle afin de montrer au client quelles étaient nos idées. Par contre, aucun essai mesurable n'a été réalisé sur ce dernier. Veuillez trouver ci-joint une vidéo du Prototype I:

<https://www.youtube.com/watch?v=Ib9yk1MZwU0>

6.2 Prototype II

Lors de la préparation pour la remise du livrable du Prototype II, il a fallu tester plusieurs composantes du sous-système de plomberie comme les tuyaux, le débit de l'eau et la résistance des réservoirs. Veuillez trouver ci-joint un tableau récapitulatif des attentes et résultats d'essais, ainsi qu'une vidéo descriptive du Prototype II: <https://www.youtube.com/watch?v=mXco9QRJIZ0>

Tableau III : Récapitulatif de tous les essais pour le Prototype II

Critère testé/métrique testée	Type d'essai	Résultat attendu	Résultat obtenu	Améliorations apportées
Le débit d'eau traversant le système	Nous ferons passer l'eau à travers un tuyaux et nous recueillerons directement l'eau dans le réservoir et nous chronométrons en combien de temps de le réservoir se remplit totalement. Le débit sera : (Nombre de litre / nombre de seconde)	Nous aurons exactement le débit d'eau traversant le système,	Le débit de l'eau faible mais parfaitement réparti dans les tuyaux. Le temps de remplissage d'un bassin=120s Le volume d'un bassin=19,4l Soit un débit = 19/120 ~ 0,16 L/s	Aucune amelioration apportee
La capacité de la tuyaux à alimenter le système	Nous ferons monter l'eau manuellement dans les tuyaux pour nous assurer qu'il n'y a pas de fuites ou/et si l'eau circule parfaitement.	L'eau circule effectivement des tuyaux jusqu'aux réservoirs.	Premier, deuxième et troisième essais: fuite d'eau au niveau des joints du tuyau. Quatrième essai: l'eau circule parfaitement dans le système.	Les fuites ont été bouchées avec de l'adhésif et de la colle chaude
La résistance de nos réservoirs	Nous ferons un essai sur le réservoir inférieur en y évacuant un montant suffisant d'eau et nous le réparons ensuite pour tester la perméabilité de ce dernier.	L'eau ne fuit pas et coule normalement.	Premier essai: l'eau ne fuit pas et coule parfaitement.	Pour le réparer, il a fallu le souder avec de la colle chaude

6.3 Prototype III

Pour ce dernier prototype, les éléments manquants du système ont été ajoutés tels que la pompe, le substrat de billes d'argile et la pièce Arduino. Des essais finaux ont été fait pour tester la fonctionnalité du système.

Tableau IV : Récapitulatif de tous les essais pour le Prototype III

Critère testé/métrique testée	Type d'essai	Résultat attendu	Résultat obtenu	Améliorations apportées
Pompe à eau	Nous avons rempli le réservoir d'eau et nous avons branché la pompe au système	La pompe est assez puissante pour pomper l'eau vers le système	Pompe 1: le débit n'est pas assez fort, assez d'eau ne monte pas dans le système Pompe 2: Assez de puissance pour faire monter l'eau dans le système	Achat de la pompe 2
Billes d'argiles	Commodité: Nous avons allumé la pompe et l'eau s'écoule dans le système	Les billes d'argiles flottent et il y'a de petites espaces entre elles permettant l'oxygénation des racines	Les billes flottent mais il n'y a pas assez de billes pour la quantité d'eau se trouvant du système	Ajout de billes d'argiles
Pièce Arduino qui permet de connaître le ph de l'eau et éventuellement la température	Placer la sonde dans l'eau, connecter la pièce	Lire la valeur du Ph à l'ordinateur	Le code écrit pour la pièce n'est pas fonctionnel , les valeurs ne peuvent donc pas être lues	Emprunt d'une pièce Arduino et d'une sonde de Ph au Makerspace de l'université

7. Conclusion

En somme, tout au long de cette session nous avons appris à concevoir et à réaliser des projets durant les séances de cours et les laboratoires nous ont donnés les outils nécessaires pour le faire. Nous avons dû faire face au problème présenté par le Service alimentaire de l'Université d'Ottawa qui voulait pouvoir produire ses propres produits à l'aide d'un système hydroponique. La réalisation d'un

système remplissant les critères du client n'a pas été une tâche évidente, mais nous croyons que notre solution présente une alternative bien favorable.

Grâce au processus de Design Thinking, aux nombreuses rétroactions et au travail accompli, nous sommes parvenus à concevoir un prototype final ayant une belle esthétique, tout en étant fonctionnel. Ce prototype de table à marrée est efficace et se démarque de par son automatisme. Nous avons la conviction qu'il conviendrait au client et pourrait même représenter une source de revenu pour le Service alimentaire de l'Université d'Ottawa, répondant au besoin primordial de rentabilité.

En plus de la satisfaction personnelle que nous avons éprouvé à la fin de ce projet, nous nous souviendrons de cette belle expérience et de l'importance du travail d'équipe, ainsi que les étapes et habitudes à adopter pour assurer une bonne organisation. Dans cette perspective, une étude plus poussée sur d'autres composantes d'hydroponie comme l'automatisme pourrait être testé davantage en intégrant un thermomètre fonctionnel grâce à l'interface Arduino.

Bibliographie

GREENTREES HYDROPONICS, « EcoPlus 1267 Submersible Pump 1347 GPH », 2017, [En ligne], [<https://www.hydroponics.net/i/280024>], (26 avril 2017).

FLORIDA GARDENERS, Stéphanie, « 16 Elements Necessary for Plants », 2009, [En ligne],

[<http://www.floridagardener.com/misc/fertifacts.htm>], (26 avril 2017).

CULTURE HYDRO, « Table à marée, subirrigation, flux et reflux, (EBB&flood) », 2013, [En ligne], [<http://hydroponie.fr/table-maree-subirrigation-flux-reflux-ebblood/>], (5 février 2017).

GRODAN, « Comprendre les systèmes d'irrigation de base », 2016, [En ligne], [<http://grodan101.com/fr/node/298/comprendre-les-syst%C3%A8mes-d%E2%80%99irrigation-de-base>], (5 février 2017).

RYAN Edwards, « LeoPhi USB enabled Arduino pH sensor interface », Sparky's Widgets, 2015, [En ligne], [<https://www.sparkyswidgets.com/portfolio-item/leophi-usb-arduino-ph-sensor/>], (26 février 2017).

APPRENDRE À CULTIVER DES LÉGUMES, « culture du basilic », [En ligne], [<http://binette-et-cornichon.com/a/semer-basilic/>], (26 février 2017).

Annexe I

Sous-systèmes

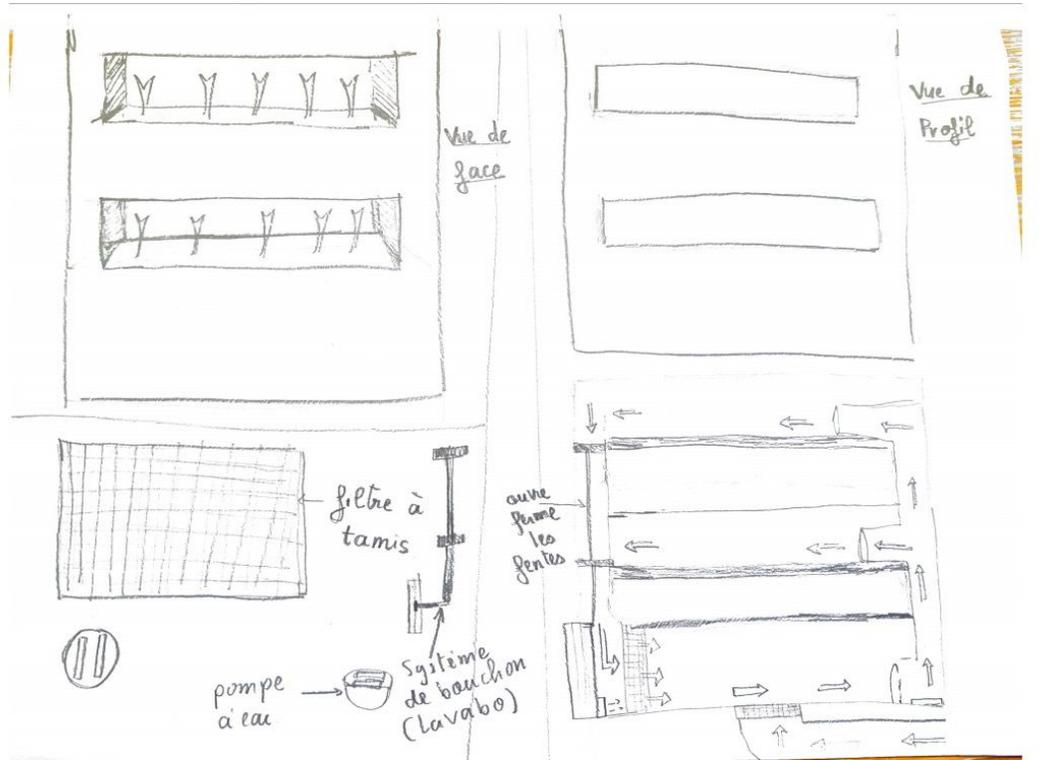


Figure 1.1: Liste de schémas des sous-systèmes du projet

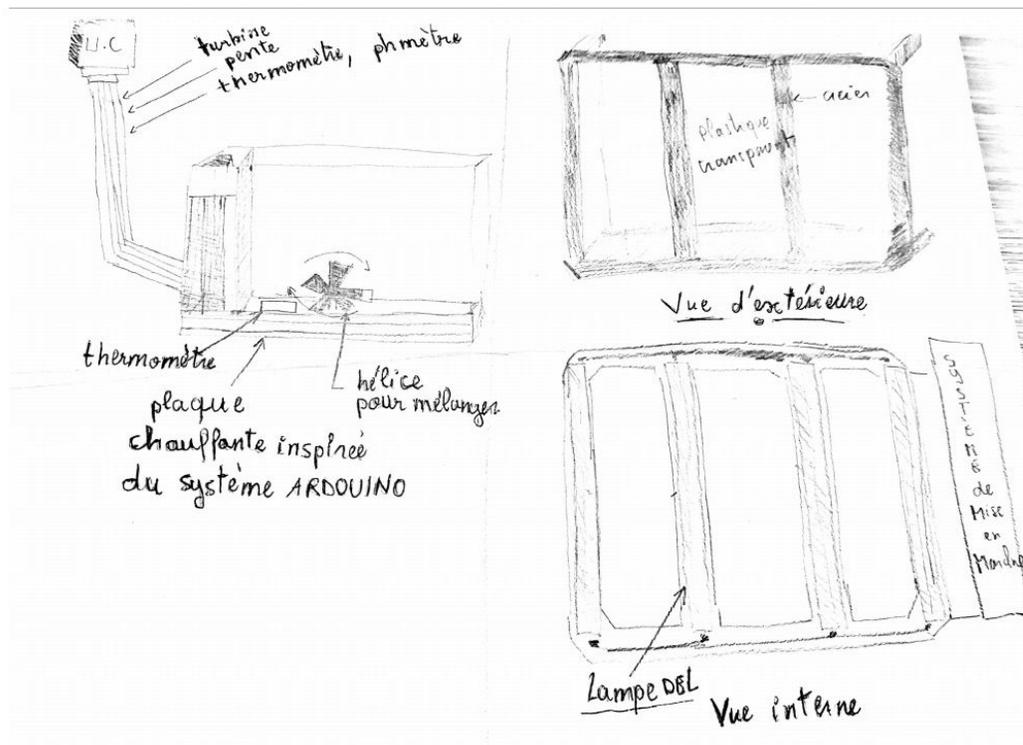


Figure 1.2: Structure interne et externe avec quelques aspects techniques relatifs à la tuyauterie à l'automatisme et à l'éclairage

Auteur: Dylan Tapsoba

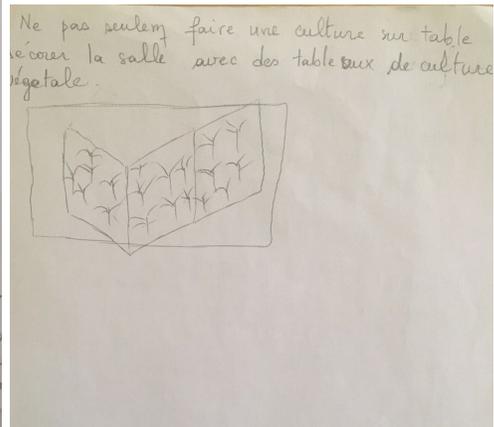
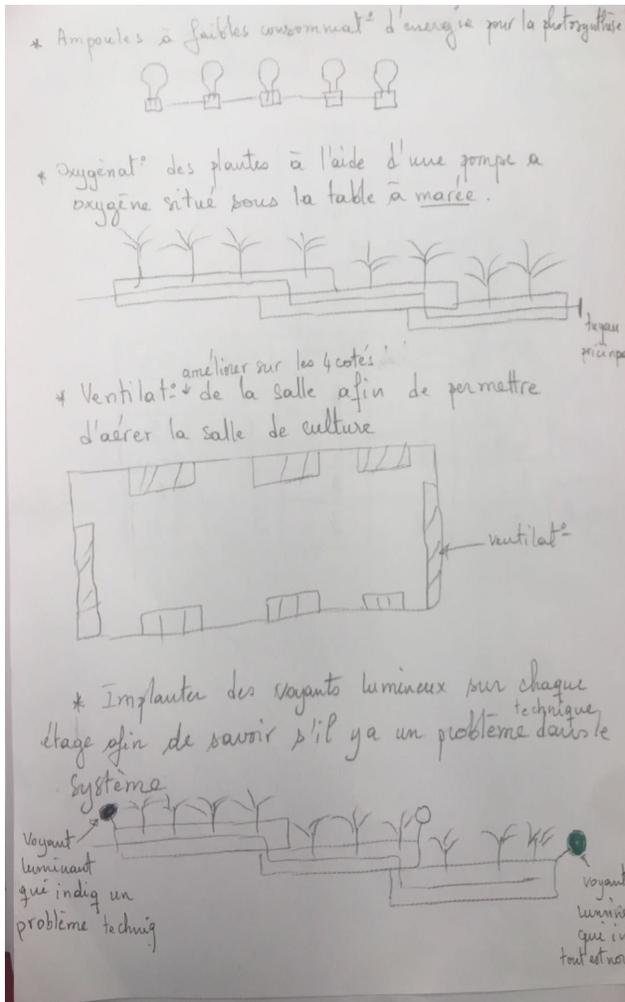


Figure 1.3: Système d'éclairage avec des ampoules à faible consommation d'énergie, système de ventilation sur les 4 côtés du bâtiment, installation d'un système d'alerte avec des voyants lumineux (Vert=tout est normal; Noir=Il y'a un problème), des tableaux végétaux pour la décoration du projet.

Auteur: Sadia Faty

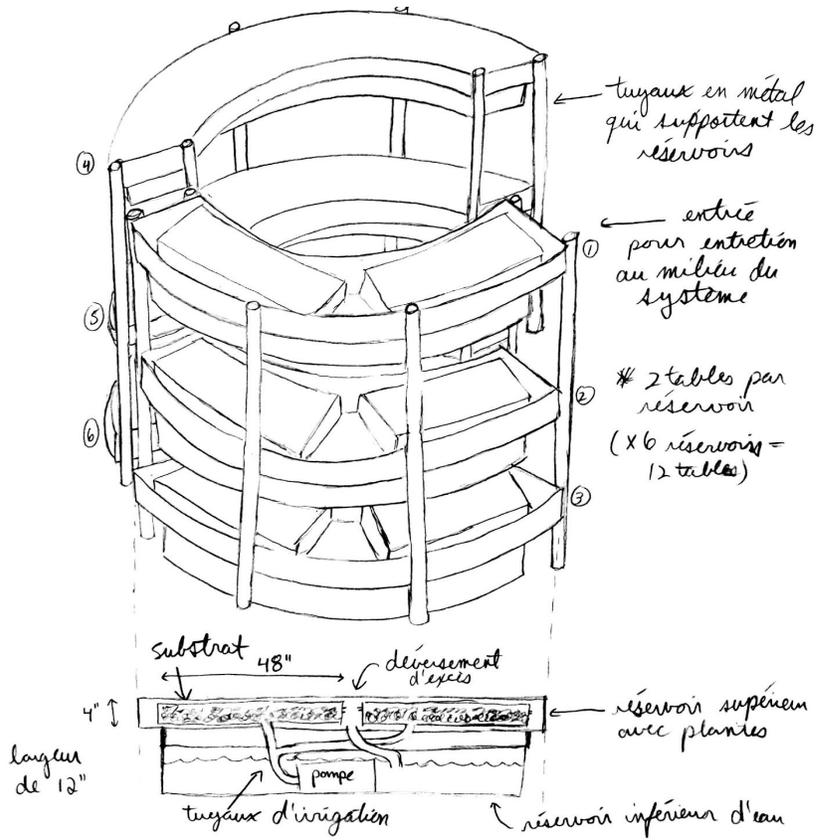


Figure 1.4: Structure interne - design en demi-cercle

Auteur: Alexandre Bigeau

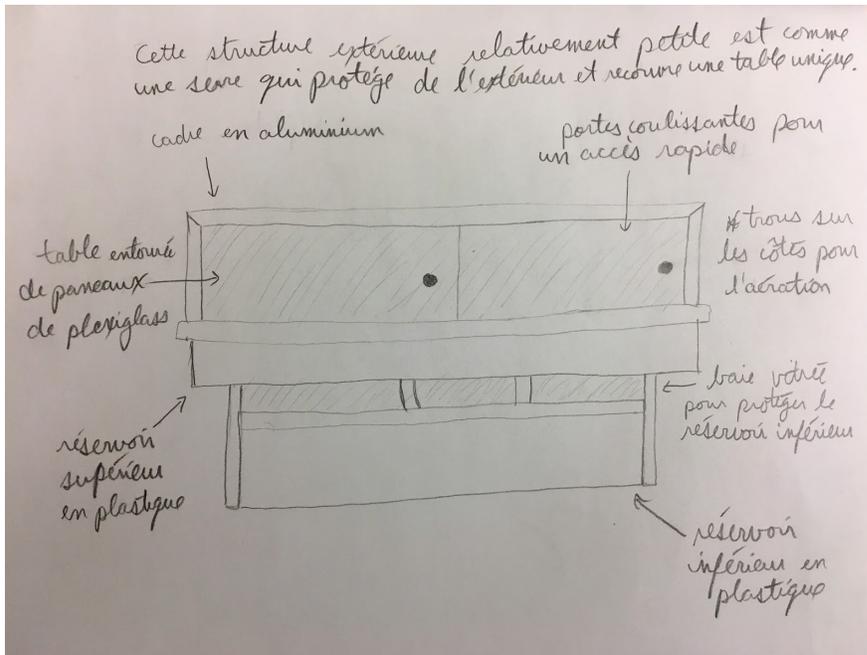


Figure 1.5: Structure externe - serre individuelle

Auteur: Alexandre Bigeau

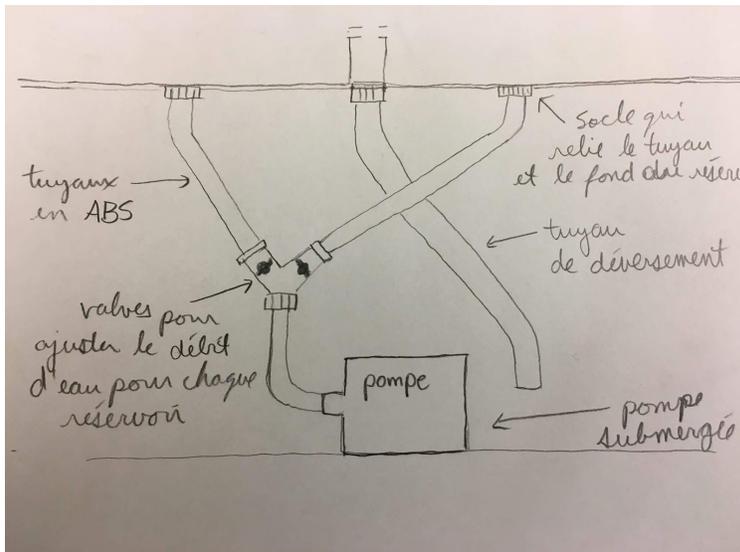


Figure 1.6: Système de plomberie - alimentation à deux tables

Auteur: Alexandre Bigeau

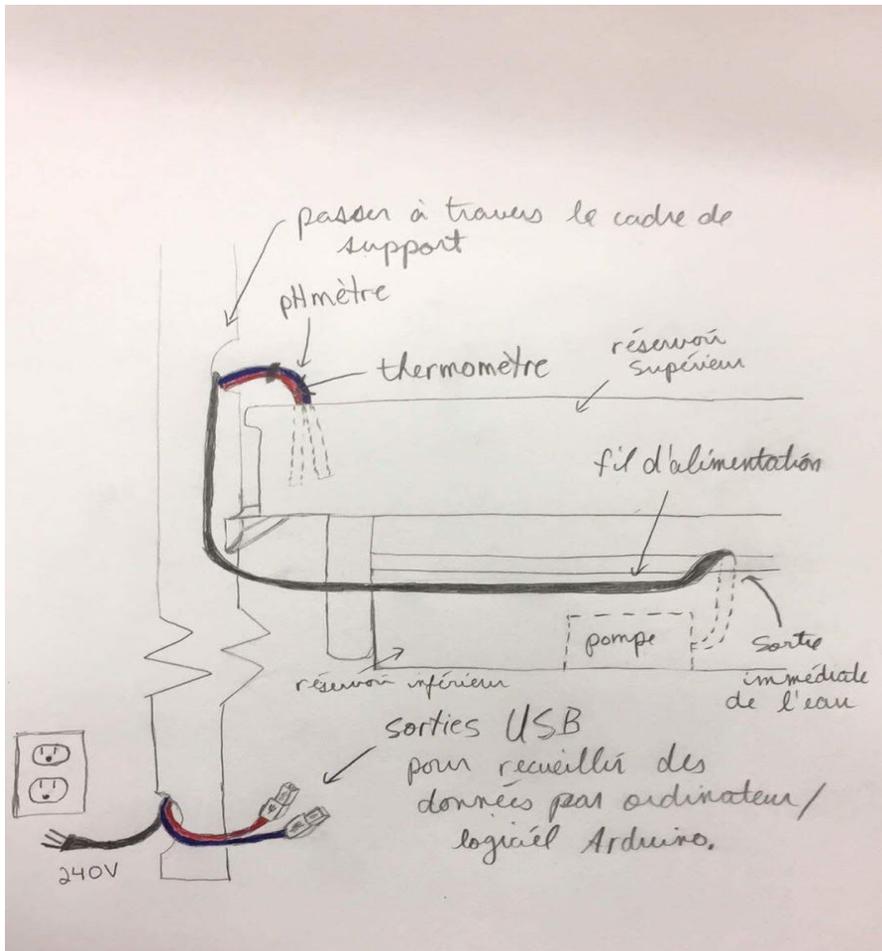


Figure 1.7: Circuits électriques - information et alimentation

Auteur: Alexandre Bigeau

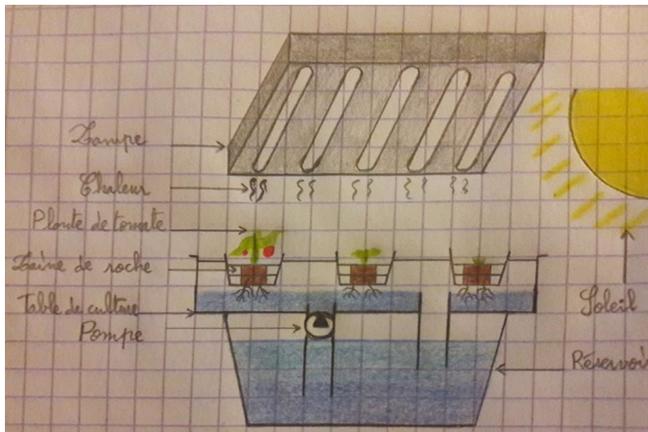
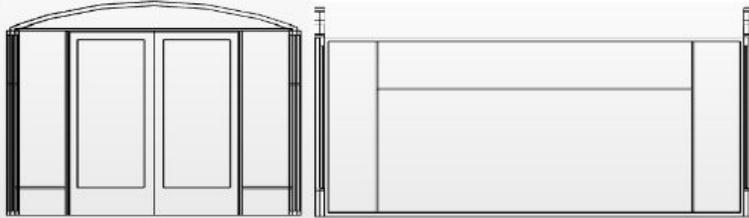
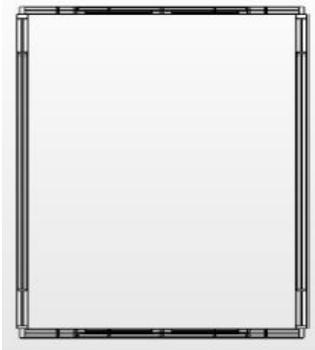
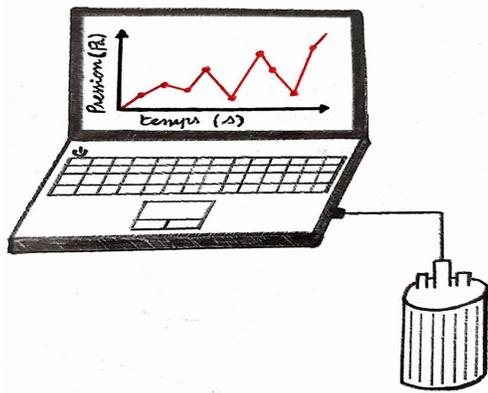


Figure 1.8:

- 1) Ordinateur ou l'unité centrale de la pompe électronique.
- 2) Capteur de niveau de CO_2 dans la chambre (mesure de sécurité).
- 3) Structure externe - Serre.

4) Description du système de table à marée:

- Utilisation de l'énergie du soleil pendant la journée.
- Utilisation de l'énergie de la lampe pendant la nuit.
- Utilisation du pompe comme système de plomberie.
- Utilisation de la laine de roche comme remplaçant de la terre.

Auteur: Zakaria Moumine

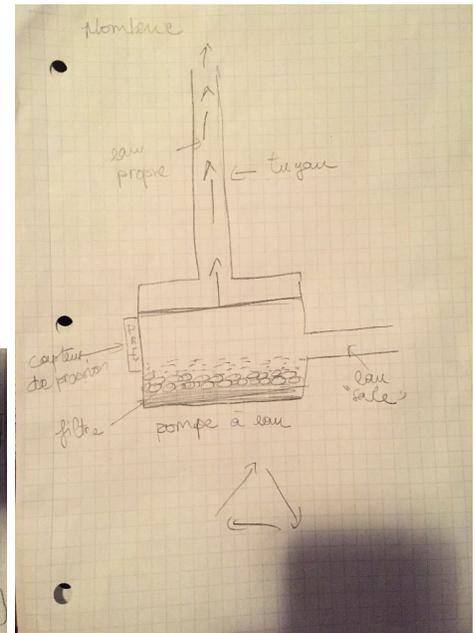
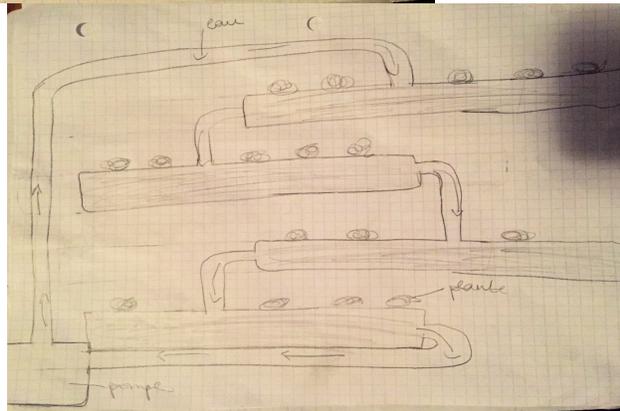
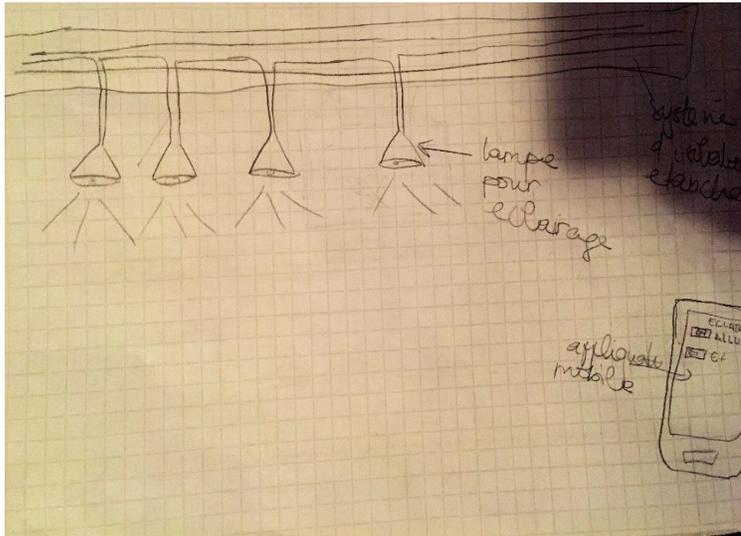


Figure 1.9: Système de tuyauterie, d'éclairage et structure

Auteure: Aoua Diallo

Annexe II

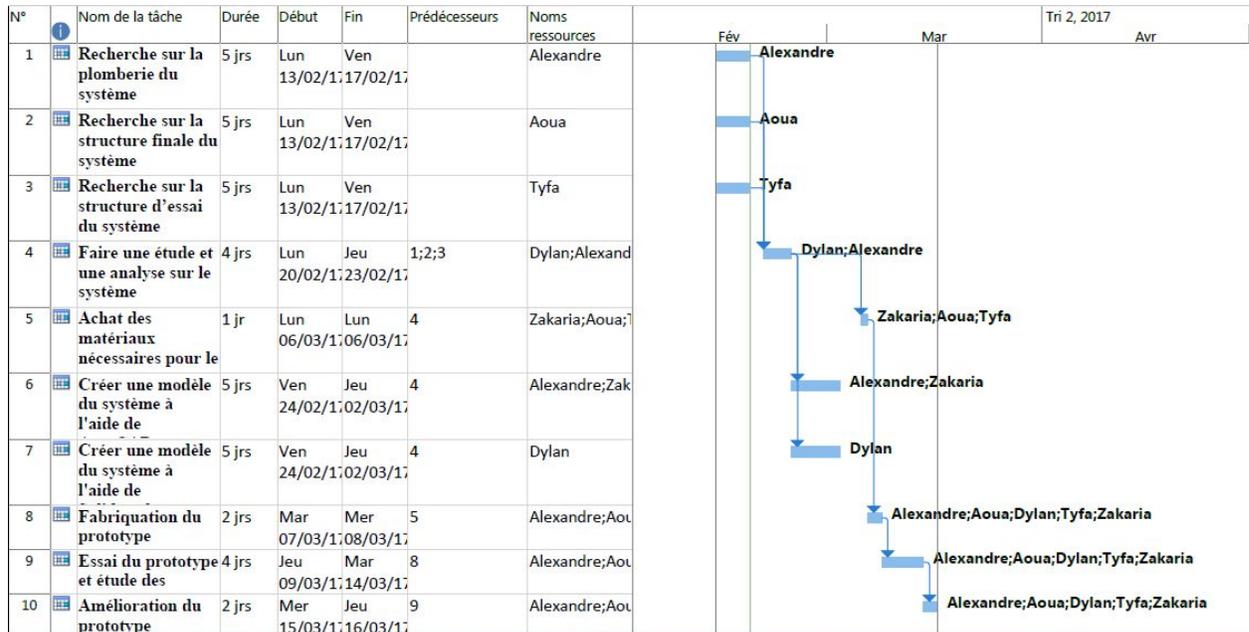


Figure 2.1 : Diagramme Gantt pour mener à bien et respecter les échéances du projet de conception

Annexe III

Prototypes



Figure 3.1: Prototype I - vue de face



Figure 3.2: Prototype I - vue de haut



Figure 3.3: Prototype I - réservoirs, tuyaux et pompe

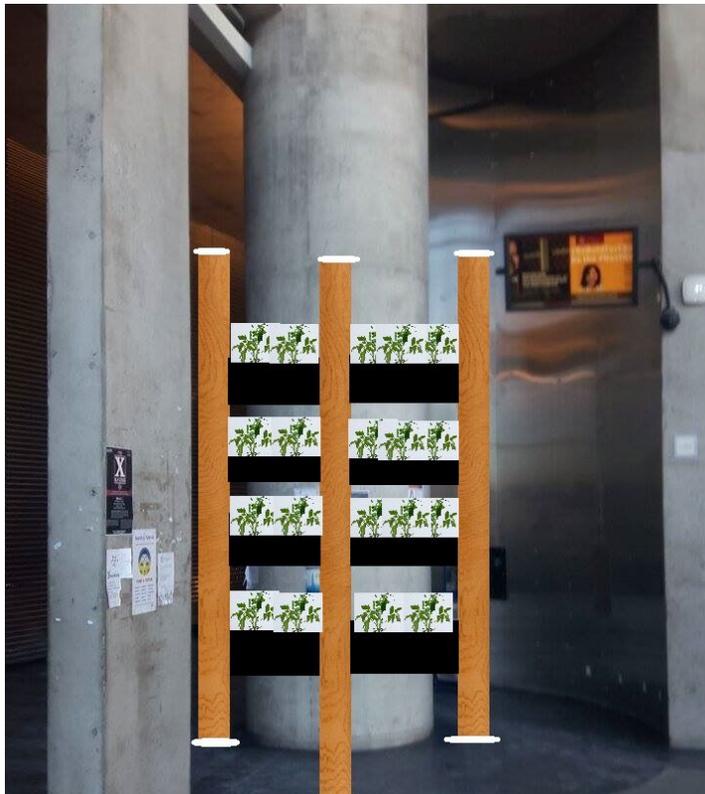


Figure 3.4: Prototype I - Endroit choisi

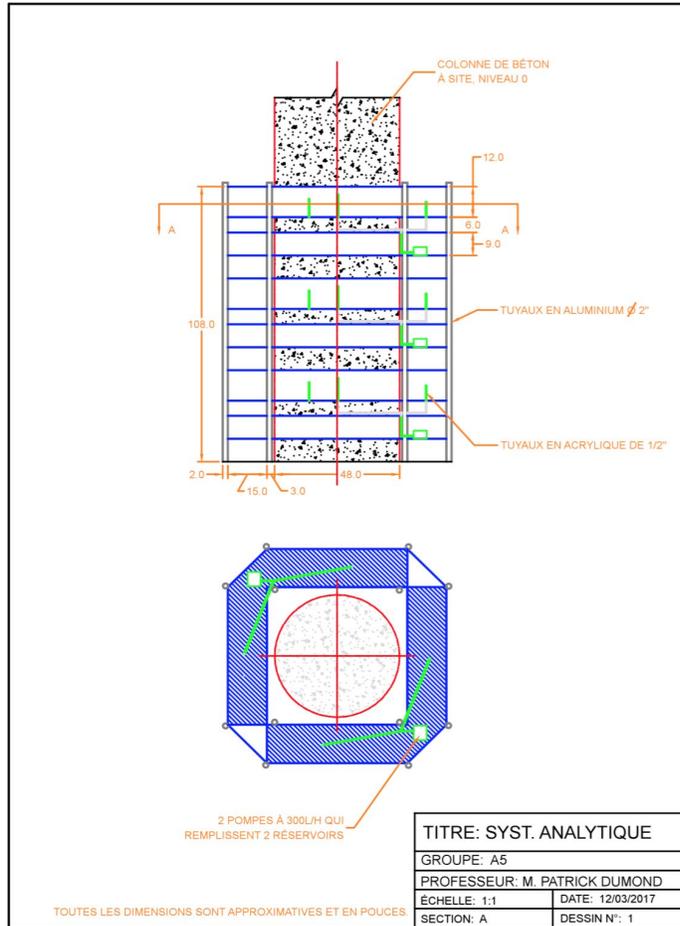


Figure 3.5: Prototype II - premier modèle AutoCAD

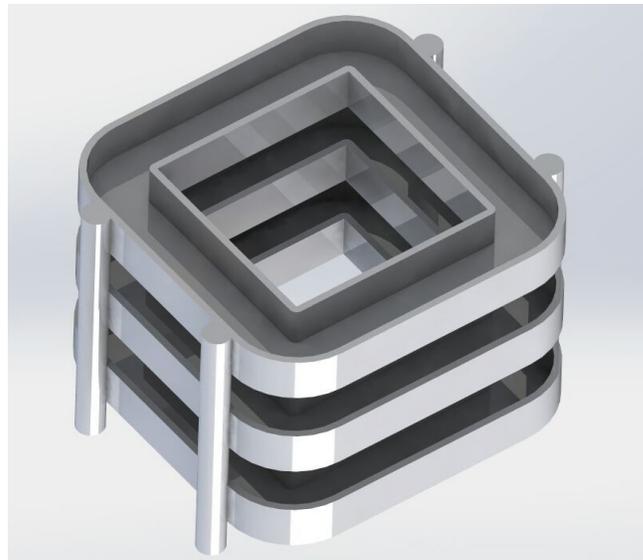


Figure 3.6: Prototype II - modèle Solidworks

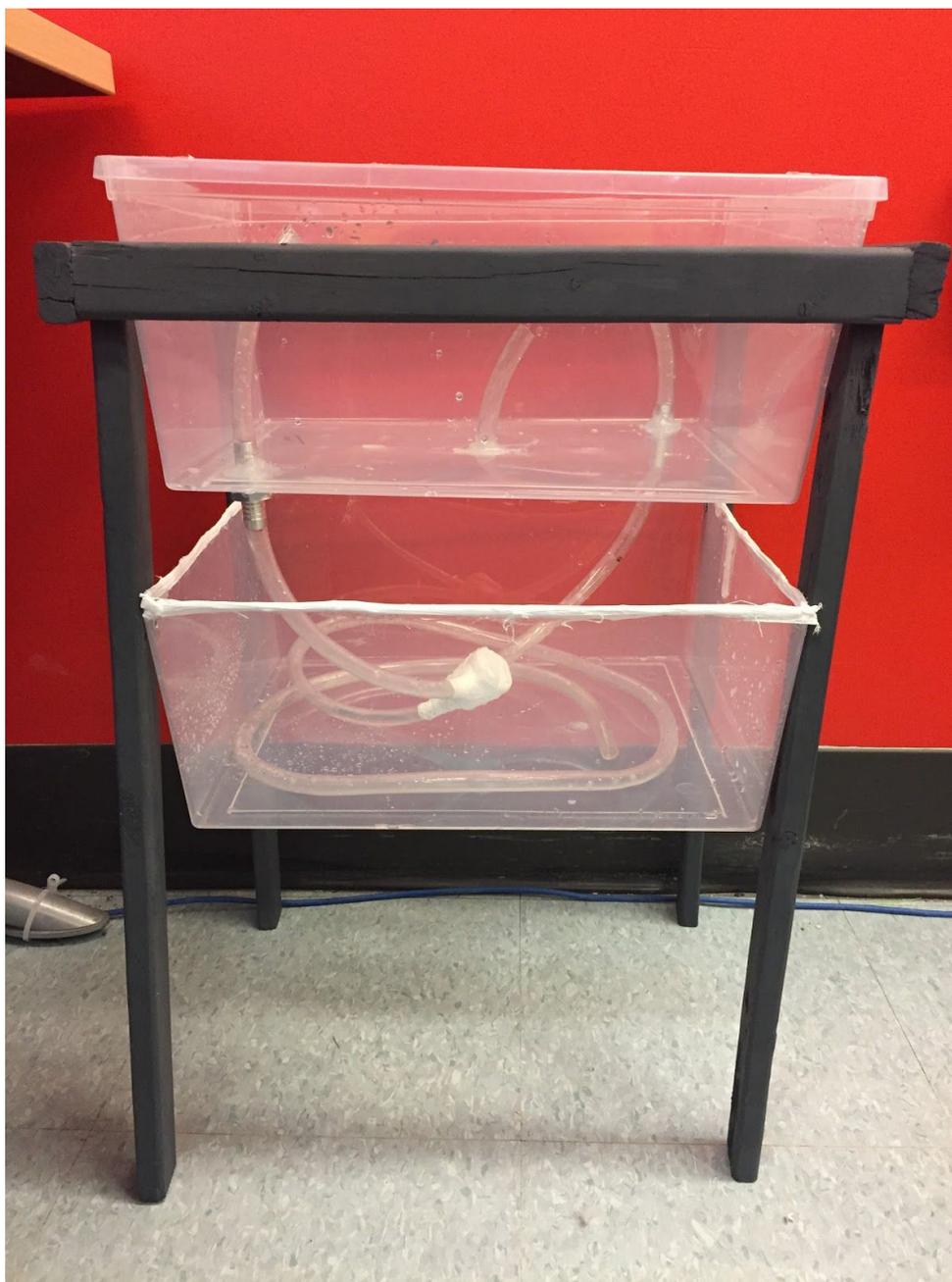


Figure 3.7: Prototype II - vue de face et système de tuyaux

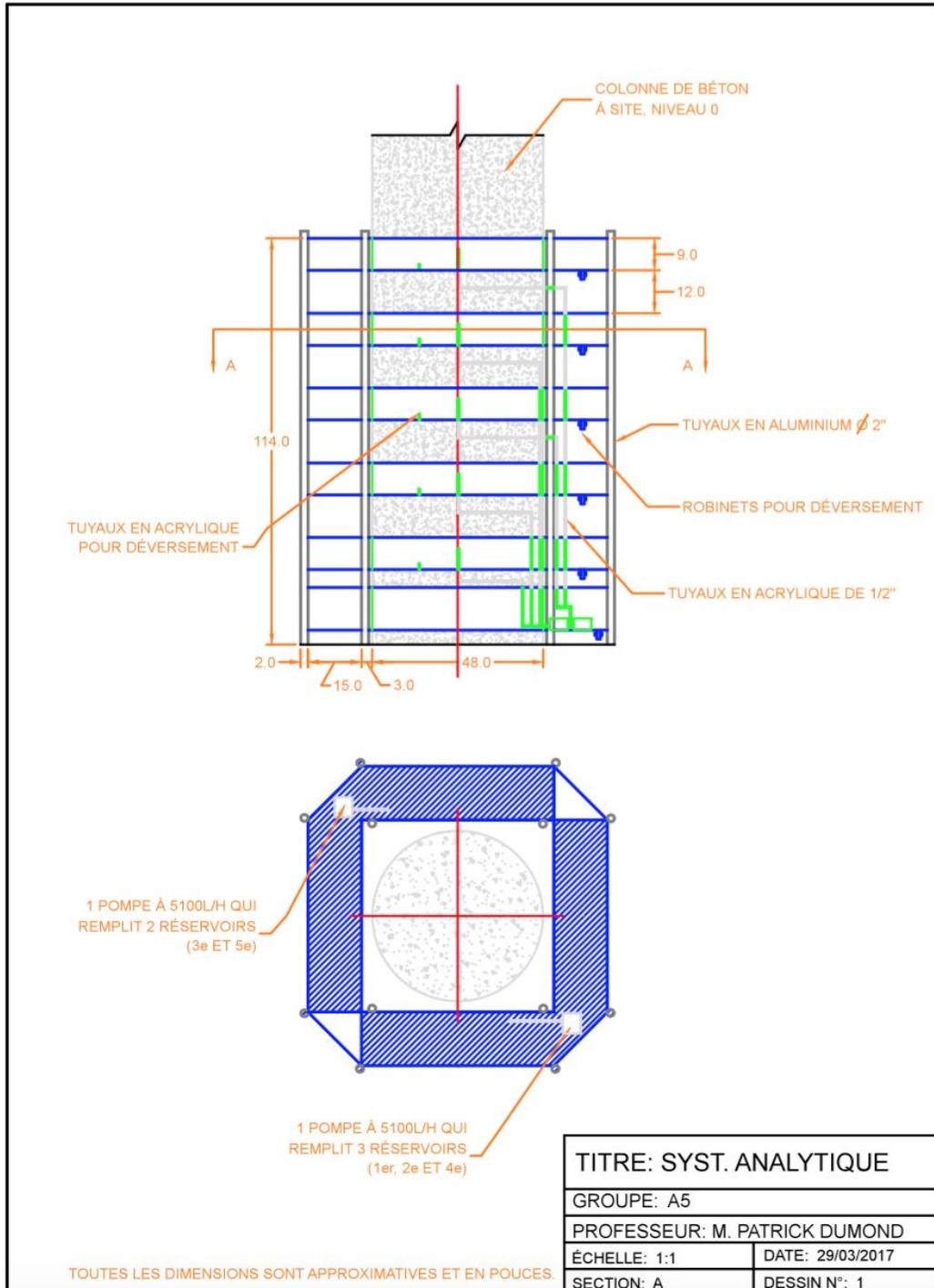


Figure 3.8: Prototype III - modèle AutoCAD modifié



Figure 3.9: Prototype III - vue de face



Figure 3.10: Prototype III - vue d'arrière



Figure 3.11: Prototype III - pompe et tuyaux



Figure 3.12: Prototype III - portes révélant l'intérieur



Figure 3.13: Prototype III - arrosage du substrat



Figure 3.14: Prototype III - déversement avec le robinet

Annexe IV

Arduino

```
//This code will output data to the Arduino serial monitor.
//Type commands into the Arduino serial monitor to control the pH circuit.
//This code was written in the Arduino 1.6.5 IDE
//An Arduino UNO was used to test this code.

#include <SoftwareSerial.h>           //we have to include the SoftwareSerial library, or else we
can't use it.
int rx = 2;                          //define what pin rx is going to be.
int tx = 3;                          //define what pin tx is going to be.
SoftwareSerial myserial(rx, tx);     //define how the soft serial port is going to work.

String inputstring = "";             //a string to hold incoming data from the PC
String sensorstring = "";           //a string to hold the data from the Atlas Scientific product
boolean input_stringcomplete = false; //have we received all the data from the PC
boolean sensor_stringcomplete = false; //have we received all the data from the Atlas
Scientific product
float ph;                            //used to hold a floating point number that is the pH.

void setup() {                      //set up the hardware
  Serial.begin(9600);               //set baud rate for the hardware serial port_0 to 9600
  myserial.begin(9600);             //set baud rate for software serial port_3 to 9600
  inputstring.reserve(10);          //set aside some bytes for receiving data from the PC
  sensorstring.reserve(30);        //set aside some bytes for receiving data from Atlas
Scientific product
}

void serialEvent() {                //if the hardware serial port_0 receives a char
  char inchar = (char)Serial.read(); //get the char we just received
  inputstring += inchar;            //add it to the inputString
  if (inchar == '\r') {
    input_stringcomplete = true;    //if the incoming character is a <CR>, set the flag
  }
}

void loop() {                       //here we go...
  if (input_stringcomplete) {       //if a string from the PC has been received in its entirety
    myserial.print(inputstring);    //send that string to the Atlas Scientific product
    inputstring = "";              //clear the string
    input_stringcomplete = false;  //reset the flag used to tell if we have received a
completed string from the PC
  }
  if (myserial.available() > 0) {   //if we see that the Atlas Scientific product has sent a
character.
    char inchar = (char)myserial.read(); //get the char we just received
```

```

    sensorstring += inchar;
    if (inchar == '\r') {
        sensor_stringcomplete = true;           //if the incoming character is a <CR>, set the flag
    }
}

if (sensor_stringcomplete) {                 //if a string from the Atlas Scientific product has been
received in its entirety
    Serial.println(sensorstring);           //send that string to the PC's serial monitor
    ph = sensorstring.toFloat();           //convert the string to a floating point number so it can
be evaluated by the Arduino
    if (ph >= 7.0) {                         //if the pH is greater than or equal to 7.0
        Serial.println("high");             //print "high" this is demonstrating that the Arduino is
evaluating the pH as a number and not as a string
    }
    if (ph <= 6.999) {                       //if the pH is less than or equal to 6.999
        Serial.println("low");             //print "low" this is demonstrating that the Arduino is
evaluating the pH as a number and not as a string
    }
    sensorstring = "";                       //clear the string:
    sensor_stringcomplete = false;           //reset the flag used to tell if we have received a
completed string from the Atlas Scientific product
}
}

```

Figure 4.1: Code Arduino utilisé pour trouver le pH de l'eau

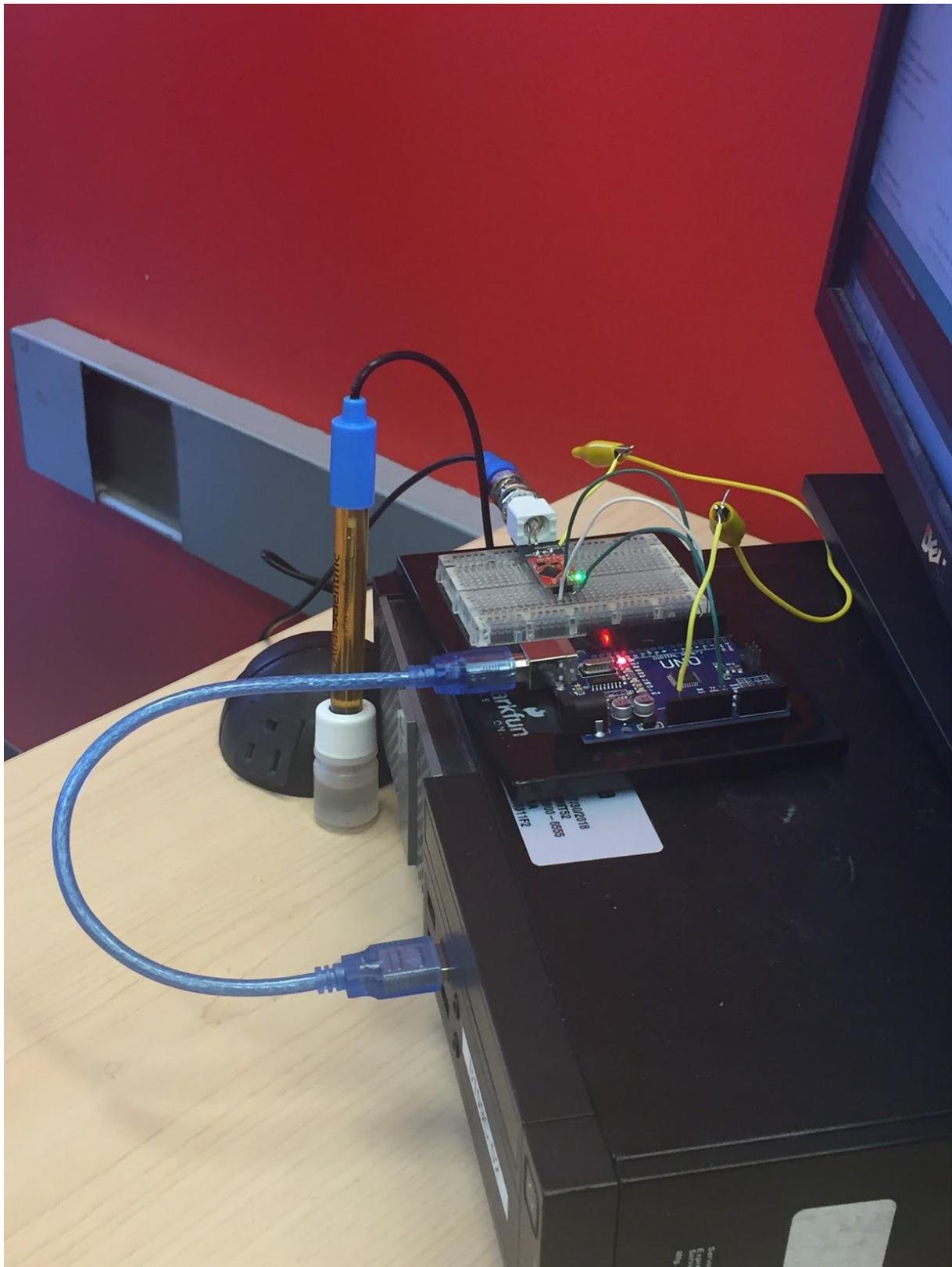


Figure 4.2: Pièce Arduino en marche et sonde de pH