

Projet IMA4

Ferme

Hydroponique

Tuteur : Alexandre Boé

Théau Moinat

2019/2020

Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord Monsieur Alexandre Boé de m'avoir accompagné sur ce projet, également Monsieur Xavier Redon mais aussi Monsieur Thierry Flamen pour les conseils apportés tout au long du projet.

Je souhaite également remercier le magasin Culture Indoor de Roubaix, qui m'ont conseillé les produits et un livre décrivant les méthodes à suivre pour réaliser une plantation hydroponique.

Table des matières

Remerciements.....	1
Introduction	3
1. Analyse du projet.....	4
1.1 Qu'est-ce que l'hydroponie ?.....	4
1.2 Définition du projet.....	5
1.3 Cahier des charges	6
1. Eclairage LED	7
2. Chauffage	8
3. Ventilation.....	8
4. Pompe	9
5. Engrais, eau, solution nutritive.....	9
6. Interface homme-machine.....	10
1.4. Choix techniques	10
2. Réalisation du projet	12
2.1. Eclairage LED	12
2.2. Carte de contrôle.....	14
2.3. Conductimètre	17
2.4. Système d'injection	18
2.4.1 Carte de contrôle moteur.....	19
2.5. La ferme.....	21
2.6. Problèmes rencontrés et pistes d'amélioration	23
Conclusion.....	24

Introduction

Il est difficile dans les espaces urbanisés d'avoir accès à un potager, du fait de la vie en appartement et des espaces verts peu présents en ville. En conséquence, il peut être intéressant de trouver une alternative pour la pousse autonome de certains fruits et légumes, comme par exemple les fraises.

A ce titre et dans le cadre du rattrapage des projets, j'ai choisi de travailler sur une ferme hydroponique autonome fabriquée de A à Z. Bien que toutes les solutions souhaitées n'aient pas été intégrées jusqu'au bout, il n'en reste pas moins possible de les rajouter par la suite. Le projet se veut donc évolutif et une base de départ quant à la gestion d'un système autonome.

Cette ferme hydroponique s'inspire du cahier des charges d'une serre hydroponique dans un espace réduit. Bien que pensée pour des fraises, le modèle présenté peut très bien s'adapter pour la germination et la pousse dans les premiers temps de la plante.

Ainsi, la ferme dispose d'une lumière pensée pour favoriser la photosynthèse, d'un système de ventilation afin d'évacuer chaleur et humidité, et d'un système d'irrigation basée sur la technique NFT avec mélangeur. Nous détaillerons donc ces différents éléments par la suite. Nous concluons sur un état du projet et les avancées possibles.

1. Analyse du projet

1.1 Qu'est-ce que l'hydroponie ?

L'hydroponie est une technique de pousse hors-sol. La plante n'est pas au contact de terre, de terreau ou de substrats organiquement actifs. La plante pousse dans un milieu biologique inerte tels que la laine de verre, les fibres de coco ou encore la perlite. L'apport nutritif de la plante est alors assuré par un système d'arrosage d'une solution nutritive. Plusieurs techniques existent et proposent des rendements similaires pour des couples avantages/contraintes assez différents.

Une telle façon de cultiver présente plusieurs avantages : l'affranchissement du sol permet de garder un contrôle sur l'alimentation des plantes et sur leur pousse, ainsi que d'éviter les maladies, cela permet également un meilleur rendement surface/plante en apportant à la plante une "alimentation de luxe", c'est-à-dire riche en ressources, mais également d'éviter à devoir travailler la terre, opération souvent longue et pénible.

Malgré cela, quelques inconvénients sont à préciser : la technicité pour obtenir de bons rendements est élevée, ces systèmes de culture possèdent une faible inertie : au moindre problème pris en charge trop tard, la plante meurt. Également cette technique est plutôt polluante du fait de la solution nutritive et de son recyclage inexistant.

Néanmoins, cela reste une solution très utilisée car elle permet une meilleure gestion des carences de la plante et des apports, une meilleure aération des racines et par conséquent une meilleure absorption des nutriments, une économie en eau et en engrais, le sol n'absorbant plus en excès ces derniers et finalement il est plus aisé de contrôler la présence de maladie et de nuisibles.

Il existe plusieurs techniques de cultures hydroponiques telles que la Nutrient Film Technic (NFT) ou la culture sur substrat.

La NFT consiste à faire circuler un léger film de solution nutritive aux racines des plantes en permanence afin qu'elles puissent absorber ce dont elles ont besoin. Cette technique permet de réutiliser la solution nutritive une fois celle-ci écoulée des racines mais présente plusieurs

inconvenients, comme une asphyxie des racines si la solution s'y concentre, ou encore des problèmes d'infections si jamais la solution se retrouve contaminée. La culture sur substrat consiste à utiliser un substrat organiquement inactif et d'y faire pousser la plante. L'apport en eau et nutriments est assuré à l'aide d'un goutteur placé dans le substrat près du plant. Il s'agit de loin de la solution ayant la plus grande inertie mais non pas la plus économe, les solutions nutritives étant difficile à récupérer.

Il existe également une technique appelée l'aéroponie, dérivée de la NFT où cette fois les plants sont surélevés et seules l'extrémité des racines baigne dans la solution nutritive. Le problème de cette technique est l'inertie encore plus faible de ce système en cas de problème.

Pour réaliser ce projet, il serait intéressant de s'appuyer sur l'aéroponie du fait de l'atmosphère fermé que notre ferme possédera.

1.2 Définition du projet

Nous avons défini qu'il conviendrait de séparer le projet en plusieurs blocs fonctionnels différents. D'après mes recherches sur l'hydroponie, il conviendrait de réaliser un système régulé contenant les éléments suivants :

- Un élément chauffant pour réguler la température de l'environnement,
- Un système d'éclairage à LED, reposant sur les raies d'absorption permettant la photosynthèse de la plante,
- Un système permettant de préparer et de stocker la solution nutritive
- Un système permettant d'afficher les informations et de passer des commandes au système,
- Un système d'alimentation en solution nutritive,
- Un système sur lequel la plante puisse se reposer.

En ce qui concerne les derniers, il s'agira sûrement d'un des derniers points qui seront abordés, il faut avant tout que les autres éléments du système de régulation fonctionnent.

Il convient maintenant de réfléchir plus en détails à la réalisation pratique de chacun de ces éléments. Ils seront pour la majorité d'abord réalisés sous forme de petits blocs fonctionnels avant d'être agrandis. Par exemple, je me concentrerai d'abord sur l'utilisation d'un petit ensemble de LEDs avant de passer sur une matrice plus grande. Idem quant à la régulation thermique et le mélangeur.

Les différentes fonctions du projet seront donc détaillées par la suite. La liste de matériels utilisés sera mentionnée également.

1.3 Cahier des charges

J'ai choisi de décomposer la ferme hydroponique en 7 blocs différents :

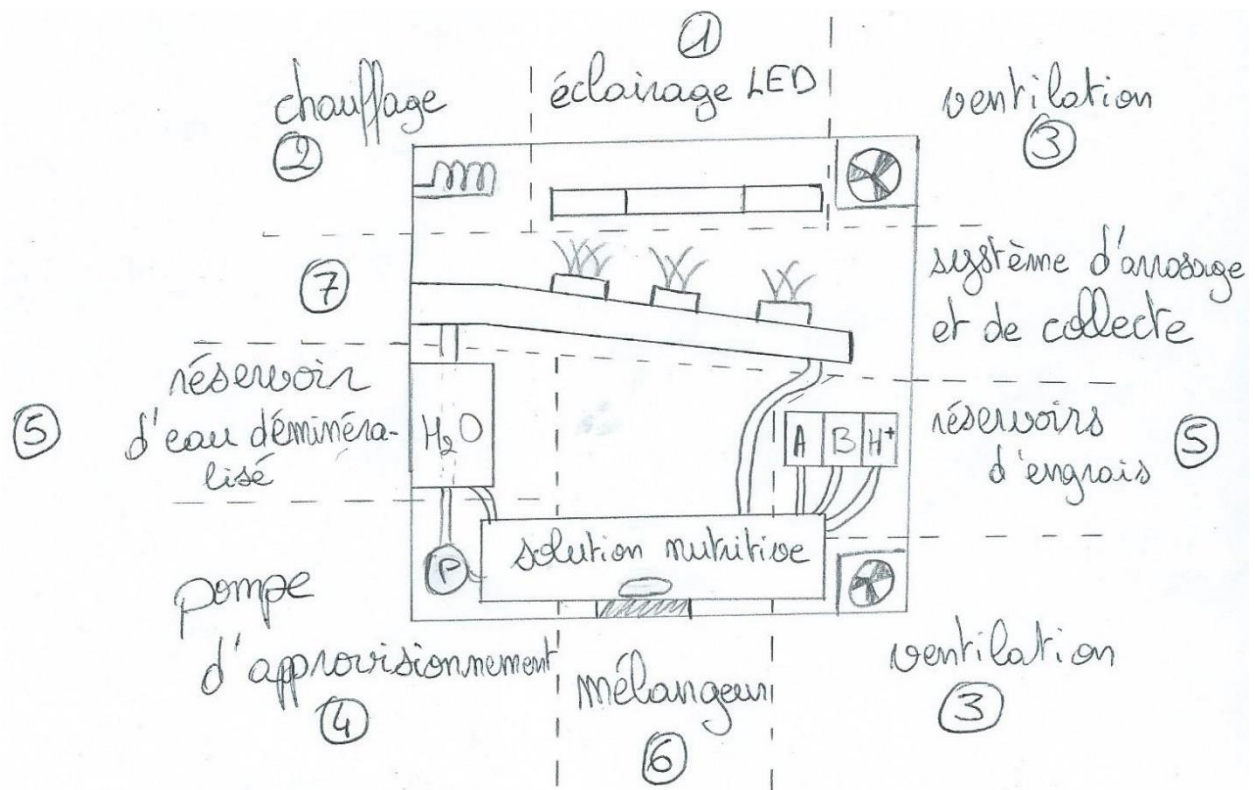


Figure 1 Schéma de la ferme

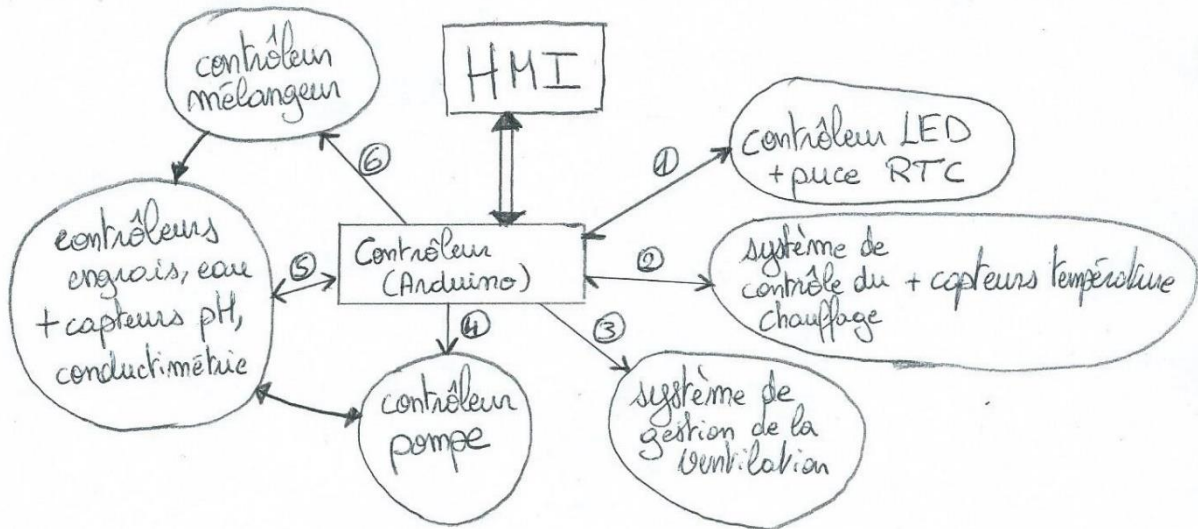


Figure 2 Schéma bloc de la ferme

J'ai pu identifier 6 fonctions de gestion en plus de l'interface homme-machine. Voyons maintenant ensemble ce que chaque bloc doit être capable de réaliser.

1.3.1. Eclairage LED

Une plante a besoin de deux types de rayonnements pour que la photosynthèse s'exécute : des rayons bleus et des rayons rouges.

Pour cela, on se propose d'utiliser une matrice de LED composée tout d'abord d'une vingtaine de lampes pour voir en pratique comment cela fonctionne. Plutôt que d'utiliser des leds RGB, il est préférable d'utiliser directement une led qui possède la longueur d'absorption adéquate.

D'après ce site¹, Les chlorophylles A, B et le carotène absorbent autour de 440nm pour le bleu et 650nm pour le rouge. Il conviendra d'utiliser des leds qui émettent à cette longueur d'onde. Il est possible de choisir plusieurs modes de fonctionnement :

- Un fonctionnement permanent des lumières, qui ne demande par conséquent aucune régulation

¹ <http://www.edu.upmc.fr/ucl/biologie/module1/simuler/chapitre2/photosynt/3spectre-det.htm>
Auteurs : Laboratoire "BIOLOGIE ET MULTIMÉDIA" UPMC, 2000

- Un fonctionnement suivant le cycle jour/nuit, demandant l'ajout d'une puce RTC afin de récupérer l'heure.

Nous nous attacherons d'abord à réaliser la lumière sans régulation. Cependant, il est possible que cela induise un stress trop important pour la plante. Dans ce cas, nous passerons sur un cycle jour/nuit.

1.3.2. Chauffage

Pour réaliser le chauffage, je propose l'utilisation classique d'une résistance chauffante avec ajout d'un ventilateur, afin de permettre de diffuser plus rapidement la chaleur. La régulation se ferait selon une hystérésis et serait également dépendant d'un cycle jour/nuit. Il est recommandé d'avoir une température autour de 21°C en journée et une température plus basse, autour de 18°C la nuit.

Il est possible également d'induire un cycle jour/nuit inverse. En chauffant plus de jour que de nuit améliorera peut-être la productivité de la plante et son rendement au prix d'un stress augmenté. Comme nous comptons utiliser une puce RTC pour l'éclairage, nous pouvons étendre son utilisation ici, cela peut être intéressant de voir comment réagit la plante. Ainsi, la température passerait autour de 20°C en journée et autour de 23°C la nuit.

A voir quel type de résistance chauffante nous utiliserons. Il sera nécessaire d'adjoindre bien évidemment un capteur de température.

1.3.3. Ventilation

Afin de renouveler l'air de la chambre et de pouvoir évacuer la chaleur si jamais trop s'y emmagasine, il est également nécessaire d'adjoindre un système de ventilation. Très simple, ce système de ventilation sera régulé par PWM sur Arduino à l'aide d'un circuit électronique basé sur un MOSFET. Par défaut autour de 20% (choisie arbitrairement), la puissance sera augmentée si jamais l'environnement devient trop chaud. Il est important de renouveler l'air du système, compte-tenu du besoin en oxygène des racines et de plante.

1.3.4. Pompe

La pompe sera chargée d'amener la solution nutritive au système racinaire des plantes. La pompe devra en principe fonctionner à tout instant sauf :

- Si un problème est détecté dans la solution nutritive (pH, conductimétrie, niveau),
- Si la solution est en préparation,
- Si la pompe reçoit une commande d'arrêt.

Nous nous proposons de contrôler la pompe non pas comme un tout ou rien mais comme sous commande PWM afin d'obtenir un fin filet d'eau. Plus d'eau pourra s'écouler si un rinçage ou un mélange est nécessaire.

1.3.5. Engrais, eau, solution nutritive

Point le plus conséquent du projet, celui-ci sera sûrement le plus long à développer. Pour réaliser la solution nutritive, nous avons besoin de 4 éléments :

- Une solution acide pour corriger le pH de la plante, basée sur de l'acide nitrique ou de l'acide citrique,
- Une solution d'engrais contenant essentiellement de l'azote (engrais N)
- Une solution d'engrais contenant surtout du potassium (engrais K)
- Et une solution d'engrais contenant pour sa part du phosphore (engrais P).

Il n'est pas nécessaire d'injecter une grande quantité d'engrais et d'acide dans l'eau. Le pH idéal de l'eau d'une plante est compris entre 5,5 et 6,5. Ce seront les valeurs que nous chercherons à obtenir en permanence.

De même, la conductivité de la solution est tout aussi importante et doit être comprise entre 1,5 et 2,5 mS.cm⁻¹.

Pour apporter la solution nutritive à la plante, nous utiliserons 4 seringues de petites contenances (12mL) équipées chacune d'un système d'injection. Les seringues donnant directement dans la cuve, il n'est pas nécessaire de trouver un système de mélange pour l'instant. Cependant, un agitateur permettrait de faire un mélange correct de la solution nutritive.

Afin de surveiller la qualité de la solution nutritive, nous utiliserons un pH-mètre et un conductimètre. Un principe d'hystérésis (plusieurs paliers clés à atteindre avant de commencer et d'arrêter la rectification) sera utilisé pour contrôler la solution nutritive.

1.3.6. Interface homme-machine

Dans un premier temps, nous utiliserons une communication série pour transmettre les données importantes. A terme, un écran de contrôle devrait permettre de gérer tout au doigt et à l'œil.

1.4. Choix techniques

Pour développer ce système, je souhaite partir sur un développement en C++ de la plateforme. En effet, dans ce système de gestion, l'utilisation d'un code orienté objet me paraît pertinent. De plus il s'agit d'un langage que je serais amené à réutiliser dans mon entreprise et cela me permettra de m'améliorer sur ce point.

En ce qui concerne le matériel, voici une liste non exhaustive des besoins actuels :

- Un Arduino Méga
- Des LEDs bleues et rouges à la bonne longueur d'onde (commandées, LED 3W, 25 de chaque couleur)
- Un TLC5947 pour la commande des LEDs

Attention : Au vu de la puissance des LEDs, un TLC ne sera peut-être pas adapté à la commande, en conséquence, un autre système a été développé.

- Des relais pour la commande des appareils AC (Agitateur, résistance chauffante, pompe éventuellement)

Cependant, une commande quasi complète en PWM est possible car tous les appareils peuvent se commander en 12V. Ainsi, nous essaierons d'implémenter ce système.

- Des ventilateurs (récupérés)
- Des FET de commande (récupérés, IRFZ44N)

- Une pompe (acquise auprès de Monsieur Redon)
- Un agitateur
- 4 moteurs pas à pas (28BYJ-48, dont deux déjà obtenues auprès de Monsieur Redon)
- 4 contrôleurs A4988 pour ces moteurs

Deux exemplaires m'ont été fournis par Monsieur Redon, un A4988 et un DRV8825. Les deux fonctionnent, j'ai choisi le moins cher des deux.

- Une puce RTC
- Un écran I2C (acquis auprès de Monsieur Redon)
- Un capteur température/hygrométrie (type DHT22, acquis également auprès de Monsieur Redon)
- Un capteur pH-métrique
- Un capteur conductimétrique

Je n'ai pas trouvé de modèle constructeur à des prix abordables et permettant d'être immergée en permanence.

J'ai cependant trouvé ceci² qui me paraît être une alternative intéressante, le coût estimé est de 35€ avec tous les composants.

C'est bien moins cher qu'une sonde nécessitant pas mal de maintenance.

- 2 détecteurs de niveau, pour chacun des gros réservoirs
- Une résistance chauffante (A fabriquer, éventuellement)
- Différentes alimentations en 12V et en 5V.

Le reste de matériel nécessaire pour la réalisation du projet et qui ne sont pas des éléments électroniques :

- Du bois pour l'élaboration du caisson (contreplaqué) ou boîtier prêt à l'emploi.

² <https://www.elektormagazine.com/labs/conductivity-shield-for-arduino-uno-1>

- Du plastique type scotch recto blanc verso noir pour protéger les solutions et les engrais de la lumière
- Du substrat (type fibre de coco, boules d'argiles)
- Des pots et des plants de fraises.

D'autres matériels seront sûrement nécessaires tout au long du projet, il convient alors de s'adapter en conséquence.

2. Réalisation du projet

Passons maintenant aux différentes étapes de fabrication, et commençons par l'éclairage LEDs.

2.1. Eclairage LED

Les leds utilisées ont une puissance nominale de 3W. Cependant, aucune indication de tension ou de courant était fournie. Comme je souhaite utiliser une alimentation 12V j'ai d'abord testé une seule led à cette tension.

Cela donne une consommation en courant d'environ 400mA. Ce courant n'est pas adapté au TLC5947 d'après sa datasheet, nous n'utiliserons donc pas ce composant pour piloter les leds.

Comme les leds commandées n'ont pas de datasheet, j'ai testé un montage très simple permettant de vérifier le fonctionnement correct de ces dernières. C'est à une tension de 12V que j'ai choisi d'effectuer mon premier montage.

Le montage repose sur un transistor FET IRFZ44N, commandé par un Arduino et largement capable de fonctionner à 12V et peut fournir supporter plusieurs ampères sans problème.

Nous obtenons alors le montage suivant :

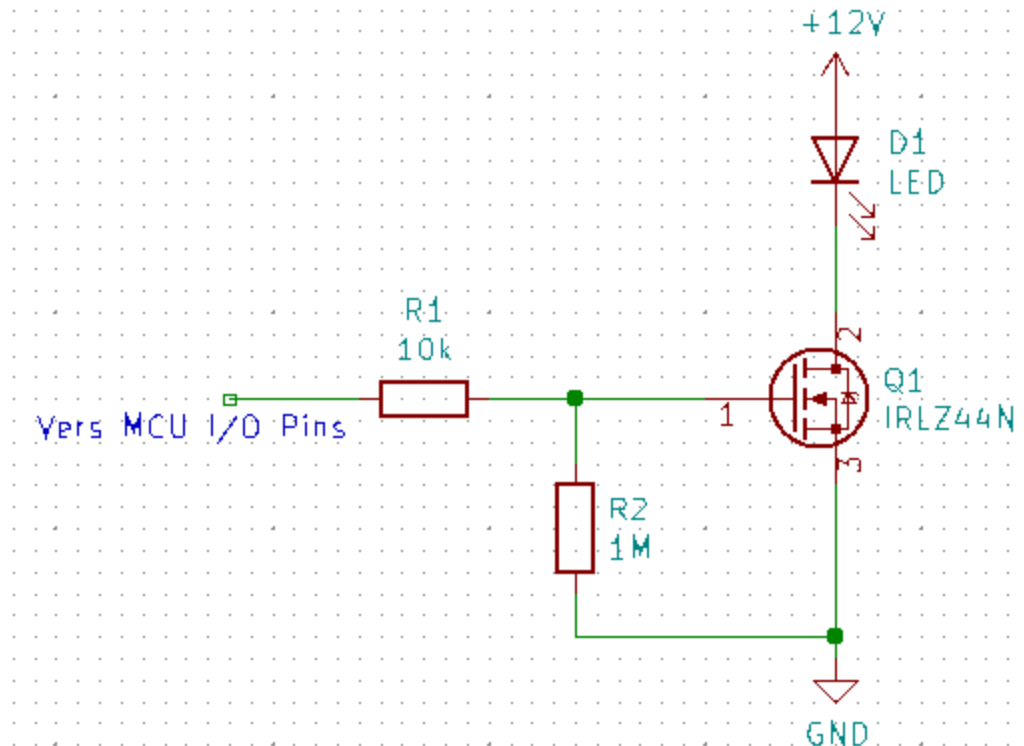


Figure 3 Schéma électrique MOSFET

Après un premier test, il s'avère que ce montage est à 100% létal pour la led... Bien qu'il soit normalement nécessaire d'adjoindre une résistance en série pour limiter le courant dans la led (et sachant que j'allais très certainement détruire au moins une led), je n'avais pas à ma disposition de résistance capable de dissiper 3W.

Pour contourner le problème, j'ai choisi de monter en série 4 leds sur un même circuit de contrôle. Nous n'avons pas besoin ici d'un montage matriciel ni de sélectionner précisément une led alors le montage en série ne pose aucun problème. La valeur de 4 n'est pas aléatoire car d'après différents équipements similaires, ces leds semblent fonctionner à une tension nominale d'environ 3,6V. Après test, il s'avère qu'un montage avec un unique MOSFET fonctionne correctement.

J'ai choisi de « coller » les leds sur une plaque d'aluminium grâce à une sorte de pâte enrichie en poussière de fer. Cependant, la dissipation thermique n'est vraiment pas idéale. N'ayant pas à ma disposition d'autres plaques de métal que celles proposées à Leroy Merlin, je m'en suis contenté. Mais je conseille plutôt de partir sur une véritable feuille de métal à la place.

2.2. Carte de contrôle

Dans la même idée j'ai essayé de contrôler un ventilateur avec ce montage en lieu et place de la led. Il s'avère que cela fonctionne très bien. Pour contrôler les leds et les ventilateurs, j'ai décidé de créer une carte basée sur le schéma précédent :

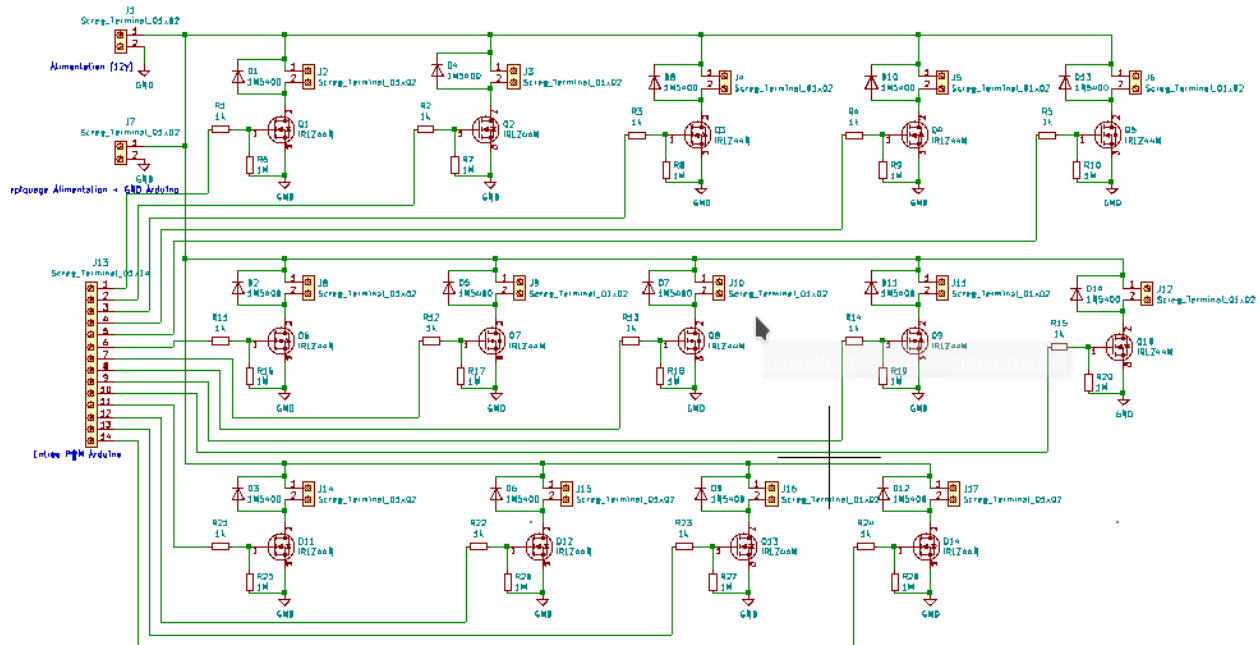


Figure 4 : Schéma électrique de la plaque de contrôle

L'ensemble des MOSFETs se retrouve piloter via PWM par l'Arduino grâce aux 14 pins de sortie présent à gauche. Sur les conseils de Monsieur Boé, une diode de roue libre a été intégré à la fonction de base pour permettre l'utilisation de composants inductifs.

Sur cette carte sera relié absolument tous les éléments nécessitant une régulation fine :

- Lumières,
- Ventilateurs,
- Pompe,
- Résistance chauffante

Pour cette dernière, son ajout me pose quelques soucis, surtout au niveau de son placement et de la diffusion de la chaleur.

Nous obtenons finalement le PCB suivant :

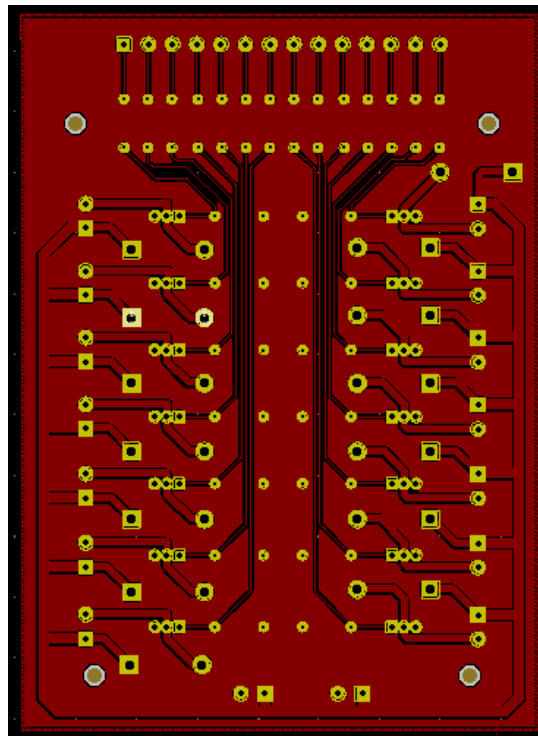


Figure 5 : PCB carte de contrôle

Voici le rendu final :

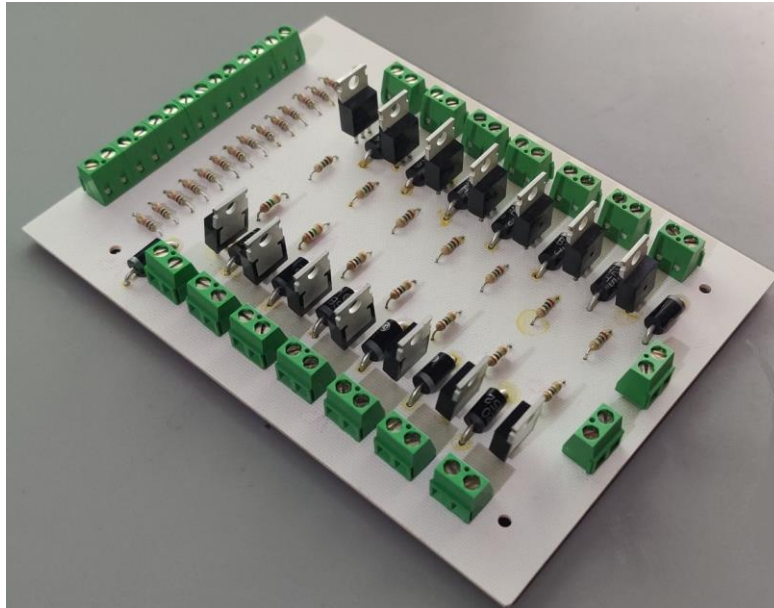


Figure 6 Carte de contrôle imprimée

Les traces jaunes visibles sont des traces de flux et furent nettoyées avec de l'alcool isopropylique avant utilisation.

Il s'avère par contre à l'utilisation que cette carte ne fonctionne pas correctement : en effet, il est impossible d'éteindre et d'allumer les MOSFETs correctement. Cela s'explique par la tension de grille trop faible appliquée en entrée de la commande. Par conséquent, il est nécessaire de réaliser un montage d'adaptation pour contrôler ces MOSFETs précisément. Pour cela, une platine de test basée sur des optocoupleurs a été utilisée en premier lieu mais cela ne permet pas de basculer le potentiel correctement. Comme le suggère Alexandre Boé, il faudrait tester avec des transistors utilisés en commande en entrée en lieu et place de l'Arduino directement.

Si cette carte est amenée à être reconstruite, il faudra veiller à utiliser des MOSFETs dont la commande est possible en TTL tel qu'un STP16NF06 de chez ST.

2.3. Conductimètre

Comme dit plus haut, un conductimètre est un appareil fragile et cher. De plus les versions trouvées pour Arduino nécessitent beaucoup de maintenance et ne permettent pas l'usage prolongé des sondes.

L'avantage de ce conductimètre est de pouvoir remplacer la sonde facilement, il suffit alors d'en recréer une lorsque l'actuelle est trop rongée par la corrosion et l'acide présent dans la solution nutritive.

Je ne rentrerai pas dans les détails de sa conception comme tous les éléments nécessaires pour la réaliser peuvent être trouvés sur le site internet (p. 10).

Voici le résultat de la carte obtenue :



Figure 7 Carte conductimètre vue de côté

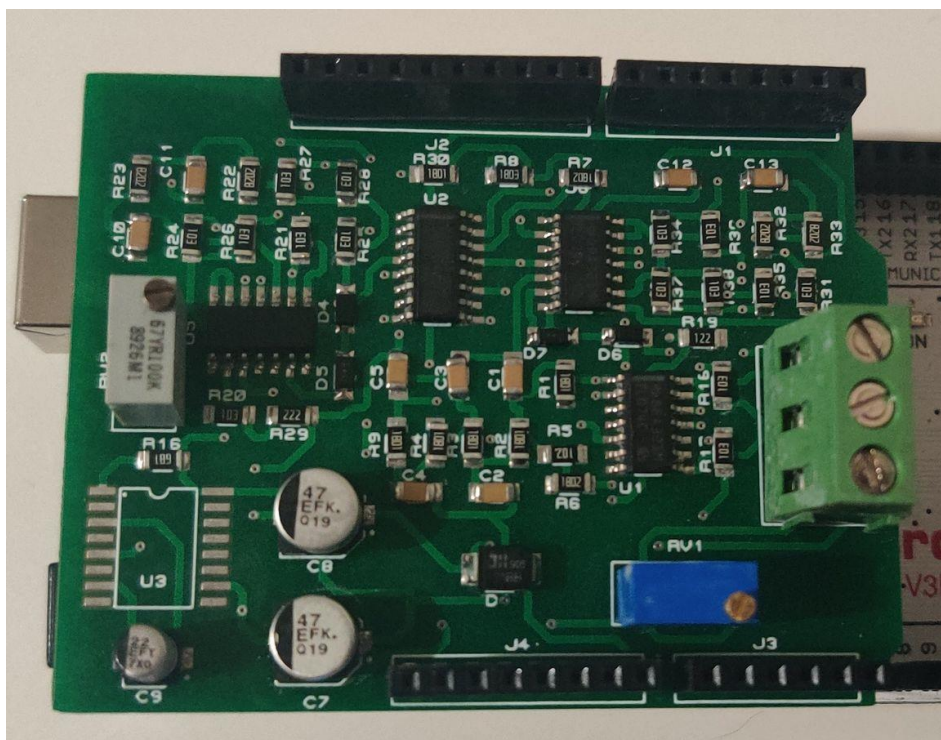


Figure 8 Carte conductimètre vue de dessus

Vous noterez l'absence de la puce U3 qui m'empêche de la tester.

2.4. Système d'injection

Je suis allé me renseigner sur les solutions existantes pour préparer l'engrais et les plants à Culture Indoor à Tourcoing. Je tiens à les remercier pour leurs conseils et leur accueil car ils ont été d'une gentillesse incroyable.

Cela m'a amené à récupérer 4 solutions mères contenant chacune du phosphore, du potassium, de l'azote et de l'acide (la série Flora de GHE). Ces 3 premiers composants ne réagissent pas très bien entre eux lorsqu'ils sont concentrés.

C'est donc 4 systèmes d'injections qu'il faut maintenant piloter. Fort heureusement, les doses recommandées par litres de solutions semaines après semaines sont fournis par le fabricant, ainsi que les conductivités cibles de la solution après mélange. Cela permettra ainsi même si le conductimètre ne fonctionne pas de faire les mélanges quand même.

J'ai récupéré sur thingiverse³ reposant sur les 28BYJ-48 et lancé l'impression de 4. J'ai pu tester le système seul et ça fonctionne, il faut maintenant trouver les bons paramètres permettant d'injecter des volumes précis. Les premiers paramètres testés permettent d'injecter 0.6mL, 0.5mL fonctionnera également.

Le moteur chauffe cependant, il faudra faire attention à bien régler le niveau de tension référence pour limiter le courant.

2.4.1 Carte de contrôle moteur

Pour les contrôleurs moteurs, j'ai réalisé une petite carte pour me simplifier la vie. Elle s'appuie sur des breakout board A4988 et rajoute des connecteurs à l'ensemble.

Ci-dessous, vous trouverez le schéma électronique et le PCB :

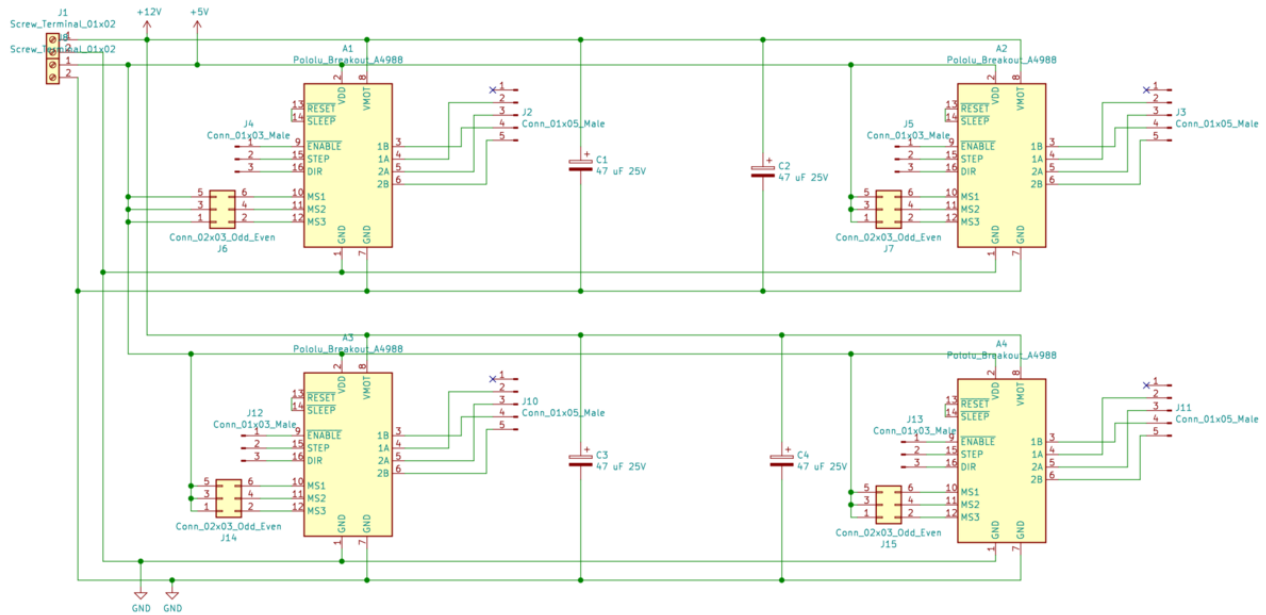


Figure 9 Schéma de la carte contrôle moteurs

³ <https://www.thingiverse.com/thing:2797132>

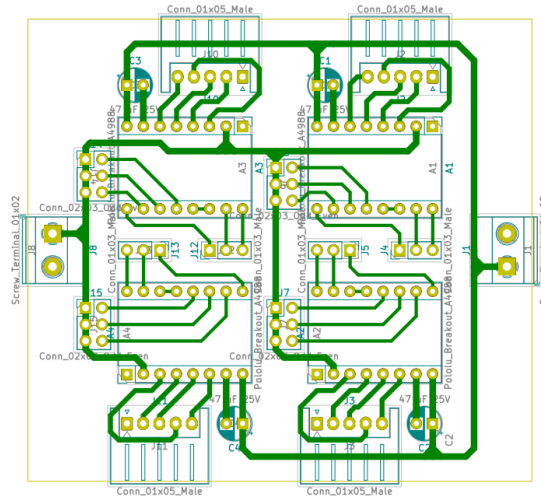


Figure 10 PCB de la carte contrôle moteur

Des jumpers permettant de contrôler le microstepping directement sur la carte ont été inclus. Bien qu'on utilise des moteurs fonctionnant en 5V et quadripolaire, il est possible de s'en servir en moteur bipolaire en ignorant simplement la ligne 5V, car ils se contrôlent avant tout en courant.

Voici le résultat final :

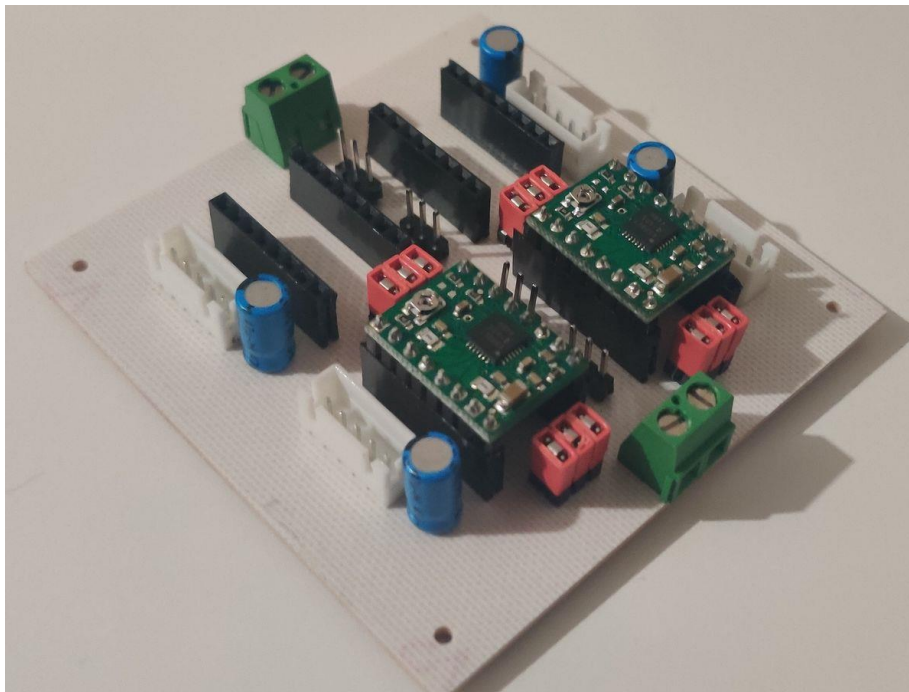
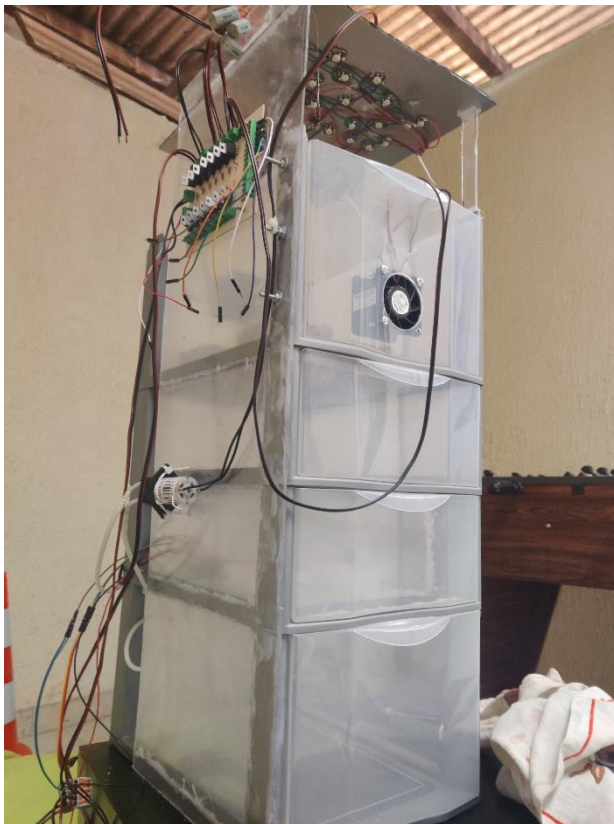


Figure 11 Carte de contrôle moteur

Lors des tests, la carte fonctionne correctement.

2.5. La ferme

Par manque de temps, au lieu de concevoir moi-même un boîtier, j'ai décidé d'utiliser une étagère en plastique constituée de 4 bacs. Le plus en bas servira comme réservoir d'eau, le second pour le système d'injection, le troisième comme gouttière et le dernier servira à recevoir les plants.



Eclairage

Bac des plants

Gouttière

Mélangeur

Bac à eau

Figure 12 Différents éléments de la ferme

Afin de fixer l'ensemble des éléments de la ferme, j'y ai fixé un panneau en plexiglas et ai percé des trous sur le panneau afin de visser tous les éléments nécessaires.

Pour réaliser le premier bac, un simple trou pour insérer l'entrée de la pompe a été percé. De même, un trou a été percé au niveau du bac « gouttière » pour la sortie.

L'avant du tiroir du système d'injection a été coupé, une plaque en plexiglas est rajoutée pour empêcher que de l'eau vienne s'infiltrer dans le système et des trous ont été percés pour laisser passer l'embout des seringues. La carte de contrôle moteur s'y trouve, faute de câbles suffisamment longs.

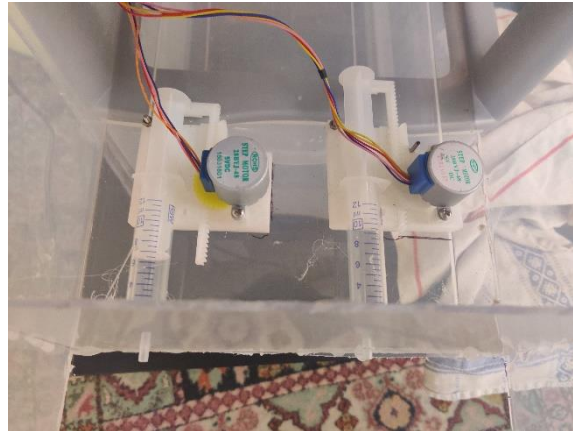


Figure 13 Compartiment des injecteurs

L'ensemble du bac gouttière a été découpé pour créer un dénivellement très fin. L'eau reste en contact plus longtemps à la fois avec les racines et avec l'air. Ainsi, l'eau se retrouve oxygénée plus facilement et les racines ont le temps d'absorber les nutriments qui lui sont utiles.

Le dernier bac a été découpé pour accueillir 4 plants. Les ventilateurs sont fixés grâce à des vis et placé pour créer un flux d'air central. Le thermomètre est placé sur le côté de ce bac.



Figure 14 Bac accueillant les plants

2.6. Problèmes rencontrés et pistes d'amélioration

Plusieurs problèmes et difficultés ont été néanmoins rencontrés. Tout d'abord le problème de commande de la carte de contrôle PWM a ralenti le projet, une solution d'urgence fut développée à base d'optocoupleurs mais n'a pas fonctionné. Comme dit précédemment, il faudrait ajouter une interface à base de transistors utilisés en commande entre les entrées de cette carte et l'Arduino.

Un autre problème de « taille » a été rencontré. La plupart des câbles livrés avec les différents composants de la ferme sont trop courts. Bien que des extensions ont pu être rajoutés à la plupart, cela rajoute des points de connexions pouvant se débrancher très (trop) facilement, notamment pour le capteur de température et les moteurs.

L'alimentation initialement destinée à la ferme ne fonctionnait pas correctement : lorsque trop de puissance était consommée, elle se coupait. Une solution de dépannage fut d'utiliser une alimentation de PC.

Également, la dissipation thermique des leds m'a posé quelques soucis. J'ai laissé fonctionner le système à pleine puissance pendant plus de 2h pour m'assurer qu'il ne céderait pas sous la chaleur et il s'avère que si. Il serait nécessaire de transférer toutes les leds sur une véritable plaque en acier ou en aluminium afin de maximiser le transfert de chaleur. Un meilleur conducteur qu'une pâte enrichie en ne peut qu'être conseillé.

Un autre problème est l'accessibilité aux outils pour concevoir la ferme, ce qui m'a poussé à en acheter certains. Ces dépenses auraient été évitées avec plaisir.

Comme vous pouvez le constater, tout le cahier des charges n'a pas été rempli, faute de temps.

Néanmoins, la grande majorité des fonctions restantes peuvent être programmées. Il est donc largement possible d'améliorer cette ferme, en ajoutant les fonctions de gestion du temps notamment, qui est à mon sens le moyen de rendre cette ferme complètement autonome assez facilement. Un « sample code » peut être trouvé sur le wiki.

Conclusion

Ce projet fut très intéressant. C'est en effet la première fois que je mène un projet de cette envergure. Bien que le boîtier n'ait pas été réalisé en entier, la base de départ présente permet déjà de s'amuser un peu à la régulation et à la gestion des différents paramètres en fonction de retour de capteurs.

L'occasion de travailler sur une ferme hydroponique est une véritable chance. J'ai toujours été passionné par la chimie et la culture des plantes. Depuis longtemps, j'ai voulu m'y essayer et c'est finalement l'occasion que j'attendais. Maintenant que j'ai tous les éléments à ma disposition, il est plus que temps de sauter le pas.

J'ai également eu l'opportunité de développer mes compétences techniques, aussi bien lors de la conception des cartes que lors de leurs soudures et de l'intégration et le dimensionnement des différents éléments.

Comme tout projet, j'ai rencontré quelques difficultés en chemin, mais il est toujours possible d'y apporter des améliorations. Ainsi, le résultat final de ce projet est finalement une bonne base de démarrage pour développer ses compétences en automatisation et en programmation.