



# cultivez-le vous-même

une jardinière numérique d'intérieur tout-en-un



Dmitrii Albot (Moldavie)

Que diriez-vous d'un « jardin numérique » dans une petite boîte ? Pour découvrir comment réaliser une jardinière numérique dotée de capteurs et d'un  $\mu$ contrôleur pour faire pousser des plantes, lisez ce qui suit.

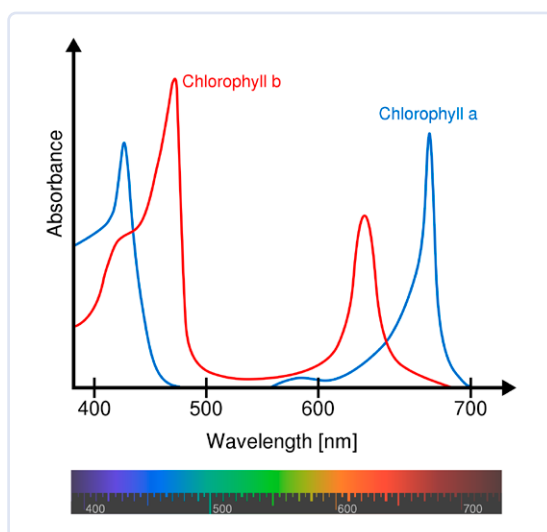


Figure 1. Spectres d'absorption de la chlorophylle a et b.  
(Source : Daniele Pugliesi.  
CC BY-SA 3.0 [9])

Mon projet s'inspire de *This computer will grow your food in the future* (À l'avenir, cet ordinateur fera pousser votre potager) [1], discours de Caleb Harper, directeur de l'*Open Agriculture Initiative* (Initiative pour une agriculture ouverte) du MIT, sur l'agriculture numérique. Le point majeur abordé dans son exposé est : « La culture en intérieur de délicieuses plantes alimentaires riches en nutriments, dans le monde entier ? » Et mon idée a pris forme !

## Objectifs et considérations

Mon souhait : construire une sorte d'incubateur qui créerait des conditions climatiques idéales pour cultiver des plantes et fournirait juste la quantité de lumière et de nutriments nécessaires. Il comportera un simulateur de lumière solaire, un système d'irrigation et un contrôleur climatique dans une enceinte élégante et moderne.

Puisque la chlorophylle des plantes ne réagit guère qu'à deux bandes de lumière autour de 450 et 650 nm (**figure 1**), l'éclairage doit associer des LED rouges et bleues pour bien soutenir la croissance des plantes et leur floraison.

Je voulais utiliser un procédé d'arrosage récent appelé *Aeroponics* ou *Fogponics* [2], qui utilise un atomiseur à ultrasons pour produire un brouillard infusé d'engrais d'arrosage des plantes. Ce système automatisé doit doser la bonne quantité de nutriments, juste quand c'est nécessaire.

Par conséquent, il faut des capteurs de pH et de total de solides dissouts (en anglais *TDS Total Dissolved Solids*) afin d'obtenir dans le réservoir d'eau le pH idéal pour les plantes, respectivement de doser les nutriments. En outre, un bouton de commande relié au système doit piloter le changement automatique de l'eau.

Il faut aussi un système de contrôle précis de la température et de l'humidité de l'air ambiant de l'enceinte à 1 °C, respectivement 1 % près. Un capteur de température/humidité, par ex. DHT22 ou DHT11 et un ventilateur asservi adéquat y pourvoiront.

Enfin, et ce n'est pas le moins important, je dois contrôler et surveiller le système via une appli mobile. Ce sera la 1<sup>ère</sup> fois de ma vie que je tenterai d'en développer une ! L'appli doit fournir les données (pH, température, humidité, nutriments, etc.) en temps réel ainsi qu'un graphique temporel pour produire des statistiques et partager les données de croissance via les médias sociaux. J'aimerais bien mettre en place des alertes intelligentes pour me signaler si je dois intervenir. Outre l'affichage des mesures, le système doit aussi permettre le réglage de ses paramètres.

Vous pouvez l'imaginer, je ne suis pas le premier à avoir une telle idée, et on obtient souvent de bons résultats en améliorant ce qui existe déjà. On trouve divers projets similaires sur le marché, mais, malgré tous leurs avantages, ils ont certains inconvénients : par ex., ils occupent trop d'espace, sont trop petits, trop chers, ou ils sont conçus pour un seul végétal, etc. En tout cas, j'ai voulu un système avancé, original, à code source ouvert, qui présente peu d'inconvénients et ne met en œuvre que des fonctionnalités optimisées. Cela semble très ambitieux, et ça l'est. Remarque corollaire : le projet est très vaste et dépasse largement le cadre d'un article d'Elektor. veuillez vous référer à la page web du projet [3]. Vous y trouverez des informations de base et de détail ainsi que des instructions de montage complètes.

## Expériences

Les plantes croissent lentement ! Il leur faut des semaines, voire des mois, pour pousser - vous devez en être conscient. Même si le concept de base est clair, il faut faire quelques expériences préalables pour voir si tout peut réussir comme prévu et quels ajustements à la réalité sont nécessaires. Je voulais d'abord savoir si cultiver des plantes sous un brouillard enrichi en nutriments et un éclairage LED marche mieux qu'un système classique avec sol irrigué et lumière solaire naturelle. En théorie, cela doit être le cas, mais il faut s'en assurer par des essais ! Pour ceux-ci, j'ai divisé les plantes en quatre groupes :

- Sol + lumière solaire : culture en conditions naturelles, en terre et placée sur le rebord de la fenêtre.

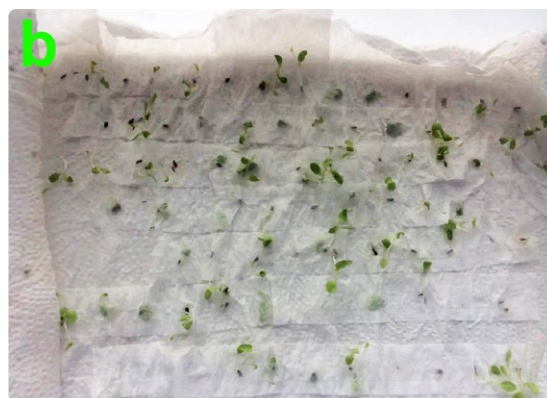


Figure 2. Les premières graines germent.

Figure 3. Semis de 7 jours repiqués dans un autre substrat (a) et après 7 jours de plus (b).



- Brouillard + lumière solaire : culture dans un récipient sous brouillard riche en nutriments et placé sur le même rebord de fenêtre.
- Sol + lumière LED : culture en terre, mais avec une lumière LED au lieu de la lumière solaire.
- Brouillard + lumière LED : ce système est censé être le meilleur car il associe les deux principales caractéristiques du système proposé.

Au rayon plantes d'un supermarché local (chaîne allemande Kaufland), j'ai acheté des graines de laitue mélangées pour en faire mes « cobayes ». Soyez indulgent avec moi car c'était ma première tentative de semis et de culture. Mes recherches préalables m'ont appris qu'il fallait d'abord laisser germer les graines. J'ai donc pris un récipient en plastique recouvert de papier absorbant et y ai placé les graines. À ce stade, elles ont besoin d'une humidité de presque 100 %, j'ai donc pulvérisé de l'eau sur le papier et recouvert le tout d'un sac en plastique pour que l'eau ne s'évapore pas (figure 2a). Je n'y ai pas touché pendant 10 jours, mais

quelle surprise quand j'ai ouvert le récipient : presque toutes les graines avaient germé (figure 2b) ! J'étais aussi heureux qu'un enfant.

Ensuite, j'ai dû sélectionner les meilleures plantules (les plus grandes, avec la tige la plus épaisse). Un tutoriel YouTube recommandait de repiquer les plantules dans un autre substrat jusqu'à la formation des « secondes feuilles ». J'ai commandé des granulés de cocotier sur Amazon. Ils ont des propriétés similaires à celles de la terre, cerise sur le gâteau, leur volume est multiplié par 6 quand on les arrose. J'ai aussi commandé une boîte cloisonnée conçue pour la culture. Elle ne m'a coûté que 2 €, et j'ai pu tout organiser au mieux. J'ai placé des poches de granulés de cocotier dans les compartiments de la boîte et les ai arrosées jusqu'à hydratation complète, j'ai placé les plantules au milieu et ai recouvert la boîte du plastique transparent, fourni avec le kit de la boîte. Ma serre expérimentale ressemblait à la figure 3a. J'ai fermé la boîte et ai attendu une semaine. Nouvelle surprise à l'ouverture : tout avait vraiment poussé. La figure 3 b prouve qu'après une semaine, la différence est notable !

Figure 4. Godets ajourés imprimés en 3D (a) et système d'essai monté (b).







Figure 5. Essai suivant avec un autre substrat (a). Un seul type de graine a germé (b).

Je peux maintenant les mettre en terre avec des billes d'argile et expérimenter le brouillard !

Pendant un cours de CAO, j'avais conçu des godets ajourés dans lesquels j'ai inséré les plantes (**figure 4a**). J'ai aussi acheté un récipient en plastique de la taille voulue et y ai dessiné les trous à percer. Sur la **figure 4b** et dans ma vidéo YouTube [4], vous verrez mon système d'essai assemblé, avec les plantes dans les granulés de cocotier, les billes d'argile et la terre.

Les résultats auraient dû être meilleurs ! Seules quelques plantes survécurent à la brumisation. Je soupçonne que cela vient soit du milieu de croissance, soit du brouillard, insuffisant pour maintenir l'humidité voulue des boules d'argile et du sol. En outre, je n'ai rien pu faire pendant les vacances de Pâques car le labo était fermé. Résultat : toutes mes plantules moururent !

Après cet échec, je décidai de tester un système utilisant la laine de roche comme milieu de culture alternatif (**figure 5a**). Au bout d'une semaine, j'ai ouvert ma boîte (**figure 5b**) et constaté qu'un seul type de graines avait germé. Pour gagner du temps, je n'ai continué qu'avec les graines germées. Entretemps, j'installai un autre système de nébulisation et essayai d'optimiser le temps de fonctionnement pour voir si les graines germaient en **n'utilisant que** la nébulisation ! Je continue à expérimenter avec divers paramètres et conditions pour voir jusqu'où je peux aller.

## Conception électronique

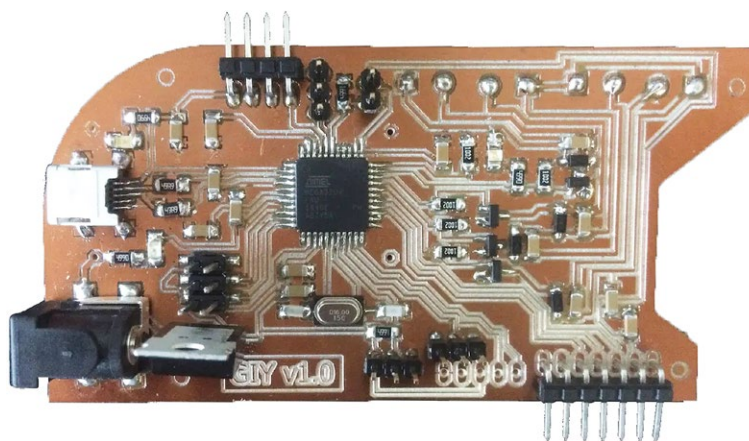
En deux mots : pour la carte, je souhaitais choisir entre *satshakit* [5] de *Daniele Ingrassia* et *FabLeo* [6] de *Jonathan Grinham*. La 1<sup>ère</sup> est fabable, 100 % compatible avec l'EDI Arduino et ses bibliothèques et une version améliorée et open-source de Fabkit. Elle est moins chère, mais aussi plus rapide (16 MHz) et plus facile à souder. L'EDI Arduino la reconnaît comme une Arduino Uno.

La 2<sup>e</sup>, la *FabLeo* a des caractéristiques très similaires, ainsi qu'un USB matériel. Ayant déjà de l'expérience avec

l'ATmega328P et préférant essayer autre chose, je décidai d'utiliser la FabLeo.

Pour la CAO de la carte, j'ai utilisé EAGLE. La version gratuite suffit pour ce projet. Les fichiers de conception sont téléchargeables ici [3]. Le réseau fab maintient constamment à jour la bibliothèque *fab.lbr* [7] que j'ai utilisée. Le circuit ainsi que la fabrication et la soudure de la carte sont disponibles en détail sur [3]. J'avais un besoin spécifique d'un convertisseur élévateur 12 à 24 V (commutable) pour alimenter la machine à brouillard à ultrasons. J'ai placé au verso de la carte un module wifi fabriqué lors de la semaine « communication et réseau » du cours que je suivais. La **figure 6** montre la carte terminée qui en résulte.

Figure 6. La carte prototype, composants soudés.



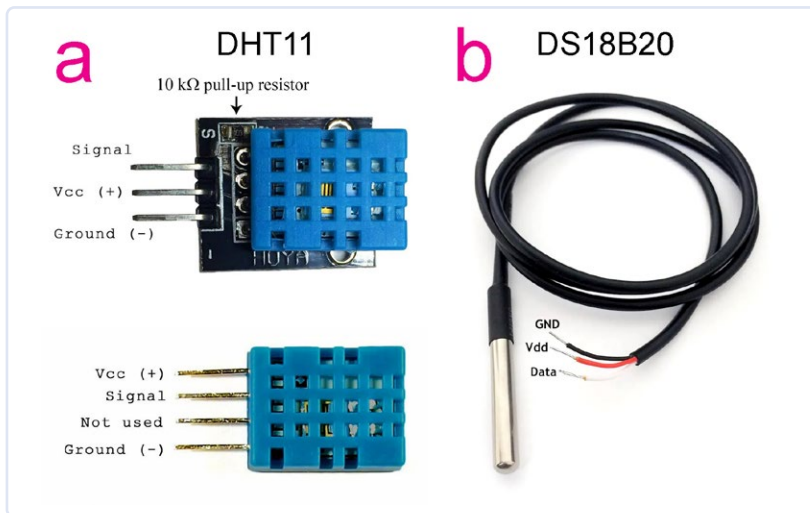


Figure 7. Les capteurs : DHT11 (a) et DS18B20 (b).

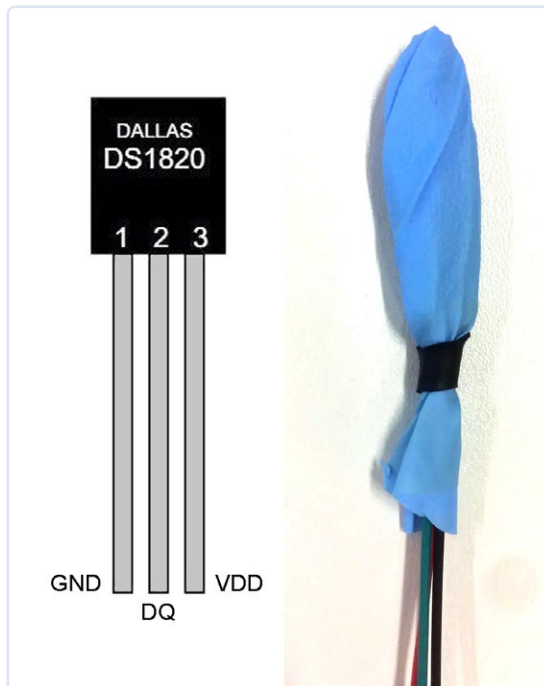


Figure 8. Isolation d'un DS18B20 bricolée avec un doigt de gant en caoutchouc.



Figure 9. Le LCD utilisé a une résolution de 128×64 pixels, seules 3 broches le relient à la carte.

## Capteurs

Pour programmer ma carte, j'ai utilisé l'EDI Arduino. Il faut la connecter au hub USB et télécharger le code [3]. Le 1<sup>er</sup> capteur connecté fut le DHT11 (**figure 7a**) pour mesurer température et humidité. Ces capteurs très simples et lents, parfaits pour les novices, facilitent l'enregistrement des données. Le DHT11 associe un capteur d'humidité capacitif et une thermistance. Il est en outre doté d'une puce très simple qui effectue une conversion A/N et transmet les données (température et humidité) sous forme numérique lisible par tout µcontrôleur. Le DS18B20 (**figure 7b**) est un capteur numérique de température à 1 fil de Maxim d'une précision de 9 à 12 bits (plage : -55 à 125 °C ±0,5 °C). Les fonctions d'exploitation de ce capteur sont disponibles dans le monde Arduino.

Étrangement, après avoir réussi à programmer les capteurs, la carte cessa de fonctionner tandis que je connectai tous les capteurs ensemble. Il m'a fallu du temps pour comprendre pourquoi cela s'était produit. Comme solution rapide, je décidai d'utiliser un DS18B20 « nu » avec une isolation bricolée avec le doigt d'un gant en caoutchouc (**figure 8**).

Le 2<sup>e</sup> capteur est une *LDR* à l'ancienne - un composant électronique passif. Sa résistance atteint environ 1 MΩ dans l'obscurité ( $\approx 0,1$  lx) et descend autour d'1 kΩ ( $\approx 100$  lx, selon le modèle). La LDR est montée en diviseur de tension avec une résistance et lu via une entrée ADC du µcontrôleur.

En 3<sup>e</sup> lieu il faut mesurer le niveau d'eau. Je voulais un capteur qui déclenche une alarme si le réservoir d'eau est vide et qu'il est temps de refaire le plein. Je l'ai tout bonnement construit. Il repose sur le principe de la mesure de la conductivité électrique entre deux électrodes, comme pour un capteur d'humidité du sol. J'ai trouvé comment



calibrer le capteur pour qu'il réponde à mes besoins. J'y réussis après quelques essais.

### Connexion LCD

Le système nécessite un écran. Mon LCD utilisait trop de broches pour ma carte. J'ai donc dû trouver un moyen de connecter l'écran 128×64 différemment. Finalement je n'utilise que 3 broches numériques, laissant le reste des broches disponibles pour d'autres usages. Il y a un 2<sup>e</sup> avantage : moins de fils pour relier toutes les parties, le câblage est plus clair. La **figure 9** montre l'écran utilisé.

### Le 4<sup>e</sup> capteur : pH

C'est le capteur le plus difficile que j'ai eu à traiter. Les données sur le « pH Sensor v1.1 » sont insuffisantes (**figure 10**). Je décidai de l'explorer moi-même. Placée en milieu aqueux, cette sonde se comporte comme une (minuscule) batterie. Selon le pH, elle envoie une tension positive ou négative de quelques mV. J'ai donc dû utiliser un AOP pour transposer ce faible signal sur une gamme de 0...5 V gérable par une carte Arduino. Le processus d'étalonnage de ce capteur est décrit en détail ici [3].

### MOSFET

Dans mon système, je dois alimenter les rubans à LED

RGB et le nébuleuse à ultrasons. Je les ai connectés via des MOSFET contrôlés par des broches numériques. La **figure 11** montre la partie sorties MOSFET du circuit.

Figure 10. Le « pH Sensor v1.1 » est compliqué à étalonner. (Source : [10])

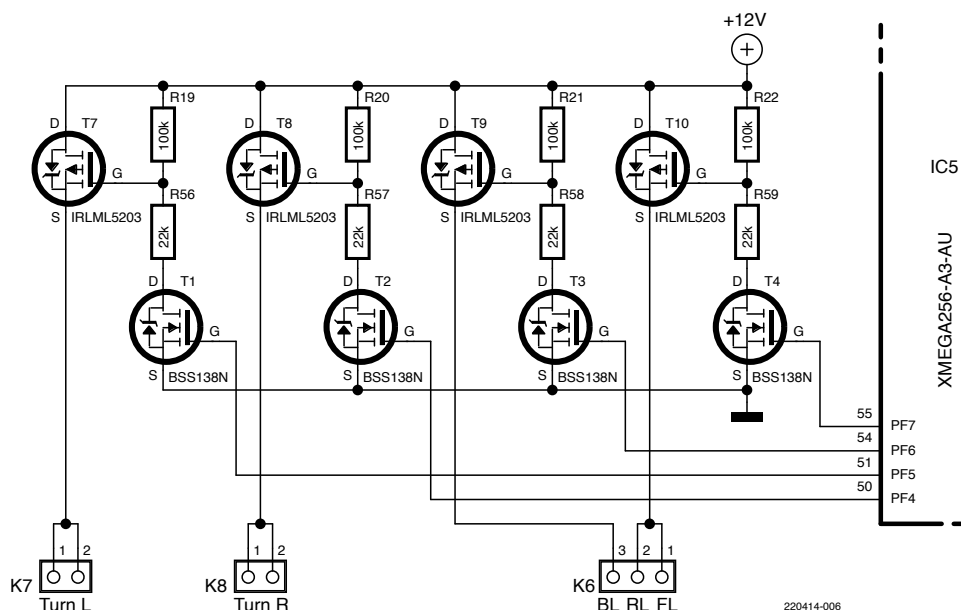
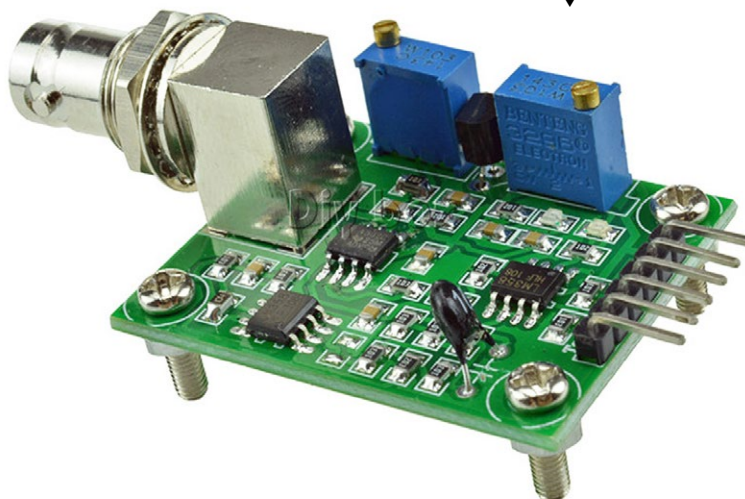


Figure 11. Gros plan sur les étages de sortie MOSFET (CAO EAGLE).



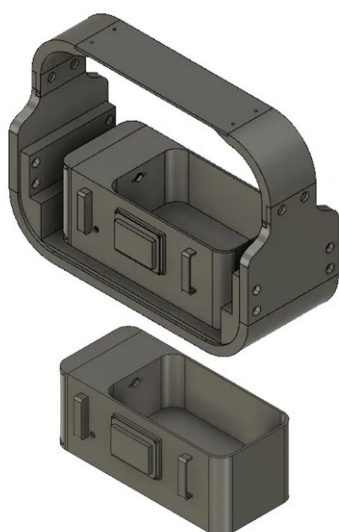


Figure 12. Réalisation complète du boîtier et du réservoir d'eau.

## Design extérieur

Pour mon système final, j'ai bien utilisé les techniques de conception et d'impression 3D. Avec deux imprimantes différentes et en jouant sur les paramètres j'ai pu obtenir les résultats escomptés. Je voulais relever le défi d'un design vraiment beau. L'esthétique était tout aussi importante que la fonctionnalité. Je voulais aussi que le système puisse être assemblé, la tâche fut donc encore plus ardue. Je voulais me servir des compétences que j'avais acquises en impression 3D, fraisage CNC, découpe laser, etc.

Je fis d'abord un simple croquis sur papier, puis me plongeai dans Autodesk Fusion 360. La **figure 12** montre la jardinière complète, construite à la suite de tous ces efforts. Ma vidéo YouTube [8] montre comment cela a été imprimé en 3D. Voici quelques caractéristiques : tout d'abord, il y a assez d'espace pour les plantes, ensuite j'ai percé un trou au milieu pour le nébuliseur pour pouvoir l'équilibrer avec le réservoir. L'astuce, c'est que le niveau d'eau doit être 2 cm au-dessus du nébuliseur, pour éviter tout gaspillage. Mieux vaut donc placer le nébuliseur sous

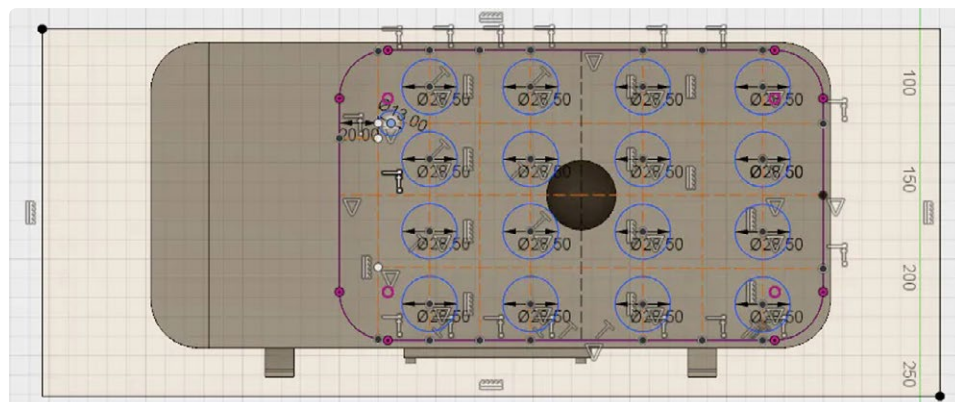


Figure 13. Plan d'alignement des trous pour les plantes.

le niveau du réservoir, et le zéro d'eau est exactement à l'endroit où il devrait être : zéro pour le réservoir = 2 cm au-dessus du nébuliseur. De cette façon, toute l'eau est consommée !

Il restait encore beaucoup à faire. J'ai imprimé en 3D les godets ajourés des plantes et découpé au laser un support adéquat (**figure 13**). Au total, j'ai découpé et percé bon nombre de plaques d'acrylique. La page [3] donne force détails, notamment sur le scellage sous vide du réservoir d'eau avec une plaque en plastique. Cette page donne d'autres liens vers des vidéos YouTube.

## Ça pousse !

La **figure 14** montre les rubans à LED utilisés. La carte à CI est dans la section électronique (**figure 15**). Pour que tout soit clair, la **figure 16** illustre la façon dont les plantules sont logées dans leur godet ajouré, le tout protégé par une plaque couvrante. Hourrah ! La **figure 17** montre le système complet en action. Magnifique !

Si ce projet vous inspire et que vous souhaitez réaliser ce système ou une version optimisée de celui-ci, vous



Figure 14. Les rubans de LED RVB utilisés.

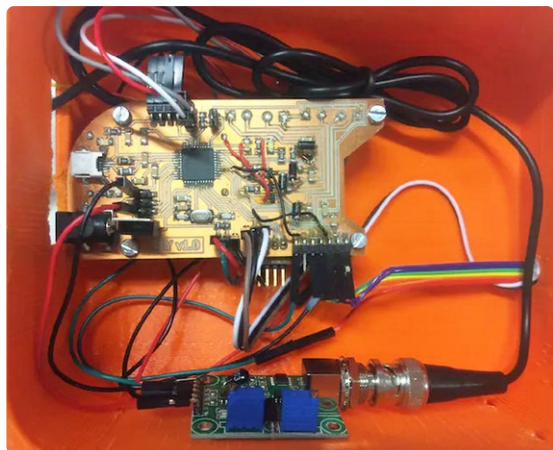


Figure 15. La carte et un capteur à placer dans l'espace « électronique ».

trouvez une mine d'informations sur la page du projet déjà mentionnée [3]. Avant tout, gardez à l'esprit que ce projet ne peut pas être réalisé en un week-end ! ◀

220414-04 - VF : Yves Georges

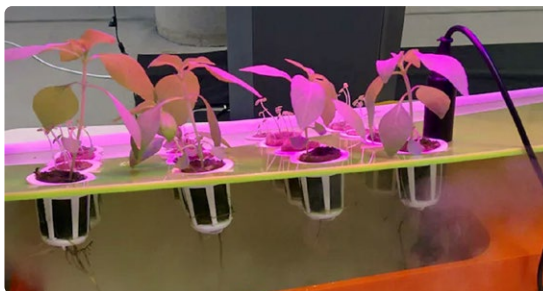


Figure 16. Vue latérale des plantules dans leurs godets ajourés.



Figure 17. Le système complet dans toute sa splendeur.

### À propos de l'auteur

Dmitrii Albot est diplômé de la Fab Academy et ancien coordinateur de FabLab en Jordanie. Fondateur de cityfarm ([www.cityfarm.md](http://www.cityfarm.md)), il a pour mission de diffuser en ville le savoir faire, les techniques et les entreprises de l'agritech.

### Des questions, des commentaires ?

Si vous avez des questions techniques, n'hésitez pas à écrire à l'auteur ([albot.dumitru@hsrw.org](mailto:albot.dumitru@hsrw.org)) ou à la rédaction d'Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).



### Produits

Vous recherchez les principaux éléments mentionnés dans cet article ? Arduino et Elektor s'occupent de vous !

- **ESP-12F - module wifi ESP-12F (basé sur l'ESP8266) (SKU 17781)**  
[www.elektor.fr/17781](http://www.elektor.fr/17781)
- **37-en-1 capteurs d'Elektor (SKU 16843)**  
[www.elektor.fr/16843](http://www.elektor.fr/16843)

### LIENS

- [1] TED Talk : Dans le futur, cet ordinateur pilotera votre potager : <http://youtu.be/KJlrd3U1Kxk>
- [2] Fogponics : <https://en.wikipedia.org/wiki/Fogponics>
- [3] Site du projet, create.arduino.cc : <https://elektor.link/arduinoigi>
- [4] Vidéo YouTube de mon système de test : <https://youtu.be/LF93Xjd8avk>
- [5] satshakit @ GitHub : <https://github.com/satshas/satshakit>
- [6] Données de la carte FabLeo : <https://elektor.link/fableoboard>
- [7] télécharger la bibliothèque fab.lbr : <https://elektor.link/fablbr>
- [8] Impression 3D des boîtes (YouTube) : [https://youtu.be/938Yz\\_WegH8](https://youtu.be/938Yz_WegH8)
- [9] Licence Attribution-ShareAlike 3.0 : <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>
- [10] La sonde pH v1.1 : <https://elektor.link/phsensor11pic>

