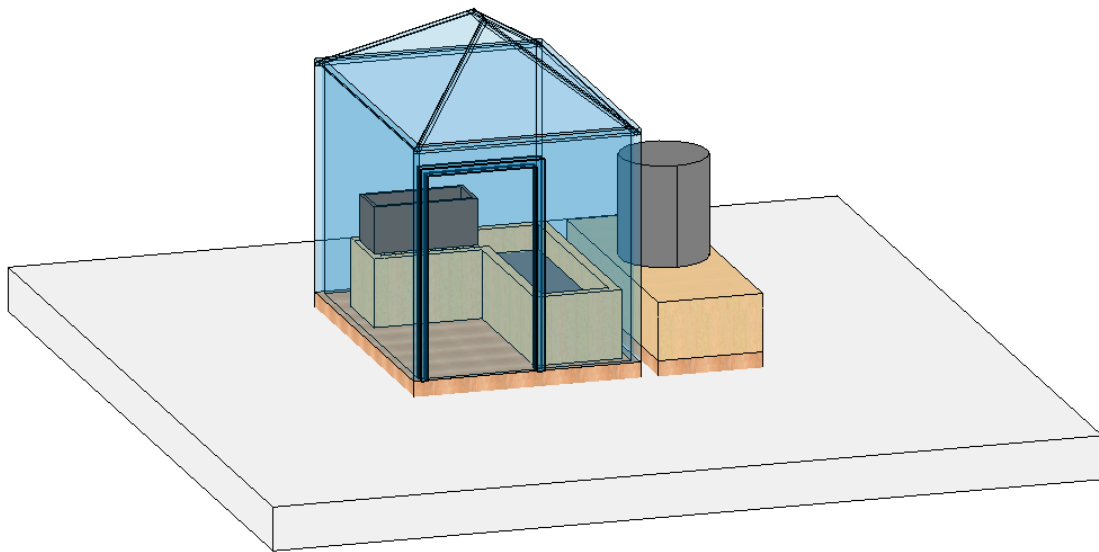


Challenge innovation

Rapport de projet

Smart Greenhouse



Étudiants :

Amistadi André
Badiane Ahmadou Bamba
Baud Damien
Diaw Cheikh Ahmad Tidiane
Jacquelin Clément
Masseroni Tanguy
Membrilla Loïc
Papez Antoine
Picard Michaël

Porteur de projet :

Jérôme Ferrari

Sommaire

I/ Introduction et contexte.....	3
Etat de l'art.....	4
Objectifs du projet.....	6
II/ Préparation du projet.....	7
Déroulement du projet.....	7
Table rase de la serre.....	9
III/ Conception.....	10
Dimensionnement des bacs de culture.....	10
Cahier des charges.....	10
Le siphon cloche.....	11
Les circuits hydrauliques.....	14
Irrigation :.....	14
Appoint en eau du bassin.....	17
Support du réservoir d'appoint.....	18
IV/ Réalisation.....	19
Monitoring des panneaux photovoltaïques et des batteries.....	19
Prototypage des bacs de culture et solution de secours.....	20
V/ Conclusion.....	23
Résumé des objectifs et de leur réalisation.....	23
Autonomisation Énergétique:.....	23
Systèmes d'Irrigation et de Filtration:.....	23
Amélioration de l'Infrastructure:.....	23
Perspectives et Projections.....	23
Réflexion et améliorations futures.....	24

I/ Introduction et contexte

En tant qu'apprentis ingénieurs en 2e année de la filière génie électrique et énergétique, nous avons réalisé dans le cadre du challenge innovation un projet consistant à améliorer et optimiser le système d'autonomisation d'une serre intelligente sur le toit du bâtiment GreEn-ER. Ce projet a été l'occasion pour nous de mettre en pratique nos compétences et connaissances développées durant notre cursus à l'école, Grenoble INP - Ense3 et dans nos entreprises. Le porteur de projet est Jérôme Ferrari, ingénieur au CNRS spécialisé dans le contrôle commande. Ce rapport présente les travaux que nous avons réalisés sur l'installation Smart Greenhouse ainsi que les perspectives.

L'aquaponie, au cœur de notre projet ingénieur sur la serre intelligente est une méthode de culture innovante et durable combinant deux aspects, l'aquaculture et la l'hydroponie.

L'aquaculture consiste à l'élevage de poissons, mollusques ou plantes aquatiques dans un environnement contrôlé comme des étangs ou des bassins d'élevage. L'intérêt de cette technique est qu'elle peut être pratiquée en eau salée, en eau douce ou avec un système de recirculation d'eau comme pour notre projet. L'aquaculture permet de répondre aux besoins croissants en produits de la mer tout en atténuant la pression sur les espèces sauvages dans les lacs ou océans.

L'hydroponie consiste à cultiver des plantes hors sol. Les plantes se développent en milieu de culture avec de la laine de roche, de la laine de coco ou des billes d'argiles comme pour notre installation par exemple. Les plantes reçoivent des nutriments comme des nitrates dans l'eau qui leur est apportée par un système d'irrigation. Avec cette technique de culture, les racines des plantes sont exposées directement à la solution nutritive. L'hydroponie inclut de nombreuses configuration de culture y compris les systèmes où les racines sont suspendues en l'air et l'apport d'eau et de nutriments se fait par pulvérisation. Plus communément, il y a aussi les systèmes en goutte à goutte avec des racines enfouies dans de la terre, c'est le cas de notre installation. Les avantages de l'hydroponie sont un contrôle plus efficace des nutriments, une utilisation optimisée de l'eau avec des systèmes de recirculation par exemple et une potentielle diminution de maladies des plantes liées au sol. Enfin, l'hydroponie permet de cultiver des plantes dans des environnements complexes comme sur les toits des bâtiments en ville, dans des laboratoires de recherche et même dans l'ISS (Station Spatiale Internationale). Thomas Pesquet lors de sa deuxième mission dans l'ISS (du 23 avril 2021 au 8 novembre 2021) a cultivé des plantes pour la consommation des astronautes. La NASA a notamment réussi à faire pousser des radis ou des laitues.

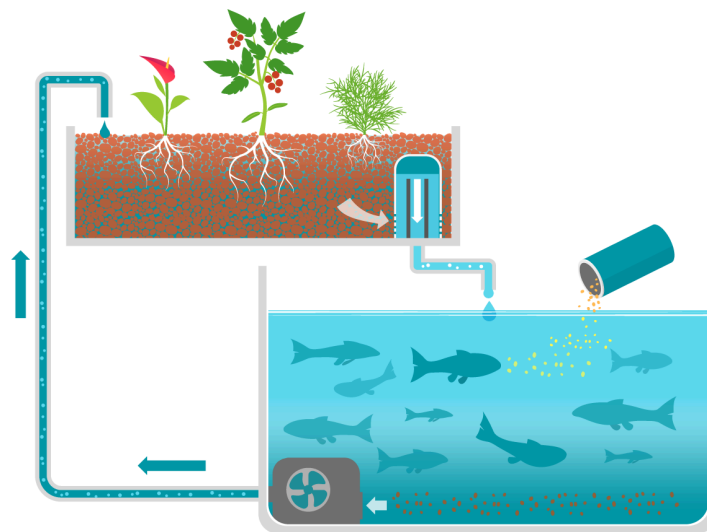


Figure 1 : Schéma global d'un système en aquaponie (source : manomano.fr)

Dans notre système, les déchets produits par les poissons dans le bassin sont riches en nutriments essentiels comme l'ammoniaque, et sont convertis en nitrates par des bactéries. Ces nitrates sont ensuite absorbés par les plantes dans les bacs en hauteur. Enfin, les plantes filtrent et purifient l'eau avant qu'elle ne retourne propre au bassin des poissons. Ce cycle fermé permet d'optimiser l'utilisation de l'eau et de ne pas utiliser de fertilisants chimiques et de pesticides. En ce qui concerne l'alimentation électrique pour la partie contrôle commande, des panneaux solaires sont disposés sur le toit de la serre permettant une autonomie énergétique.

Etat de l'art

Ce projet abordant de nombreuses thématiques, son statut est déjà avancé. Ainsi des équipes d'étudiants ont proposé des rapports concernant leurs avancements des années précédentes. Nous avons donc étudié minutieusement ce que ces rapports présentent. Ceci nous a permis de tirer des conclusions quant aux objectifs de notre projet.

Une serre a été installée sur le toit du bâtiment GreenEr. Celle-ci fait environ 4m² et possède un bac à poisson sur plus de la moitié de sa surface. Une pompe envoie l'eau du bac à poisson dans un système d'irrigation. Celui-ci est un système au goutte à goutte permettant l'humidification de plantes installées dans des racks verticaux. Ces racks sont de fines fentes dans laquelle est présente une mousse contenant les plantes et leurs racines. Ils sont situés sur 3 des 4 murs internes de la serre pour un nombre total de 12. Des rigoles récupèrent ensuite l'eau en excès et la renvoient dans le bac à poisson. Le niveau d'eau du bac à poisson est fait à l'aide d'une pompe dans un bac de récupération d'eau de pluie commandée par un capteur de niveau. Ces mêmes poissons sont nourris par un distributeur automatique.

Après test, il a été constaté que le système d'irrigation était bouché. C'est-à-dire que les sorties d'eau sont obstruées et nécessitent donc un remplacement pour fonctionner.

Des capteurs de température, d'humidité et de pH sont présents afin d'obtenir des informations sur le vivant. Un vérin permet l'ouverture d'une fenêtre pour obtenir une régulation de la température par aération. Ces pompes, capteurs et vérin sont pilotés par un microcontrôleur présent dans un boîtier électronique à l'entrée de la serre. Ces appareils sont alimentés par une batterie dans un coffret devant la serre. La batterie est rechargée par des panneaux solaires sur le toit de la serre et sa tension est gérée par un deuxième microcontrôleur.



Figure 2 : Photo de la serre d'aquaponie avant les modifications de ce rapport

Cette serre doit être automatisée. C'est à dire qu'un pilotage et une coordination des éléments présentés auparavant doit permettre de minimiser à son maximum l'intervention humaine. Le minimum hypothétique d'intervention humaine se réduit au remplissage de la nourriture des poissons ainsi que planter les légumes, effeuiller et récolter.

Pour permettre un pilotage correct, il faut être autonome en énergie et en eau. Les rapports précédents mentionnent peu la gestion de l'eau mais présentent de manière détaillée la consommation d'électricité. Deux données sont particulièrement intéressantes, elles sont présentées ci-dessous.

Production [Wh]	Consommation [Wh]	Rapport
571	1368	2,40

Tableau 1 : Bilan énergétique moyenné sur une journée

L'information à retenir est le rapport consommation/production d'électricité. Une autonomie énergétique signifie ne pas se relier au réseau et donc un rapport inférieur à l'unité. Ici il dépasse largement ce seuil d'autonomie.

Ce travail nous a permis de s'approprier le projet et définir des axes de travail plus précis que l'autonomisation de la serre.

Objectifs du projet

Comme dit précédemment, l'objectif global du projet est l'autonomisation de la serre d'aquaponie. Nous avons défini des objectifs plus précis pour orienter notre travail.

La première observation faite est celle du système de culture obsolète vis-à-vis des besoins présentés. En effet, l'utilisation de petites sorties pour l'alimentation est propice au bouchage de ceux-ci. Le remplacement des pièces défectueuses de ce système ne résoudrait donc pas le problème, une maintenance corrective des défauts est nécessaire. Or maintenance corrective est en opposition avec autonomie. Un changement de système d'irrigation est alors nécessaire.

Ceci accompagne un autre obstacle à l'autonomie étant la consommation électrique. Précédemment, nous avons vu qu'elle est excessive. Un graphique fourni par les anciens groupes permet de rendre compte de la répartition de consommation.

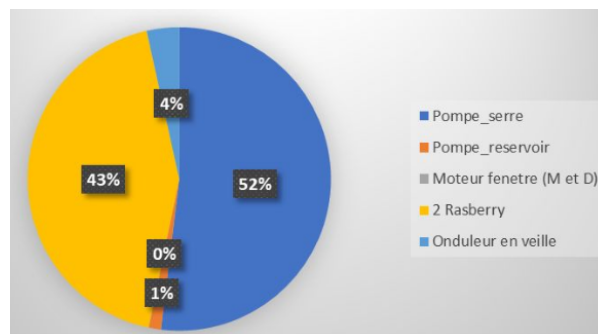


Figure 3 : Répartition de la consommation moyenne des équipements électriques

Deux équipements apparaissent énergivores à la vue de ce graphique.

La consommation des raspberries représente presque la moitié du système. Ceci s'explique par le fonctionnement permanent de ces micro-ordinateurs. Nous nous sommes renseignés sur la possibilité de ne les laisser fonctionner que par intervalle. Ce n'est pas possible d'éteindre et de rallumer ces dispositifs sans cesse, ils ne sont pas conçus pour ce fonctionnement. Cependant, un microcontrôleur Arduino permet de fonctionner que par intervalle, réduisant ainsi la consommation de la serre. Ce remplacement de composant n'est pas réalisable pour le raspberry s'occupant de la gestion de la puissance, il doit toujours être actif. Le remplacement du raspberry contrôlant les capteurs et pompes est cependant envisageable. En effet, la dynamique du vivant est lente et avoir un micro contrôleur actif quelques secondes par minute ne devrait pas poser de problème pour les

poissons. La justification de ce raisonnement étant que s'il fait trop chaud dans la serre, ouvrir la fenêtre en une seconde ou une minute ne changera pas le bien être des poissons.

Le deuxième équipement problématique est la pompe d'irrigation des plantes. Elle représente à elle seule plus de la moitié de la consommation de la serre. Dû au type d'irrigation choisi, son fonctionnement permanent est nécessaire. Le changement de système d'irrigation se justifie encore une fois. En effet, il faut le changer pour en trouver un permettant de réduire le temps d'activation de cette pompe.

Réduction de la consommation d'énergie :

Dans ce projet, un des objectifs était de réduire la consommation électrique de la serre. La consommation électrique de la serre est principalement due aux Raspberry Pi, au moteur de la serre, et au réservoir. Étant donné que nous n'avons pas de degrés de liberté sur les cartes Raspberry Pi, nous nous sommes concentrés sur l'optimisation électrique via les moteurs.

Le nouveau bilan de consommation électrique est le suivant :

Charge	Puissance (W)	Durée de fonctionnement (h)	Consommation quotidienne (Wh)
Pompe de la serre	30	12	360
2 Cartes Raspberry	25	24	600
Onduleur en veille	2	24	48
			Total: 1008 Wh

Tableau 2 : Bilan de la consommation électrique de la serre

II/ Préparation du projet

Déroulement du projet

Le contexte de notre projet se présente de la manière qui suit. Le temps alloué pour ce projet est de 46 heures, ce qui est modeste pour effectuer toutes les tâches attenantes d'un projet : prendre connaissance du projet, recherches sur les différentes possibilités, concevoir une solution adaptée aux besoins exprimés par le client, la mettre en place et tester le dispositif. Il est nécessaire de trouver une méthode de gestion de projet agile dans l'optique de pouvoir prioriser les tâches à effectuer, trouver une ligne directrice claire et avoir une bonne capacité d'adaptation.

La méthode Scrum est retenue sur ce projet pour toutes ces raisons. Elle se base sur plusieurs piliers :

- répartir les rôles entre chaque membre de l'équipe de travail et ce, au cours des différentes phases du projet,
- diviser le travail en plusieurs tâches pour le distribuer à 2-3 membres de l'équipe,
- se focaliser sur une ou plusieurs tâches corrélées durant une durée limitée => réalisation d'un "sprint"
- Avoir des points réguliers à chaque fin de sprint, avec le chef de projet : il s'assure de la réalisation des étapes définies dans le délai imparti, de la cohérence du

développement, de la motivation de l'équipe, et que la direction prise suit les exigences exprimées par le client,

- Des points plus disséminés avec le client pour lui rendre compte du travail effectué (solutions envisagées, les problèmes émergents, ...), des différentes solutions aux problématiques évoquées et valider les jalons imposés.

NB : Cette méthode nous donne la possibilité de ne pas concevoir un diagramme de Gantt, trop chronophage pour le temps imparti et les tâches à réaliser.

Les besoins exprimés par le client étaient plutôt sommaires et généraux, à savoir : prendre la serre dans son état initial, puis élaborer et agencer un dispositif en son sein dans le but de développer un écosystème autonome (bassins avec poissons, bacs de culture).

Pour mener à bien efficacement les étapes du projet, la méthode SCRUM préconise de les diviser en sous-tâches affectées à 1 voire 2 personnes tout au plus. L'attribution s'est faite par du volontariat, ce qui était très important pour mesurer la motivation de chacun. De plus, chacun veillait mutuellement à la bonne implication de chaque membre du groupe, notamment le chef de projet, garant de la bonne coordination du projet. Les grands jalons et la répartition des tâches pour mener à bien ce projet sont comme suit :

- Première phase : Définir les rôles de chacun, réaliser un état de l'art de la serre, comprendre et dégrossir le sujet à partir des besoins fournis. Elle s'est déroulée sur 8 heures.
 - 1) L'état de l'art de la serre : Bamba et Clément pour la partie électrique, Antoine et Damien pour la partie structure (irrigation hydraulique et rétention d'eau), Loïc pour la partie supervision et programmation du microcontrôleur Raspberry Pi
 - 2) Comprendre le sujet et démarches administratives : André pour organiser la bonne gestion du projet, Cheikh pour comprendre la gestion financière à adopter durant le projet (achats,...), Michaël pour la réalisation des démarches administratives techniques (accès, sécurité, ...) et des recherches bibliographiques sur les domaines du projet (aquaponie, hydroponie, ...), Tanguy en support pour les recherches bibliographiques et pour comprendre les différents besoins afin de faire fonctionner en autonomie la serre (lectures bibliographiques, ...).
- Deuxième phase : Réaliser des recherches bibliographiques, constituer un document de références bibliographiques et formaliser les besoins. Elle s'est déroulée sur 6 heures.

Après une première réunion commune, chacun a réalisé des recherches sur le sujet sur lequel il était affecté dans la phase 1.
- Troisième phase : Définir le plan d'action pour répondre aux besoins, c'est-à-dire définir le cahier des charges technique. Elle s'est déroulée sur 8 heures.

Après la mise en commun, on a classé les tâches selon un ordre de priorité. La partie hydraulique et la structure de la serre étaient prioritaires. La partie électrique et programmation n'ont pas pu être retenues à cause d'un manque de temps principalement. Chacun avait pour rôle de définir les actions à mener pour une partie de la serre :

 - 1) Antoine et Bamba pour l'irrigation,
 - 2) Loïc pour améliorer l'écoulement de l'eau (écoulement gravitaire)

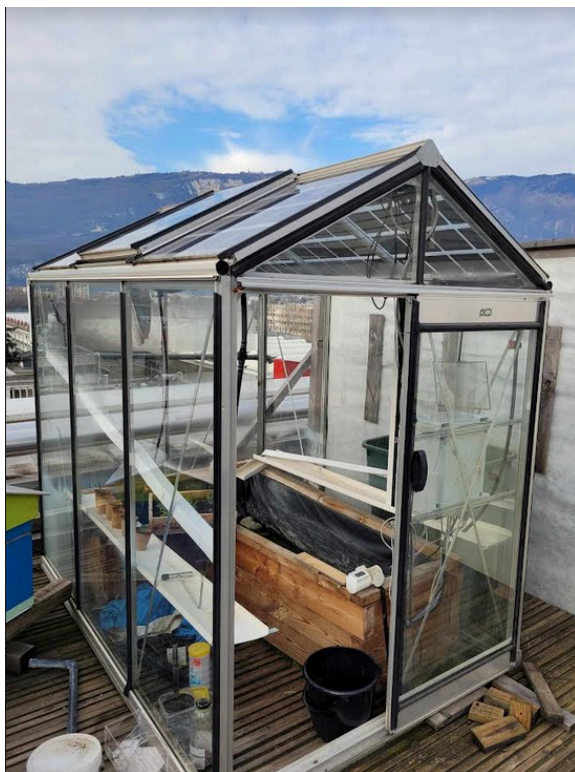
- 3) Michaël et André pour réfléchir à l'évacuation de l'eau des cultures,
- 4) Clément et Tanguy sur les récipients à prendre pour les cultures,
- 5) Damien et Cheikh pour la gestion du bassin d'eau et pour le nettoyage de la serre.

- Quatrième phase : Penser et concevoir des dispositifs techniques pour répondre aux différentes contraintes du cahier. Elle s'est déroulée sur 10 heures. Chacun a travaillé sur sa partie.
- Cinquième phase : Il s'agit de la phase matérialisant la réalisation des prototypes et leur intégration dans la serre. Elle s'est déroulée sur 10 heures, les 4 heures restantes étaient consacrées à la préparation des revues de projet et de la soutenance.

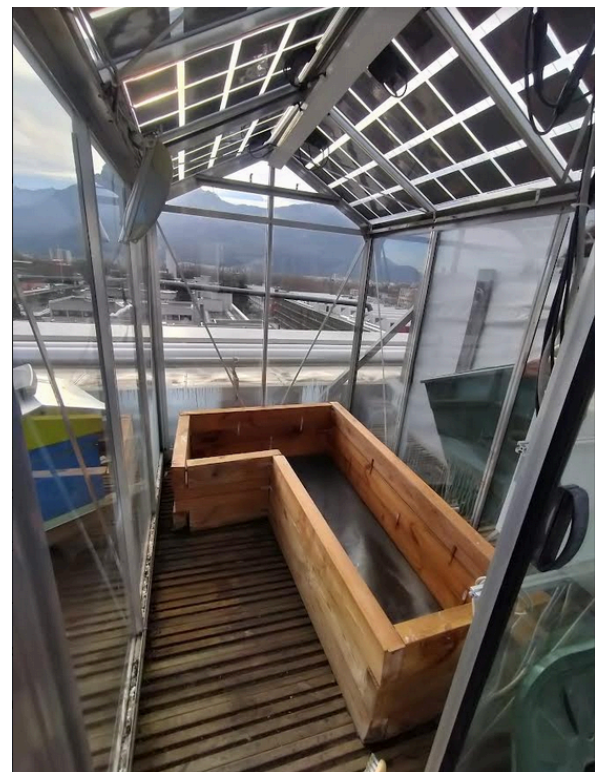
Réaliser un projet de cette envergure demande d'avoir une bonne coordination et de prendre en considération l'avis de chacun pour rester motivé et trouver la meilleure solution possible.

Table rase de la serre

Après avoir défini les différentes tâches et leur répartition, il était impératif de nettoyer la serre et de retirer les éléments inutilisés par les précédents groupes. En effet, cette serre, laissée sans entretien depuis l'été 2023, présentait un état de délabrement avancé. Les photos ci-après montrent la serre avant et après notre nettoyage :



Avant



Après

Nous avons d'abord retiré les différents racks de plantes et leurs supports pour libérer de l'espace et comprendre le fonctionnement du système existant. Ensuite, nous avons enlevé les tuyaux d'irrigation obstrués par des algues séchées, qui ne seront pas réutilisés.

L'eau du bac à poissons était stagnante et verte, avec une prolifération d'algues. Le liner présentait des dégradations, notamment une fuite identifiée par un plancher humide. Nous avons donc décidé de le remplacer, ce qui nécessitait de retirer l'ancien liner.

Après avoir vidangé le bac à poissons à l'aide de la pompe immergée, nous avons dévissé les chevrons qui maintenaient la bâche en place, puis retiré celle-ci. En dessous, le bac était humide, fragilisant ainsi sa structure. M. Ferrari avait anticipé ce problème en achetant un nouveau liner, mais celui-ci s'est révélé trop petit. Nous avons envisagé de réutiliser une partie de l'ancien liner et de le souder thermiquement, mais les essais n'ont pas été concluants. Cette opération nécessite des machines professionnelles que l'école ne possède pas. Nous avons donc convenu de commander un nouveau liner de plus grande taille (3x3 m). Ce dernier a été découpé selon les dimensions du bac à poisson puis installé en fixant les chevrons en bois sur la structure du bac.

La pompe immergée, dont l'entretien passé était incertain, a été démontée pour nettoyage. Effectivement, du calcaire s'était accumulé sur ses pales.

Après avoir "mis à nu" la serre, nous avons nettoyé le sol. En hiver, des abeilles réfugiées dans la serre n'ont pu en sortir, laissant des centaines de cadavres sur le sol. De plus, la mousse présente sur le plancher en bois a été enlevée, car elle contribue à la dégradation du bois. Nous avons également nettoyé les vitres qui étaient très sales à certains endroits.

Ces opérations de maintenance ont permis d'obtenir une serre propre et sont essentielles pour optimiser sa durée de vie. Sans entretien, l'étanchéité de la structure pourrait être compromise. Enfin, il est toujours plus agréable de travailler dans un environnement sain.

III/ Conception

Dimensionnement des bacs de culture

Cahier des charges

Les bacs de culture sont des éléments importants de la serre. Ce sont eux qui supporteront les cultures, les plantes et les dispositifs d'évacuation de l'eau. Ils seront en plus connectés au système d'irrigation pour recevoir l'eau du bassin.

Pour favoriser la croissance, plusieurs produits naturels seront insérés et permettront cela : du terreau et des billes d'argile notamment, afin d'optimiser l'évolution des plantes. L'eau ruissellera dans les bacs et imbibera l'ensemble. Pour récupérer et réutiliser intelligemment l'eau, le système d'évacuation d'eau sera connecté au bac grâce à un tuyau. Ainsi, l'eau sera directement injectée dans le bassin à poisson pour recommencer un nouveau cycle de

circulation. De plus, elle sera régulièrement renouvelée, à raison de 4 fois par heure, grâce à l'activation de la pompe.

Le cahier des charges à respecter est donc exigeant :

- Les bacs doivent résister durablement à l'eau, sans être altérés au cours du temps. Leur durée de vie sera élevée et le coût de maintenance de la serre sera moindre.
- Ils doivent être compatibles avec le vivant. Le choix du matériau sera crucial pour limiter le risque de corrosion. De ce fait, le risque de libérer des métaux lourds ou autres matériaux problématiques dans l'eau et les cultures endommageant la faune et la flore sera limité.
- La capacité des bacs doit être importante. Cela permettra de développer les cultures sans contraintes particulières et d'en avoir une quantité respectable.
- La robustesse des bacs est primordiale. En effet, ils doivent être capable de supporter la quantité de terreau, d'argile et d'eau nécessaires aux plantes. De plus, il est prévu de réaliser des perçages pour raccorder le système d'irrigation, notamment le tuyau dont la fonction est d'évacuer l'eau. Le matériau du bac devra être capable d'encaisser les contraintes liées à ces trous.

En conclusion, le choix de ces bacs sera stratégique dans le but d'optimiser différents paramètres, notamment leur durabilité. En contrepartie, l'investissement initial demandera un effort non négligeable, notamment financier.

Le siphon cloche

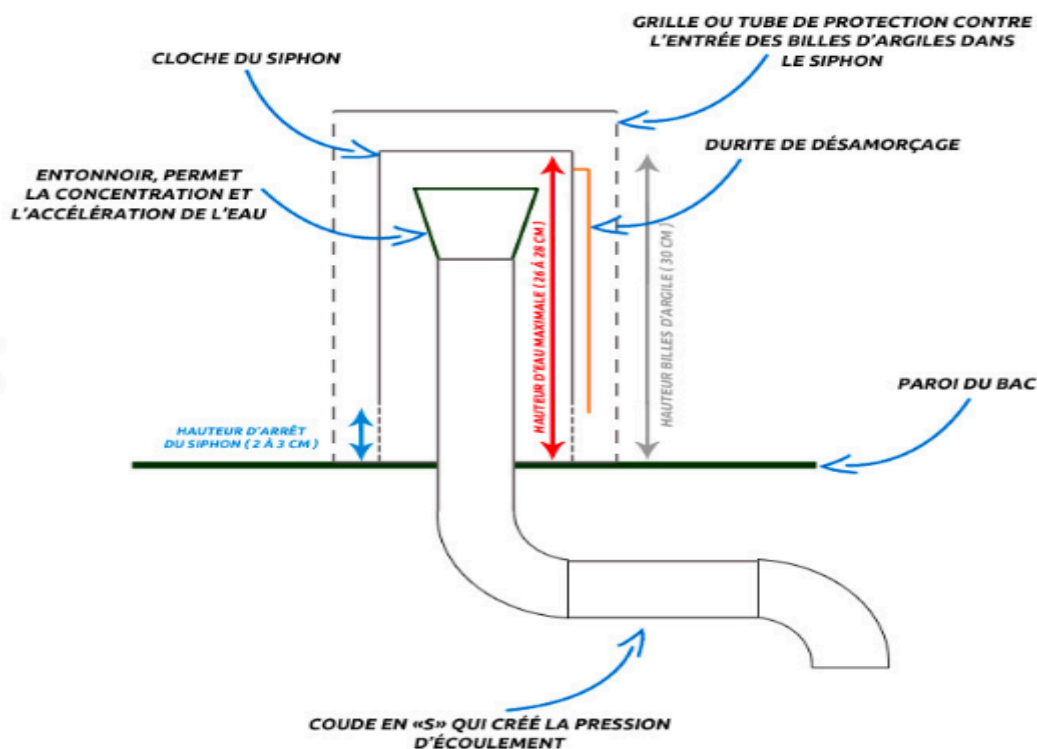
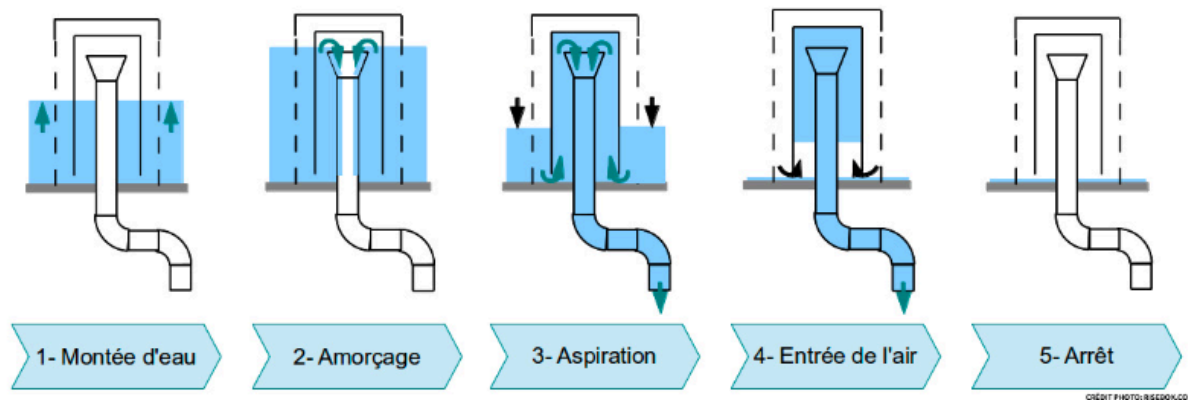


Figure 4 : Schéma du siphon cloche

Le siphon automatique est un dispositif passif très pratique pour créer des cycles de marée, alternant inondation et drainage dans les systèmes de culture en aquaponie comme pour notre installation.



Fonctionnement du siphon-cloche automatique en aquaponie

Figure 5 : Schéma du fonctionnement du siphon cloche

- 1er étape: remplissage

L'eau remplit progressivement le bac de culture. Elle traverse le pare-substrat et les trous situés à la base de la cloche, atteignant ainsi un niveau identique dans la cloche et le bac de culture. Une fois un certain niveau atteint, l'eau dépasse celui du trop-plein et commence à s'évacuer par ce dernier.

- 2eme étape: blocage de l'air et amorçage du siphon

Si le débit est suffisamment élevé, l'eau qui s'écoule empêche l'air de remonter par le tuyau de drainage, entraînant tout l'air contenu dans la cloche vers le bas. La cloche se remplit alors entièrement d'eau.

- 3eme étape: drainage

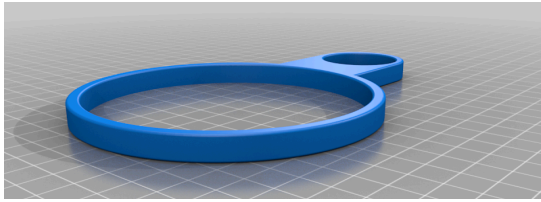
Le siphon est maintenant amorcé et l'eau du bac de culture est rapidement évacuée par le trop-plein

- 4eme étape: rupture du siphon

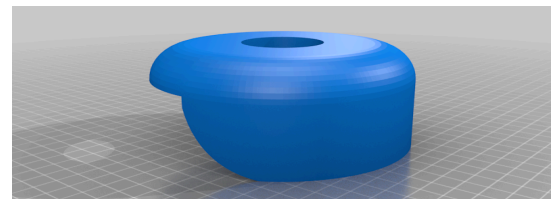
Lorsque l'eau dans le bac de culture atteint un certain niveau, de l'air est aspiré par les trous à la base de la cloche ou par un petit tube. L'air entrant s'accumule en haut de la cloche, interrompant ainsi le siphon. Le cycle recommence alors à partir de l'étape 1.

Impression 3d :

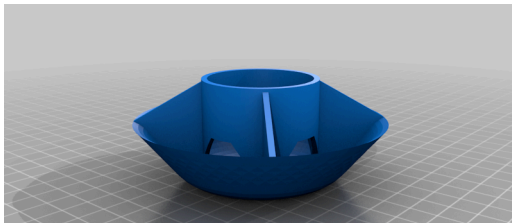
Pour notre projet de smart greenhouse, nous avons décidé d'imprimer en 3D les éléments constituant le siphon à cloche. Les pièces imprimées incluent le guide, la coupe, le couvercle et l'amorce.



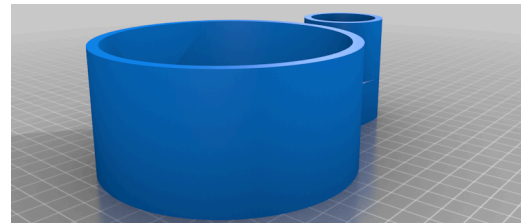
Guide



Coupe



Couvercle



Amorce

Figure 6 : Illustration des pièces 3D imprimées

Nous avons choisi l'impression 3D pour plusieurs raisons :

- Coût réduit : L'impression 3D est une solution économique qui nous permet de fabriquer des pièces personnalisées à moindre coût.
- Flexibilité et personnalisation : Avec l'impression 3D, nous avons la possibilité d'adapter les pièces à nos besoins spécifiques, ce qui n'est pas toujours possible avec des pièces achetées.
- Rapidité de Prototypage : En utilisant l'impression 3D, nous pouvons rapidement passer de la conception à la fabrication, nous permettant ainsi de tester et d'affiner nos designs en peu de temps.

Cependant, en prévision de toute éventualité, nous avons également acheté un siphon commercial. Cela nous assure une solution de rechange fiable au cas où notre siphon imprimé ne fonctionnerait pas comme prévu (voir partie prototypage des bacs et solution de secours).

Rôle de chaque pièce imprimée

1. Le guide :
 - Rôle : Le guide permet de maintenir le flux d'eau dirigé correctement à travers le siphon. Il assure que l'eau entre et sort du siphon de manière contrôlée, évitant les débordements non désirés.
2. La coupe :
 - Rôle : La coupe sert de réceptacle initial pour l'eau. Elle aide à réguler le niveau d'eau et joue un rôle crucial dans le déclenchement du siphon en permettant l'accumulation d'eau nécessaire pour amorcer le flux siphonné.

3. Le couvercle :
 - Rôle : Le couvercle recouvre la coupe et aide à maintenir une pression d'air stable, essentielle pour le bon fonctionnement du siphon. Il empêche également les débris de pénétrer dans le système.
4. L'amorce :
 - Rôle : L'amorce est une petite pièce qui facilite le démarrage de l'effet siphon. Elle assure que le siphon se déclenche correctement lorsque le niveau d'eau atteint un certain point, initiant ainsi le processus de vidange.

Avantage du siphon à cloche (Facilitation de la régulation) :

On utilise l'effet décrit précédemment pour créer une alternance d'inondation et de drainage dans nos bacs de culture, imitant les marées. Ces marées apportent plusieurs avantages, notamment en forçant l'air (et donc l'oxygène) à pénétrer dans tout le substrat. Les racines des plantes et les bactéries nitrificatrices essentielles en bénéficient grandement.

Le siphon est constitué de pièces simples et peu coûteuses, sans aucune pièce en mouvement. C'est un système entièrement passif, sans besoin d'alimentation électrique. Ainsi, une fois mis en place, un simple nettoyage occasionnel suffit pour assurer sa durabilité à long terme.

Les circuits hydrauliques

Comme pour toutes serres, celle en notre possession doit d'avoir des systèmes d'irrigation propre pour satisfaire pleinement les besoins de la faune et de la flore. Une tuyauterie finement pensée doit pouvoir irriguer les espèces dans les meilleures circonstances possibles.

Ainsi nous avons pensé revenir sur les solutions développées par les précédents travaux d'aménagement, et apporter de nouvelles idées.

Irrigation :

Premièrement l'irrigation des plantes passe par l'utilisation des équipements primaires. La serre était auparavant équipée d'un système d'arrosage dit de goutte à goutte. Ce système avait été dimensionné pour répondre au mieux au besoin en eau des plantes, car il ne faisait circuler que des petits débits.

Initialement, l'eau était constamment montée en charge dans un tuyau percée de buses. Ces dernières laissaient passer un léger filet d'eau, afin d'irriguer les racks d'aquaponie. Cependant cette méthode comportait deux désavantages majeurs, malheureusement non pris en compte lors de la conception originelle de la serre :

- La charge hydraulique devait constamment être maintenue par la pompe. Le circuit précédent régulait le débit à l'aide des pertes de charges imputées par les buses. Ce

qui impliquait une perte d'énergie conséquente (la pompe consommait 52% d'énergie).

- La vitesse moyenne d'écoulement de l'eau était assez basse dans la tuyauterie pour que des dépôts d'impuretés surviennent dans les accidents de parcours.

Pour toutes ces raisons, le circuit hydraulique de la serre a été arrêté après quelques années d'utilisation.

Tout l'enjeu de notre travail a été de prendre en compte ce retour d'expérience dans la conception du réseau. Pour répondre à ces problèmes, notre solution a pour objectif de perdurer dans le temps avec un minimum de maintenance.

Ainsi nous avons pensé le système sous un autre angle. L'objectif n'est plus tant l'économie d'eau au goutte à goutte, mais d'éviter les bouchons et la surconsommation. Pour cela, la pompe devait fonctionner avec de plus large débit avec le minimum de pertes de charge. Nous avons en quelque sorte renversé le point de fonctionnement sur l'autre extrémité de la courbe hydraulique. De cette manière, nous réduisons le dépôt d'impuretés.

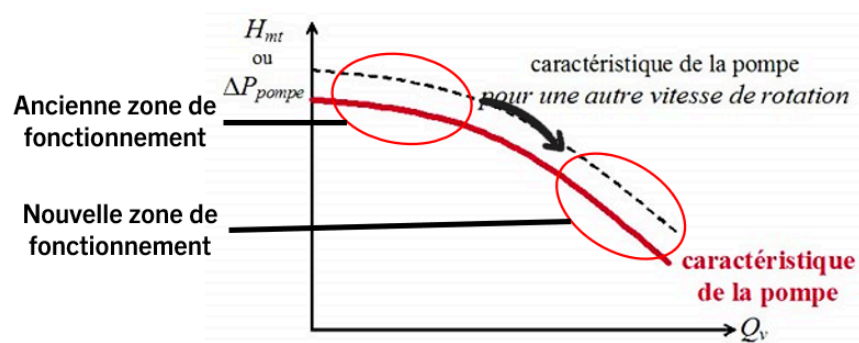


Figure 7 : Graphique de la caractéristique de la pompe

Pour ce faire, nous avons revu le circuit avec seulement 4 vannes de fin de courses. Ces vannes ont pour principe de condamner les déversoirs inutilisés. Par la même occasion, nous avons pu réhabiliter un maximum de pièces de l'ancien système.

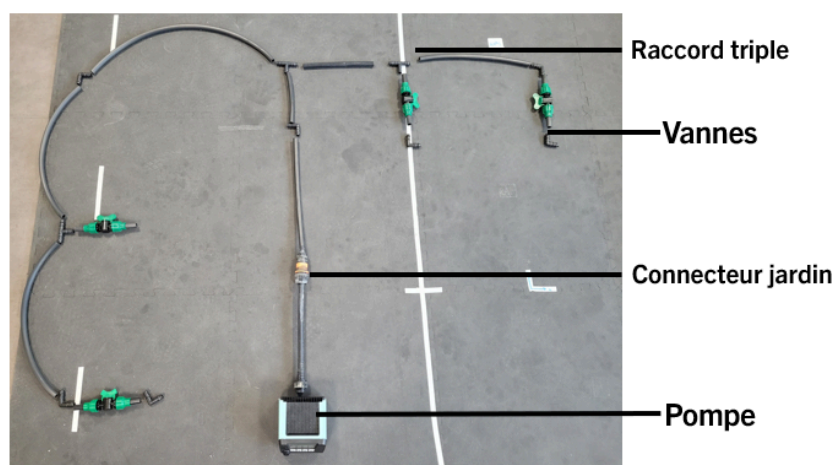


Figure 8 : Photo du circuit hydraulique réhabilité

En définitif, les pertes de charges ont été grandement diminuées grâce à une réduction de longueur de tuyau (3 mètres au lieu de 7), une réduction d'obstacle (de coude et raccord) et une réduction du dénivelé.

Ce système bien plus simple a pu être réalisé dans le temps imparti sans le recours à des pièces difficilement obtenables.

Le circuit hydraulique est dimensionné pour alimenter jusqu'à quatre bacs de culture. Prenant source dans le bassin principal, l'eau circule dans les jonctions actives pour aller se déverser directement dans les pots.

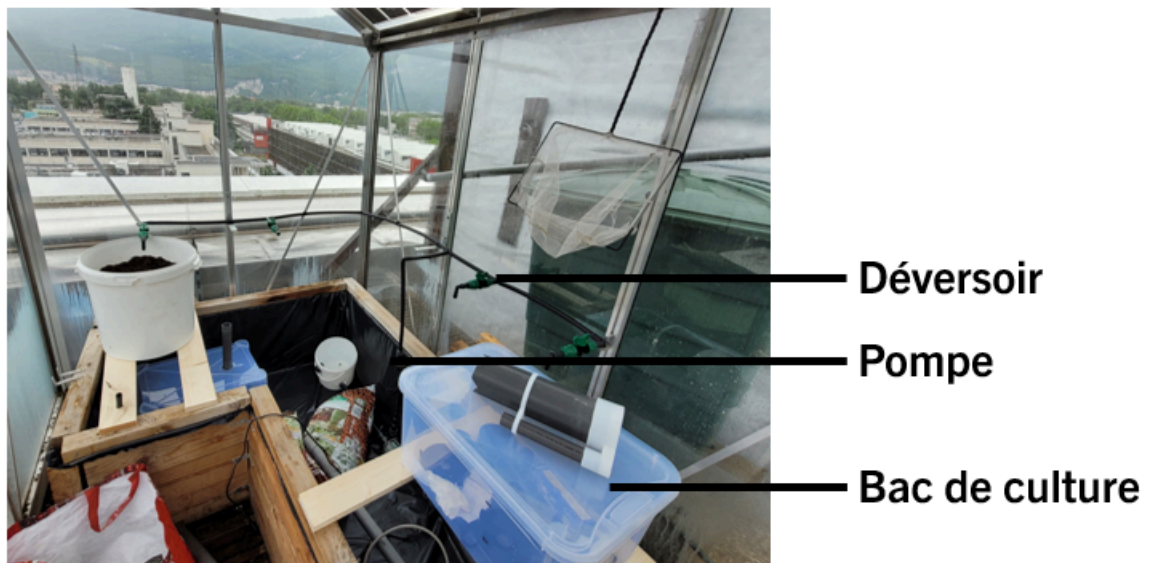


Figure 9 : Photo du circuit hydraulique installé avec les bacs de culture dans la serre

Le réglage de l'irrigation passe par la programmation des cycles d'activités de la pompe. Nous avons pensé à imposer un fonctionnement à plein potentiel mais pour de très courtes durées. En définitive nous limitons le dépôt de particules dans le circuit.

Du fait des contraintes imposées par notre emploi du temps d'alternance nous n'avons pas pu étudier plusieurs points. Par conséquent, nous recommandons pour les étudiants à venir de :

- choisir les règles de commande de la pompe,
- appliquer ces règles sur l'automate de la serre
- étudier la connexion avec le filtre préexistant
- étudier les problématiques d'oxygénation de l'eau du bassin principal (comme nous avons suggéré l'ajout d'un potentiel bulleur)

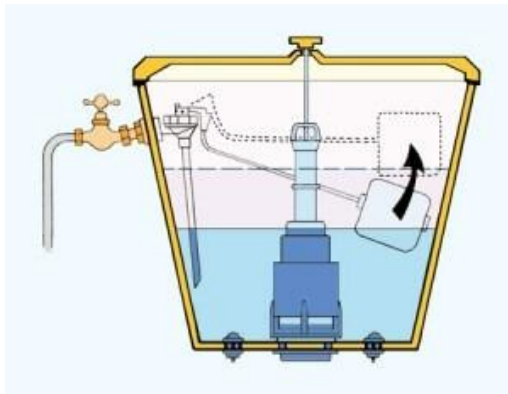
En fin de projet, nous avons seulement eu l'occasion d'essayer notre prototype. Nous avons remarqué que la volute de la pompe présentait des fuites.

Appoint en eau du bassin

Pour contrebalancer les pertes par évaporation du bassin de la serre, il nous a fallu réhabiliter le système d'appoint. Ce circuit hydraulique est secondaire mais néanmoins nécessaire pour l'autonomie de la serre. Initialement, un détecteur ultrason mesurait régulièrement le niveau du bassin et activait au grès des besoins une pompe d'appoint. La pompe était immergée dans un réservoir extérieur lui-même alimenté par les eaux pluviales.

A première vue, ce système nous a paru intéressant. Cependant après réflexion, nous nous sommes rendu à l'évidence qu'il était bien trop sophistiqué dans le contexte actuel. En plus de consommer de l'énergie et des ressources, le système pouvait être plus facilement sujet à des perturbations externes (capteur ultrason sensible et exposé aux aléas). Ceci pouvait engendrer des débordements du bac à poissons.

Il en découle que nous avons proposé une solution bien plus économe et simple à mettre en œuvre. Nous nous sommes inspirés des systèmes de flotteurs hydrauliques présent dans les réservoirs de toilettes



Ces derniers commandent l'ouverture d'une vanne par l'intermédiaire d'un comparateur de niveau mécanique : un flotteur.

Cette technique est plus robuste et ne requiert aucune énergie pour fonctionner.

En reliant le flotteur au bac extérieur, le bassin à poisson est en mesure d'avoir toujours la bonne quantité d'eau.

Pour ce qui est de l'alimentation en eau, nous avons décidé de retirer la pompe immergée au profit d'un écoulement gravitaire. En effet, au vu des débits infimes une simple différence de potentiel permet d'alimenter suffisamment le bassin. Ainsi nous avons surélevé le réservoir extérieur de la hauteur du bassin, soit 45 centimètre, à l'aide d'un support.

Nous avons par la même occasion, modifié la tuyauterie de liaison pour permettre la vidange ou la condamnation du réservoir. Le flotteur, quant à lui, a été fixé en bordure de bassin. Il fonctionne automatiquement.

Enfin nous avons anticipé des problèmes de connexion entre le réservoir d'appoint et les chenaux d'eau pluviale. Nous avons ajusté en conséquence la tuyauterie afin de conclure la réalisation de ce circuit.

Support du réservoir d'appoint

Les bassins de culture contiennent un volume considérable d'eau. Pour la sécurité des installations, nous avons dû réfléchir à la problématique d'une rupture de plancher imputable à la masse de la serre.

Auparavant le réservoir d'appoint était posé à même le sol, ce qui n'est pas idéal pour la longévité des planches dessous. Depuis ce constat, nous avons pensé augmenter la surface de prise au sol du bac extérieur afin de répartir la pression statique. Par la même occasion, l'augmentation de surface a contribué à l'élévation du réservoir. La modification apportait une aide au système d'appoint flotteur.

Pour dimensionner le support d'emprise au sol, nous avons choisi les hypothèses les plus défavorables :

- Le réservoir a une contenance maximale de 250 litres, donc une masse limite de 250 kilogrammes
- Le plancher est dimensionné pour une pression maximale de 200 kilogrammes par mètre carré (moins que les 300 annoncés)

Ainsi, nous avons déterminé qu'il nous fallait dans ces conditions, une surface minimale de 1,25 mètre carré. Nous avons donc choisi de fabriquer un support d'une surface de 1,6 mètre carré. La largeur étant limitée, nous avons opté pour des dimensions de 0,7 par 2 mètres.

Ce dernier a été placé de manière à répartir le poids sur un maximum de surface. La couche de contact est donc orthogonale au plancher. Le support repose sur une douzaine de planches. Nous avons aussi pu surélever le réservoir de 45 centimètres pour favoriser l'écoulement gravitaire.



Figure 10 : Photo du support du réservoir

IV/ Réalisation

Monitoring des panneaux photovoltaïques et des batteries

Cette partie du projet fait partie d'une plus large, comprenant également la gestion des capteurs dans la serre. Par manque de temps, nous avons prévu de ne pas réaliser la gestion des capteurs et de nous concentrer sur le monitoring du système d'alimentation photovoltaïque comprenant les panneaux solaires et les batteries. Toutefois, la réalisation de cette partie n'a également pas été possible. Uniquement une partie théorique de ce qui aurait pu être réalisé sera développée ici.

Le monitoring peut être fait à partir d'une Raspberry Pi et de modules de communication. Nous avons à notre disposition un Pzem-004t-V3. Ce module de communication permet, entre autres, de mesurer des tensions, courants, puissances actives et énergies en courant alternatif (AC).

Le logiciel PvMonit, compatible avec Raspbian (le système d'exploitation de la Raspberry Pi), permet de monitorer une installation photovoltaïque. Il permet d'utiliser le module de communication Pzem sans passer par l'intermédiaire d'un arduino que nous aurions potentiellement dû utiliser autrement.

Il existe deux possibilités pour installer le logiciel sur la Raspberry Pi : utiliser une carte SD contenant le logiciel ou via un dépôt git ("entrepôt" virtuel qui permet de stocker des projets, ici sous forme de programmes python).

L'installation nécessite une certaine configuration, puis mène à l'interface de monitoring qui suit :

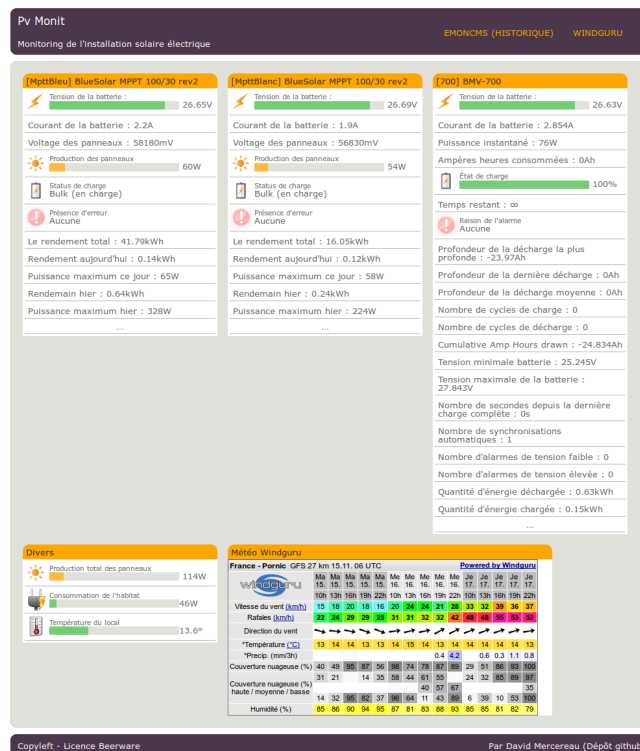


Figure 11 : Capture d'écran de l'interface du logiciel Pv Monit

Cette interface permet le suivi du comportement des panneaux solaires et de batteries.

Prototypage des bacs de culture et solution de secours

La solution technique dimensionnée nous avons passé commande des composants nous permettant de la réaliser. Cependant par manque de temps nous nous sommes rabattus sur des composants de secours concernant le bac de culture. En effet, les composants ont été achetés localement dans des matériaux différents de ceux prévus. Le bac de culture est devenu un bac plastique au lieu du bac en inox prévu. Cela peut provoquer des problèmes de fragilité et d'étanchéité.

Nous avons donc percé le bac d'un trou du diamètre adapté au siphon cloche prévu. Les tuyaux ont ensuite été découpés pour correspondre aux niveaux haut et bas. Nous pouvons voir l'assemblage ci-après.



Figure 12 : Photo des deux parties du siphon en cloche avant assemblage

Une fois le bac assemblé et l'étanchéité faite à l'aide de colle PVC et de joints, nous avons procédé à des tests de fonctionnement. Pour cela nous avons simplement rempli le bac au-dessus du niveau haut. Nous avons observé que le siphon a amorcé jusqu'à passer légèrement au-dessous du niveau bas. Ces tests sont visibles sur les photos suivantes.



Figure 13 : Photographies de gauche à droite : remplissage jusqu'au niveau haut puis amorçage puis atteinte du niveau bas

Le test est donc concluant, nous avons alors rempli de billes d'argiles, mis le film séparateur et complété de terreau. Le bac a donc été mis en culture avec des graines de radis.

Nous avons décidé d'élaborer un deuxième bac avec un autre principe de siphon pour dans un premier assurer nos arrières en cas de problème sur la solution initiale et également varier les solutions possibles.

Après quelques recherches, nous avons trouvé le principe du siphon U qui est un système très simple à mettre en œuvre avec des composants peu chers et facilement accessible dans des magasins de bricolage tel que Leroy Merlin. Voici une photo décrivant son principe de fonctionnement :

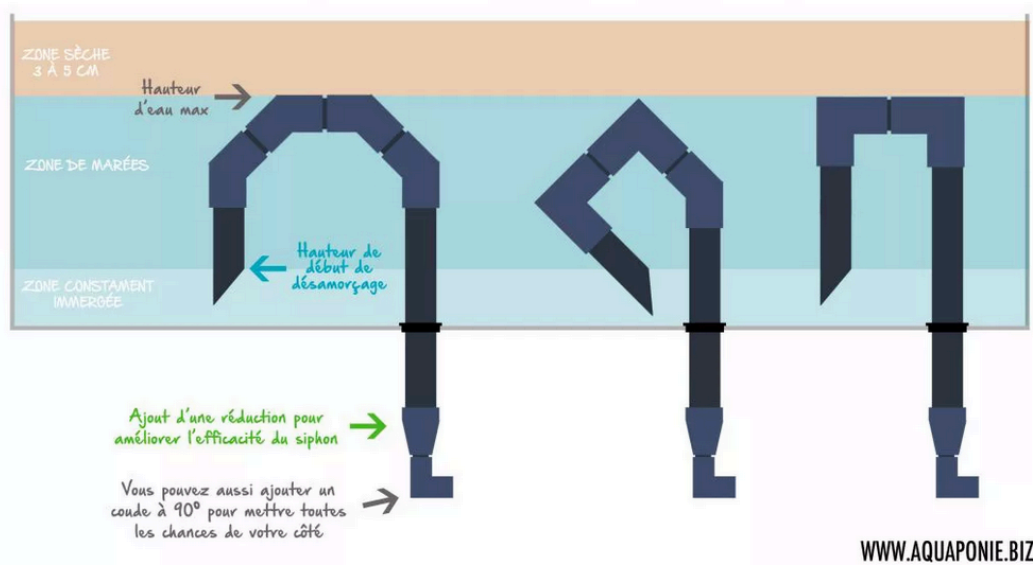


Figure 14 : Extrait du principe du siphon en U

Nous avons acheté des tubes PVC et des coudes à 45° pour fabriquer le modèle de gauche sur la photo précédente. La réalisation de ce siphon était très simple, la partie technique consistait à coller efficacement les parties afin qu'elles soient bien étanches à l'eau.

Nous avons par la suite fait un trou dans un seau récupéré au Fablab et fixé le siphon en mettant du joint sur tout le contour du siphon pour éviter toute fuite d'eau.

Conformément à la description des bacs faite précédemment, nous avons ajouté des billes d'argiles, une couche de feutre géotextile, enfin du terreau et nous avons semé les graines de radis. Voici une photo du bac remplie :



Figure 15 : Photo du 2ème bac prêt pour l'aquaponie

Nous avons réalisé des tests sur ce deuxième bac et le siphon fonctionne parfaitement. Nous sommes très satisfait du résultat obtenu.

Ces deux solutions sont équivalentes après test. Cependant la solution du siphon en U est plus simple à mettre en place, coûte moins cher et est plus rapide à fabriquer. Elle est donc meilleure que celle du siphon en cloche. Le point que nous n'avons pas pu observer mais que nous avons pressenti est celui du bouchage de ces systèmes. Il semble très peu probable d'avoir un siphon cloche bouché tandis que celui en U nous paraît propice à se boucher. Cela sera observé une fois le problème rencontré.

V/ Conclusion

Le projet "Smart Greenhouse" visait à optimiser et autonomiser une serre aquaponique installée sur le toit du bâtiment GreEn-ER. En tant qu'apprentis ingénieurs en génie électrique et énergétique, nous avons appliqué nos compétences théoriques et pratiques pour relever ce défi. Nos objectifs principaux étaient la réduction de la consommation énergétique, l'amélioration des systèmes d'irrigation et de filtration, ainsi que l'intégration de solutions innovantes pour favoriser l'autonomie de la serre.

Résumé des objectifs et de leur réalisation

Autonomisation Énergétique:

La consommation énergétique de la serre dépassait largement sa production. Nous avons remplacé certains composants énergivores, comme les Raspberry Pi, par des microcontrôleurs Arduino, et amélioré l'efficacité de la pompe d'irrigation. Nous sommes donc en mesure d'attendre une réduction significative de la consommation énergétique, bien que des ajustements supplémentaires soient encore nécessaires pour atteindre une autonomie complète.

Systèmes d'Irrigation et de Filtration:

Le système d'irrigation goutte à goutte était sujet à des obstructions fréquentes. Nous avons conçu un nouveau système d'irrigation avec des débits plus larges et des pertes de charge réduites. Nous avons également introduit un siphon à cloche imprimé en 3D et un siphon en U pour améliorer la gestion de l'eau. Les tests ont montré un fonctionnement efficace des nouveaux systèmes d'irrigation, réduisant les risques de bouchage et optimisant l'utilisation de l'eau.

Amélioration de l'Infrastructure:

L'état de la serre et de ses composants était dégradé. Nous avons nettoyé complètement la serre, remplacé le liner du bassin à poissons, et renforcé le support du réservoir d'appoint, permettant d'obtenir une serre plus propre et stable, prête pour une utilisation prolongée.

Perspectives et Projections

Pour l'avenir, plusieurs pistes peuvent être envisagées pour améliorer davantage la Smart Greenhouse:

Optimisation des Règles de Commande: En développant des algorithmes de commande plus sophistiqués pour la gestion de la pompe et des cycles d'irrigation.

Énergie Solaire: Augmenter la capacité des panneaux photovoltaïques et intégrer des systèmes de stockage d'énergie plus efficaces.

Extension du Monitoring: Implémenter un système complet de surveillance des capteurs environnementaux pour optimiser la gestion des conditions internes de la serre.

Formation et Documentation: Produire des guides techniques et des sessions de formation pour les futurs étudiants travaillant sur ce projet afin de garantir une continuité et une amélioration continue.

Réflexion et améliorations futures

Bien que notre projet ait atteint plusieurs de ses objectifs, certaines limitations et opportunités d'amélioration subsistent. Une meilleure gestion des déchets organiques et des nutriments pourrait améliorer encore la durabilité du système. De plus, la mise en œuvre de tests prolongés permettrait d'évaluer la durabilité des nouveaux systèmes d'irrigation et de filtration. Par ailleurs, une documentation plus détaillée et structurée des processus et des solutions mises en place faciliterait la transmission des connaissances et la continuité du projet. En conclusion, ce projet nous a permis d'acquérir des compétences précieuses et de contribuer à une initiative innovante et durable. La Smart Greenhouse, bien que fonctionnelle, représente une base solide pour de futurs développements et améliorations.

