

## **Proof Of Concept (POC)**

**HEI4**



**Statut du projet :** Terminé.

**Problématique :** "À partir d'une surface et d'un volume proposés, quelle solution pourriez-vous proposer pour réaliser une ferme agricole urbaine ?".

**Contenu du document :**

**Photos du prototype fonctionnel terminé :** Pages 1 à 4.

**Poster de présentation :** Page 5.

**Rapport POC (Groupe LCTX - Aéroferme) :** Pages 6 à 56.

**Abaque plants (Groupe LCTX - Aéroferme) :** Pages 57 à 73.

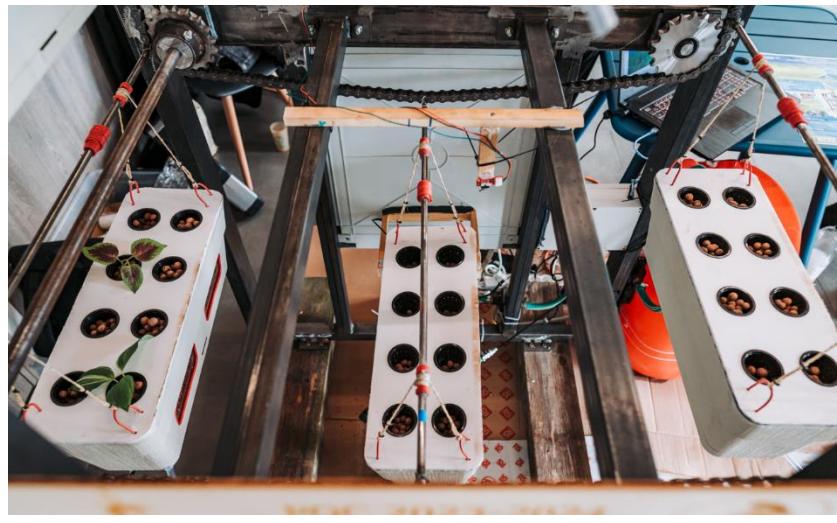
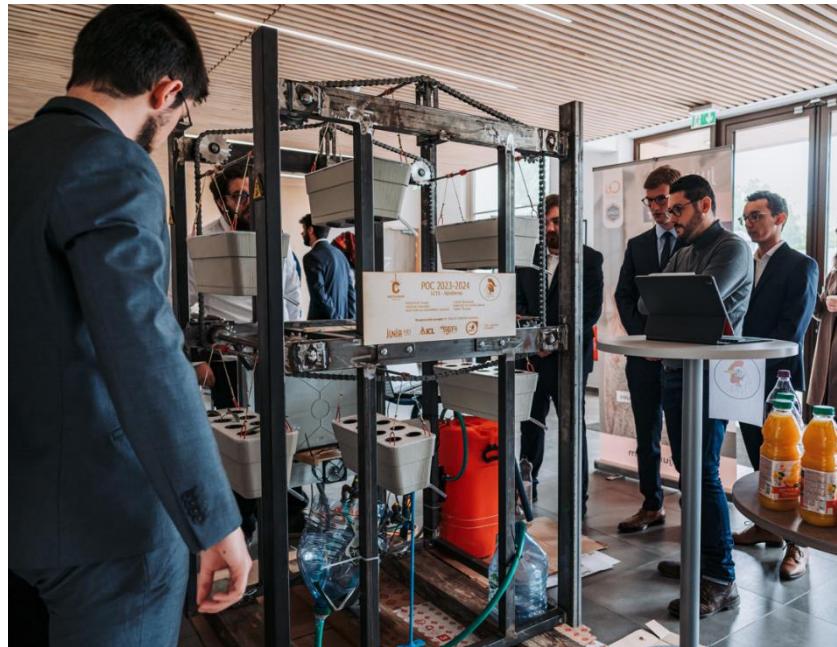
Photo de l'équipe POC et du prototype :

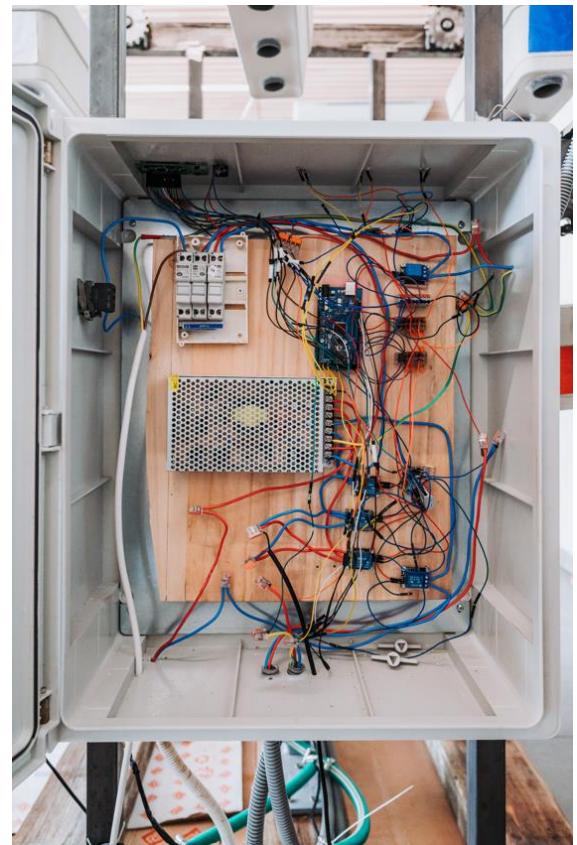


Photo de l'équipe POC :



## Autres photos du prototype :





Angel BABOUHOT, Alexandre CORRE, Domitille FAIDEAU, Gabriel SANCHEZ DE LEON, Lancelot SIOC'HAN de KERSABIEC, Thibaut THERY

## CONTEXTE

- ❖ PALAIS RAMEAU : BATIMENT HISTORIQUE SITUÉ À LILLE (59). CONSTRUIT ENTRE 1876 ET 1878.
- ❖ RÉNOVATION EN MEMOIRE : HONORANT M. RAMEAU VIA UN BAIL EMPHYTEOTIQUE DE 25 ANS.
- ❖ LA ROTONDE : ENTIÈREMENT VITRÉE ET AU CŒUR DE CE SUJET.

## FERME AGRICOLE URBAINE

- ❖ CULTIVER DES ALIMENTS FRAIS EN VILLE.
- ❖ TRANSFORMER LES ESPACES EN OASIS VERTES.
- ❖ PROMOUVOIR LES PRATIQUES AGRICOLES DURABLES.

À PARTIR DE LA SURFACE ET DU VOLUME DE LA ROTONDE, QUELLE SOLUTION AUTOMATISÉE POUVONS-NOUS PROPOSER POUR L'EXPLOITER COMME FERME AGRICOLE URBAINE ?

## BAC

- ❖ COMPOSÉ DE 6 EMPLACEMENTS POUR ACCUEILLIR LES PLANTS.
- ❖ SYSTEME DE VIDANGE POUR LE SURPLUS DE LIQUIDE.
- ❖ SYSTÈME DE TRAPPE POUR FACILITER LA MAINTENANCE ET L'ENTRETIEN DES RACINES.



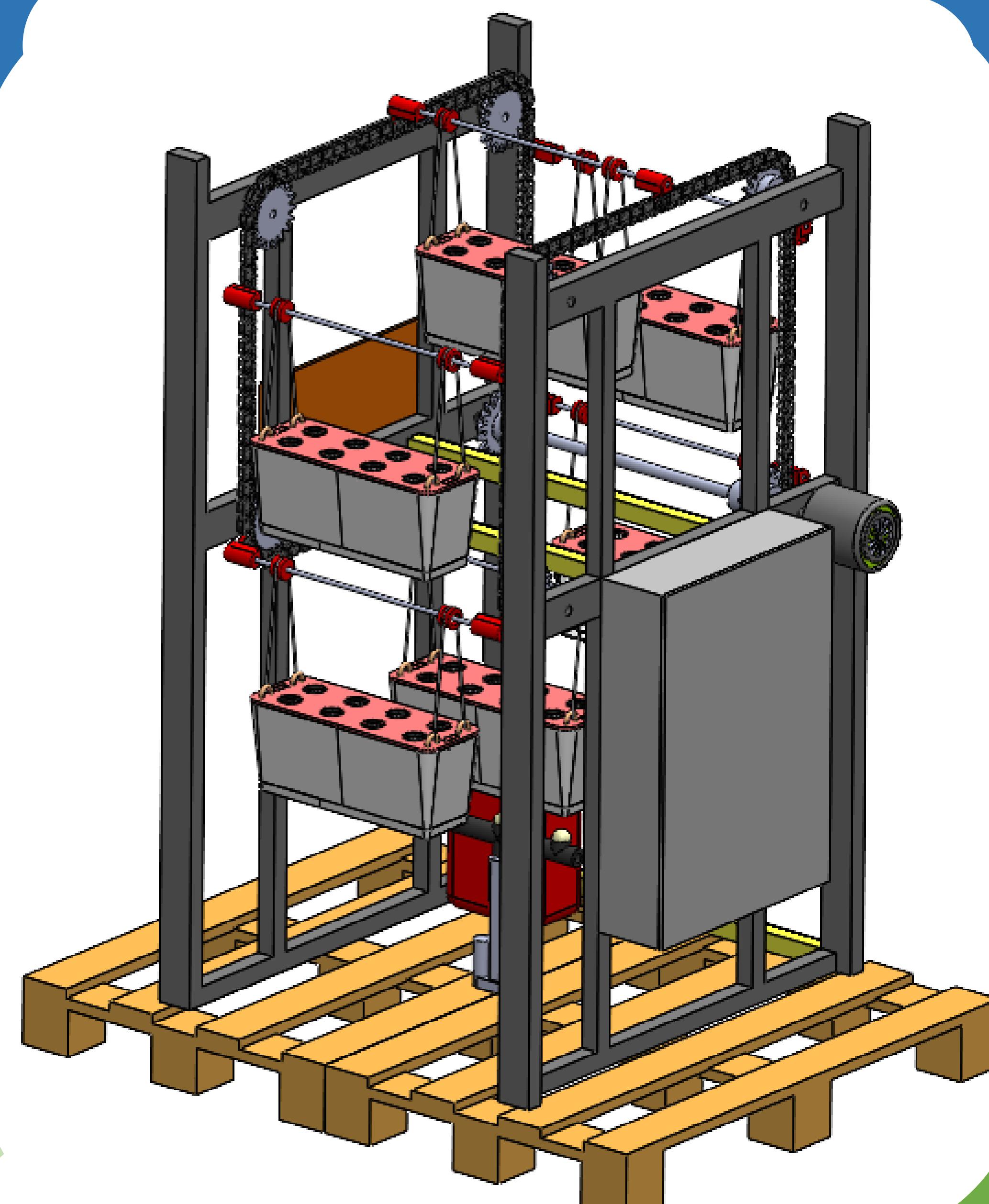
## BRUMISER

- ❖ SYSTEME D'ARROSAGE AUTOMATIQUE S'ADAPTANT AUX BESOINS DU BAC EN QUESTION.
- ❖ CUVE CONTENANT UNE SOLUTION SPECIALE NUTRITIVE ADAPTEE AUX PLANTS DU SYSTEME.



## MISE EN PLACE

- ❖ SYSTEME AEROPONIQUE (PRINCIPE, FONCTIONNEMENT, IMAGES...)



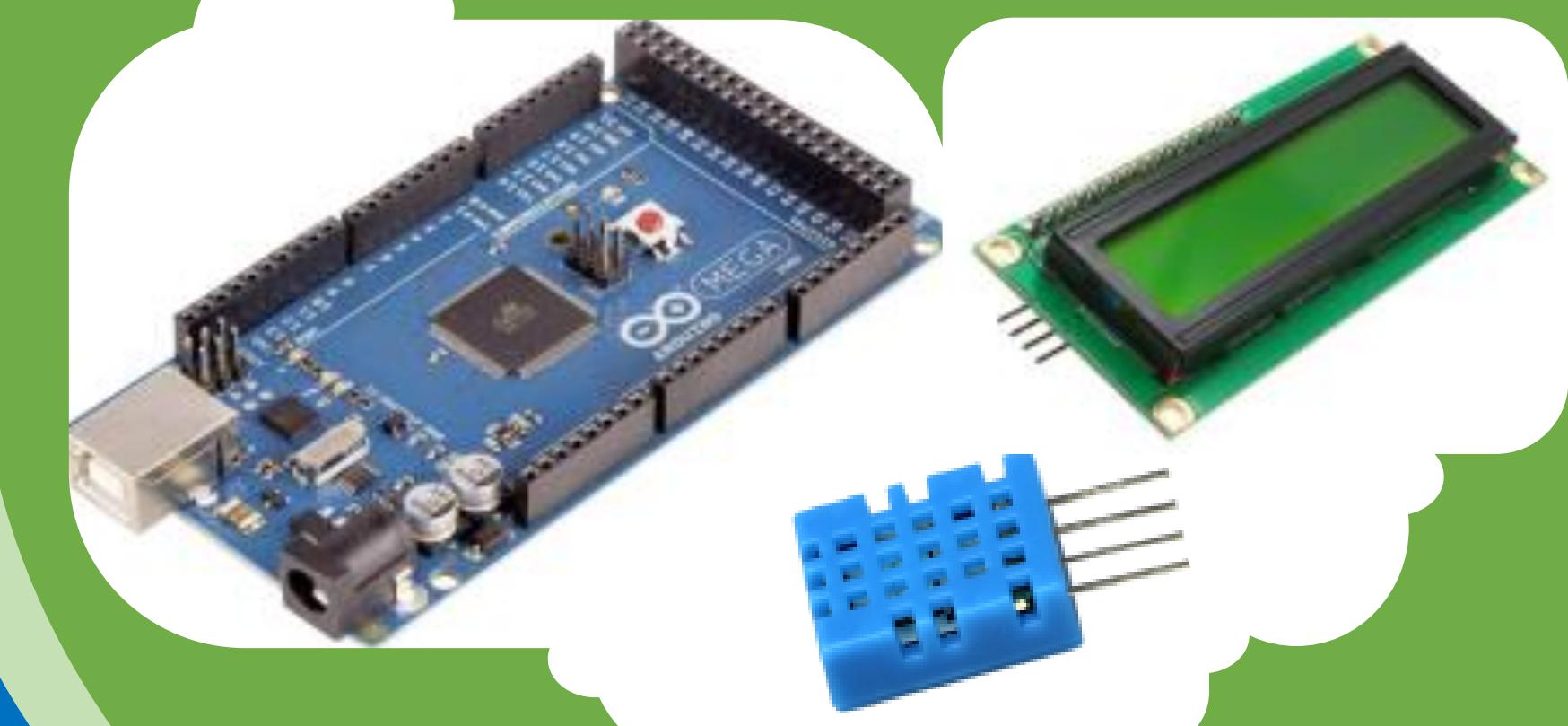
## MOTORISATION

- ❖ PERMET D'ACCÉDER AU BAC TRÈS FACILEMENT.
- ❖ ÉVITE LE TRAVAIL EN HAUTEUR.
- ❖ COUPLE THÉORIQUE PRESQUE NUL.



## AUTOMATISATION

- ❖ NOMBREUX CAPTEURS ET ACTIONNEURS :
  - 2 CARTES ARDUINO.
  - RELAIS, POMPE, MOTEUR, VERINS, ECRAN LCD.
  - MESURE DE PH, HUMIDITÉ, ULTRASONS, COULEURS.
- ❖ DETECTION DE PROBLÈMES AU SEIN DES BACS.
- ❖ VISUALISATION DES INFORMATIONS DES CAPTEURS EN TEMPS REEL SUR UN ECRAN.



## CONCLUSION

Notre projet a été une expérience incroyablement enrichissante. En collaborant avec des spécialistes de divers domaines, nous avons créé une solution adaptative et autonome tout en gardant le facteur humain dans le procédé. Nous avons répondu à la problématique initiale. Une réussite dont nous sommes fiers !

## REMERCIEMENTS

**SEFI**



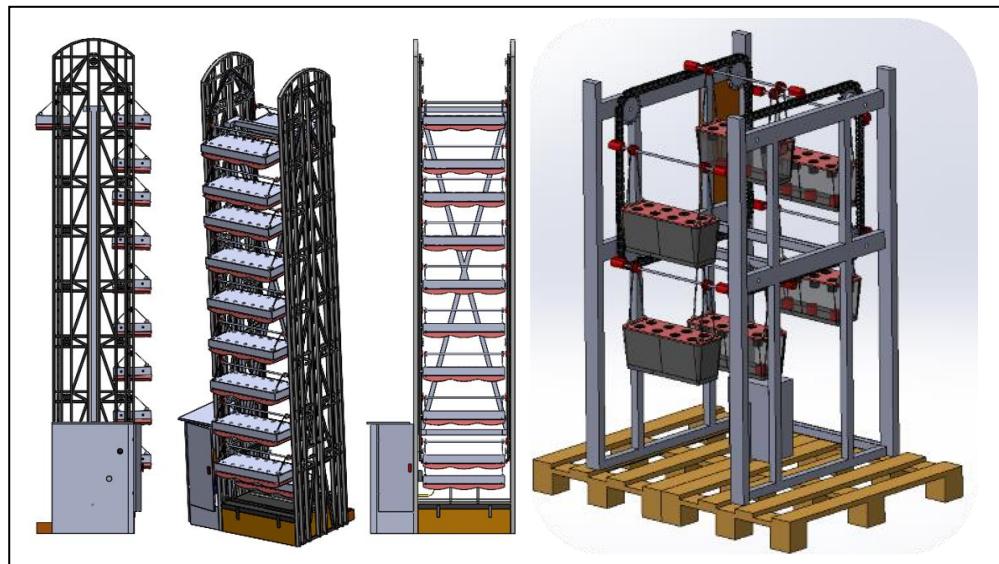
EI DANIEL BALOUT  
EARL LABORDE



## PROOF OF CONCEPT (POC) 2023-2024

Sujet :

Ferme urbaine « LCTX-Aéroferme »



Angel BABOUHOT, Alexandre CORRÉ, Domitille FAIDEAU, Gabriel SANCHEZ DE LEON, Lancelot SIOC'HAN de KERSABIEC, Thibaut THERY

Supervisé par : M. Aymeric GILLET-CHEVAIS

## RÉSUMÉ

LCTX-Aéroferme est un projet de ferme urbaine, prévu à l'origine pour le palais Rameau et adapté à celui-ci. Ce projet, fédérateur, car projet mené à Châteauroux avec l'appui du site de Lille, a rassemblé 6 élèves, plusieurs sponsors, des aides du corps enseignant. Permettant ainsi de créer une structure sur mesure, un système mécanique automatisé mais également exploitable manuellement, tout en étant doté d'une technologie aéropotique, peu développé dans notre pays.

## ABSTRACT

LCTX-Aéroferme is an urban farm project, initially planned for the Palais Rameau and adapted to it. This unifying project, conducted in Châteauroux with support from the Lille site, brought together 6 students, several sponsors, and assistance from the teaching staff. This allowed for the creation of a custom structure, an automated mechanical system that can also be operated manually, featuring aeroponic technology, which is not widely developed in our country.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ .....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>TABLE DES FIGURES .....</b>	<b>5</b>
<b>TABLE DES TABLEAUX .....</b>	<b>6</b>
<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>7</b>
<b>PLANIFICATION ET GESTION DE PROJET .....</b>	<b>8</b>
Personae.....	8
Une ferme urbaine .....	8
Diagramme pieuvre .....	9
Gantt.....	9
<b>LE BÂTIMENT .....</b>	<b>11</b>
Le palais .....	11
La rotonde .....	11
Les contraintes .....	11
<b>AGRICULTURE URBAINE.....</b>	<b>12</b>
Mode de culture actuelle .....	12
Les différentes cultures aéroponiques.....	14
La ferme verticale de « LCTX Aéroferme » .....	14
Notre prototype .....	15
Les plants en aéroponie .....	16
La solution nutritive.....	17
La solution de « LCTX Aéroferme » pour le basilic .....	18
<b>DIMENSIONNEMENT DE LA FERME AGRICOLE URBAINE .....</b>	<b>20</b>
Partie « bac de plantation » .....	20
Partie « arrosage » .....	25
Partie « automatisation ».....	27
Partie « structure ».....	33
<b>FABRICATION .....</b>	<b>40</b>
<b>BUDGET .....</b>	<b>42</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>43</b>
<b>RETOUR D'EXPÉRIENCES .....</b>	<b>44</b>
Angel BABOUHOT .....	44
Alexandre CORRE.....	44
Domitille FAIDEAU .....	45

Gabriel SANCHEZ DE LEON .....	45
Lancelot SIOC'HAN de KERSABIEC.....	46
Thibaut THERY .....	46
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>47</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>48</b>
Annexe 1 : Diagramme pieuvre .....	48
Annexe 2 : Acronyme .....	48
Annexe 3 : Analyse de l'eau à Lille .....	49
Annexe 4 : Schéma électrique .....	50

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 Personae 1	8
Figure 2 Personae 2	8
Figure 3 Gantt	10
Figure 4 Le palais	11
Figure 5 La rotonde	11
Figure 6 Evolution des sols en France	12
Figure 7 Système	14
Figure 8 Dimensions du prototype	15
Figure 9 Vue bac de plantation	15
Figure 10 Plant de basilic	16
Figure 11 Schémas calcul diamètre axe	21
Figure 12 Dimensions bac prototype	25
Figure 13 Porte-buse	25
Figure 14 Données buses	26
Figure 15 Abaque moteur	28
Figure 16 Attribution couleur bac	29
Figure 17 Tableau de suivi des différents paramètres	31
Figure 18 Circuit aéroponique	32
Figure 19 Maintien de la chaîne	35
Figure 20 Représentation simplifiée	35
Figure 21 Schéma de principe	36
Figure 22 Diagrammes	37
Figure 23 RDM7	38
Figure 24 Charge supportable	39
Figure 25 Pictogrammes	39
Figure 26 Débit de matières premières aux bonnes dimensions	40
Figure 27 Les deux parties qui composent la structure	40
Figure 28 Soudage des éléments de la structure	40
Figure 29 Perçage des cadres	40
Figure 30 Positionnement des pignons sur la structure dans les platines	41
Figure 31 Mise en place des pignons	41
Figure 32 Tournage des axes	41
Figure 33 Arbre de transmission reliant les deux parties de la structure	41
Figure 34 Mise en place du tendeur de chaine	41
Figure 35 Structure assemblée	41
Figure 36 Catégories d'acquisition	42
Figure 37 Répartition budget projet	42

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 Diagramme pieuvre	9
Tableau 2 Agricultures urbaines	13
Tableau 3 Plants du monde	16
Tableau 4 Paramètres basilic	17
Tableau 5 Données sources solution nutritive prototype	19
Tableau 6 Engrais à verser	19
Tableau 7 Récapitulatif PFS	22
Tableau 8 Résultats PFS	22
Tableau 9 ISO 281:2007	23
Tableau 10 Comparatif prototype/système final pour axe & roulement	24
Tableau 11 Angles buse	26
Tableau 12 Besoins	33
Tableau 13 Dimension chaînes	33
Tableau 14 Résistance rupture chaîne	34
Tableau 15 Caractéristiques pignon	35
Tableau 16 Outils spécifiques utilisés	41

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions l'ensemble du personnel de Junia Lille, et plus particulièrement Monsieur Pierre SAILLARD et Mesdames Marie STANKOWIAK et Fanny BRECHIGNAC qui ont su se montrer disponibles lorsque nous en avions besoin. En effet au cours du projet, nous nous sommes posé un grand nombre de questions auxquelles ils ont su nous répondre ou nous aiguiller vers d'autres contacts, le cas échéant. Merci tout simplement à eux de nous avoir fourni les informations et recommandations nécessaires à l'aboutissement de ce projet.

Dans un second temps, nous souhaitons également remercier notre tuteur académique, M. Aymeric GILLET-CHEVAIS, pour l'aide et les conseils prodigues tout au long du projet, mais également nos formateurs, qui ont pu répondre à nos questions, nous permettant de pouvoir respecter au mieux le planning initial.

Dans un troisième temps, nous exprimons toute notre gratitude aux contacts externes qui nous ont fait dons de matériels ou apporté une aide financière nécessaire à la construction de notre prototype, comme ICL group, Combiosol ou encore des particuliers.

Pour finir, nous remercions bien évidemment l'ensemble du groupe Junia HEI (Lille et Châteauroux) sans qui le projet n'aurait pas vu le jour.

## INTRODUCTION

Dans le cadre de notre cursus d'ingénieur généraliste, nous devons réaliser lors de notre deuxième année, un projet « Proof Of Concept » (POC) qui consiste à proposer une solution innovante dans un budget maîtrisé.

C'est dans ce cadre que notre équipe a travaillé tout au long de cette année sur l'une des problématiques proposées, à savoir : À partir d'une surface et d'un volume proposés, quelle solution pourriez-vous proposer pour réaliser une ferme agricole urbaine ?

Dans un premier temps et afin de travailler de manière optimale sur ce sujet, il a d'abord été nécessaire de clarifier la surface et le volume proposé pour pouvoir restreindre le champ des possibilités et proposer une solution efficace. C'est ainsi qu'après un échange avec le corps pédagogique, nous avons appris que Junia a acquis un bâtiment historique, à savoir le palais Rameau. Ce palais, a la particularité de disposer d'une rotonde permettant de faire de l'horticulture. Notre objectif est donc de proposer une solution automatisée pour exploiter ce bâtiment comme ferme urbaine.

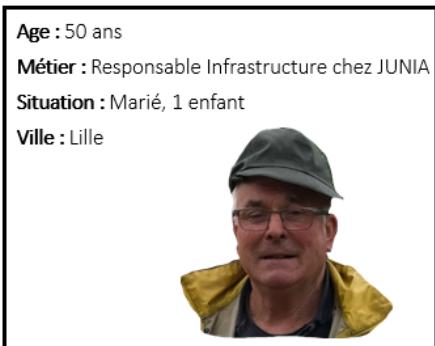
Notre équipe est composée de 6 personnes dont : Angel BABOUHOT, Alexandre CORRE, Domitille FAIDEAU, Gabriel SANCHEZ DE LEON, Lancelot SIOC'HAN de KERSABIEC et Thibaut THERY. Chaque membre de l'équipe avec son parcours professionnel, ses compétences propres et son réseau a apporté sa pierre à l'édifice pour répondre au mieux à cette problématique dans ce lieu historique et symbolique.

## PLANIFICATION ET GESTION DE PROJET

### Personae

Afin de s'assurer que le projet ne dévie pas de sa trajectoire, nous avons imaginé deux personae, la première, Didier LABORDE, souhaitant s'assurer que la solution sera compatible avec le bâtiment tout en respectant son histoire horticole et qui représente notre client final, Junia.

### Didier LABORDE



Indépendant

Visionnaire

Ambitieux

« C'est en alliant nos compétences et notre indépendance que nous allons créer la ferme urbaine de demain ! »

#### Motivations :

- Souhaite garantir le bon fonctionnement de l'infrastructure
- Souhaite embellir l'image de son entreprise

#### Frustrations :

- Dénaturation du site
- Pression de l'urbanisation
- Retard du projet

#### Bio :

Passionné d'agriculture, Didier a voulu allier ses fonctions au sein de JUNIA à sa passion initiale.

Figure 1 Personae 1

Le second personae, Henry DUPOND, est un technicien de maintenance qui souhaite pouvoir travailler sur un moyen industriel où l'ensemble des éléments est facilement accessible et dépannable.

### Henry Dupond



Ecologiste

Autonome

Sociable

« Par la combinaison des anciennes et des nouvelles technologies nous parviendrons à supprimer la faim dans le monde »

#### Motivations :

- Souhaite quelque chose de facilement accessible
- Souhaite quelque chose de facile à dépanner (sans formation)

#### Frustrations :

- Complication induite par la structure d'un monument historique
- Manque de temps pour voir ses enfants

#### Bio :

Titulaire d'un DUT GMP, passionné par la nature. Il effectue ses déplacements en vélo.

Figure 2 Personae 2

### Une ferme urbaine

Une ferme urbaine est un type de ferme que nous allons retrouver dans les zones urbaines et de nombreux sols artificialisés. Ainsi il est fréquent de les retrouver sur des toits de bâtiments, à proximité de gare dans le centre-ville ou en périphérie. Elles permettent de créer une cohésion de quartier et de proposer des produits frais en autosuffisance.

## Diagramme pieuvre

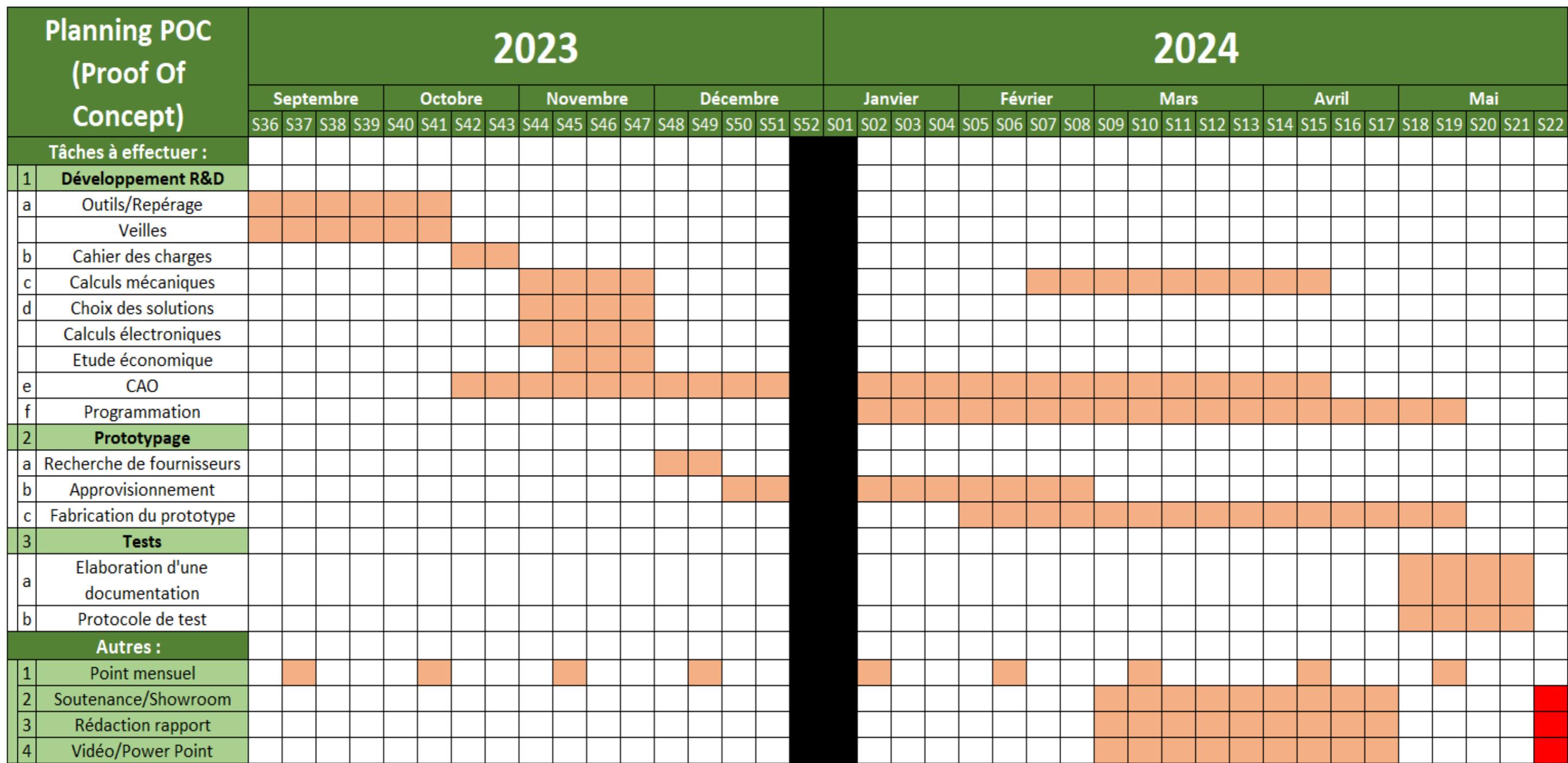
Nous avons également procédé à la réalisation d'un [diagramme pieuvre](#) afin de pouvoir déterminer l'ensemble des fonctions auxquelles devait répondre notre projet. Ce diagramme nous a ensuite permis de réaliser le tableau de fonctions suivant :

Intitulés	Fonctions
Produire avec des matériaux durables	FP1
Récupérer des informations en continu de manière instantanée	FP2
Automatiser la ferme agricole urbaine (hors semence et récolte)	FP3
Assurer un accès aux énergies (eau, électricité)	FC1
Respecter les contraintes de place et de dimensions du bâtiment	FC2
Prendre en compte l'ancienneté du monument et la réglementation (monuments historiques)	FC3
Le système doit être capable de s'auto réguler en modifiant ses paramètres.	FC4
Entretenir le système	FC5
Préserver l'esthétisme du bâtiment	FC6
Assurer l'accès aux bacs et aux moyens de contrôle aux personnes habilitées et de taille lambda	FC7
Gérer les déchets via le composte	FC8
Prévenir des odeurs	FC9
Mettre en place les environnements fermés	FC10
Préserver la biodiversité	FC11
Suivre les données à distance (prise d'actions en cas d'anomalie)	FC12

Tableau 1 Diagramme pieuvre

## Gantt

Dans le but d'optimiser notre projet et d'éviter une sortie de route, nous avons mis en place un Gantt à respecter pour pouvoir soutenir nos avancées à chaque fin de période et de visualiser les avancées et retards du projet. Ce Gantt a évolué en parallèle de notre POC et sa version réelle que nous pouvons retrouver ci-dessous reflète la manière dont s'est déroulée notre année sur ce plan.



*Figure 3 Gantt*

## LE BÂTIMENT

### Le palais



Figure 4 Le palais

Le palais Rameau est un bâtiment historique situé à Lille (59), bâti entre 1876 et 1878 par Henri Contamine et Auguste MORCOU grâce à une donation posthume de M. Charles-Alexandre-Joseph RAMEAU, agronome et horticulteur de renom, auprès de la ville de Lille. Voué à son origine aux expositions horticoles, il a vu les activités hébergées se diversifier avec le temps avant d'être peu à peu abandonné. Pour honorer la mémoire de M. RAMEAU, la ville a décidé de procéder à sa rénovation par le biais d'un bail emphytéotique de 25 ans.

### La rotonde

Le palais est articulé autour d'une rotonde, car celui-ci est basé sur le principe des serres horticoles.

La rotonde possède une surface entièrement vitrée d'une hauteur culminante de 25 mètres.



Figure 5 La rotonde

### Les contraintes

Classé monument historique de la ville de Lille depuis 2002, le palais présente certaines spécificités que nous devons respecter. La première d'entre elle et la plus contraignante a été la réutilisation de la dalle d'origine. Cette dernière, datant de la construction du bâtiment, est dépourvue de plan, nous contraignant à trouver une solution la plus légère possible. Parmi les autres contraintes présentes, le simple vitrage présent sur la rotonde et l'absence possible de régulation en température et hygrométrie impose également de prévoir à minima des prises de mesure voire la mise en place d'une zone contrôlée dans cet environnement.

## AGRICULTURE URBAINE

### Mode de culture actuelle

Notre solution a pour base la transformation de la rotonde en une ferme urbaine pouvant offrir une solution innovante et une opportunité pour la production alimentaire en milieu urbain. En effet, le graphique ci-dessous montre l'évolution des surfaces en France ces dernières années.

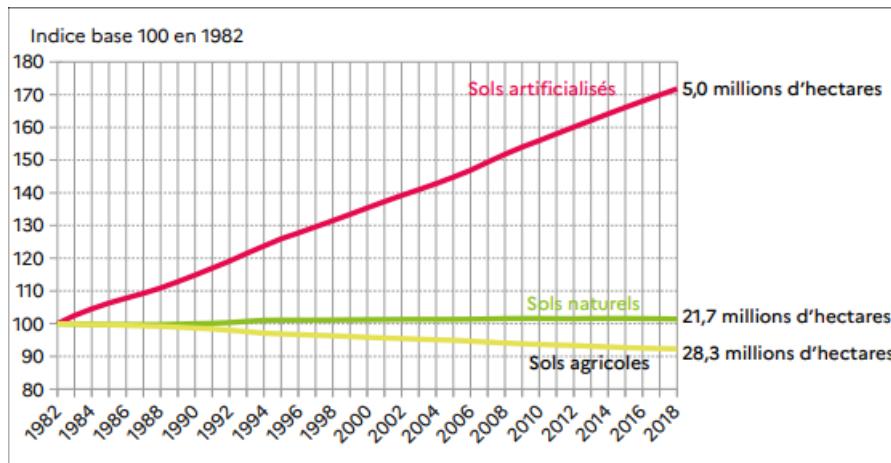


Figure 6 Evolution des sols en France

Nous pouvons distinguer que l'évolution des sols artificiels correspondant aux zones urbaines est exponentielle avec une augmentation de plus de 70% depuis 1982 alors que les sols agricoles voient leurs parts diminuer de presque 10%.

Pour pouvoir subvenir aux besoins de la population actuelle mais aussi future, il devient nécessaire de pouvoir apporter l'agriculture dans ces nouvelles zones, que ce soit tant pour un motif de souveraineté alimentaire, mais aussi pour un rôle écologique. En effet, c'est dans ces zones urbaines que nous retrouvons aujourd'hui la majeure partie de la population. Nous avons dressé un inventaire des différents modes d'agriculture qui existent aujourd'hui dans les zones urbaines afin de cibler quelle serait la meilleure méthode de culture pour notre projet en fonction de nos contraintes.

À travers le tableau ci-dessous, nous avons donc pour chaque moyen identifié, déterminé ses avantages et inconvénients. Il en est ainsi ressorti que la méthode la plus adéquate dans notre projet est la culture aéroponique, grâce au faible poids de ce système, son côté innovant et son coût global.

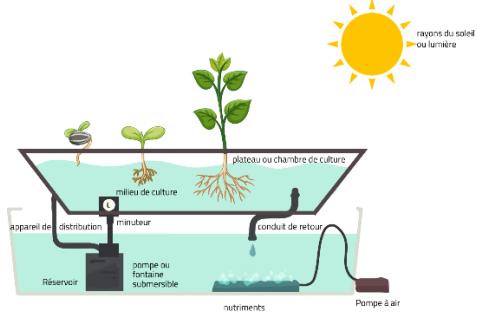
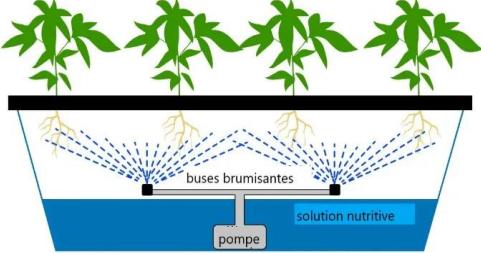
Nom	Représentation	Avantages	Inconvénients
Culture en bac		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Limite les mauvaises herbes</li> <li>✓ Maintient une activité microbienne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Poids</li> <li>✗ Pertes économiques (mélange eau/engrais)</li> </ul>
Aquaponie		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pas de produit chimique</li> <li>✓ Écosystème autonome</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Poids</li> <li>✗ Coûts</li> </ul>
Hydroponie		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Absence de maladie</li> <li>✓ Cultivable toute l'année</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Risque de développement de champignon</li> </ul>
Aéroponie		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Consomme peu d'eau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Rejet solution nutritive</li> </ul>
Ultraponie		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Consomme peu d'eau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Rejet solution nutritive</li> <li>✗ Coûteux</li> </ul>

Tableau 2 Agricultures urbaines

## Les différentes cultures aéroponiques

L'aéroponie est une technologie datant pour son origine des années 1970/1980 démocratisée par la NASA dans le cadre de ses recherches dans l'espace pour permettre à ses astronautes d'être autonomes sur le plan alimentaire, et Israël, qui au vu de son climat et de ses terres devait trouver une solution pour pouvoir nourrir sa population.

Il existe aujourd'hui un grand nombre de fermes aéroponiques, on retrouve ainsi les fermes verticales ou horizontales, mais également des fermes en conteneurs ou sous serre. Ces fermes peuvent également être basées sur un système de brouillard, de goutte-à-goutte ou encore de type NFT (Nutrient Film Technique).

Dans notre cas, nous sommes partis sur une ferme verticale afin de pouvoir profiter de la hauteur qu'offre la rotonde du palais Rameau, et nous nous sommes basés sur une technologie par brouillard, méthode permettant une utilisation minimale de l'eau tout en réduisant au maximum les risques de maladie racinaire. Le point d'attention à avoir avec cette technologie sera la surveillance des paramètres.

## La ferme verticale de « LCTX Aéroferme »

C'est avec toutes ces données que nous avons décidé de représenter un des systèmes de notre solution tel quel.

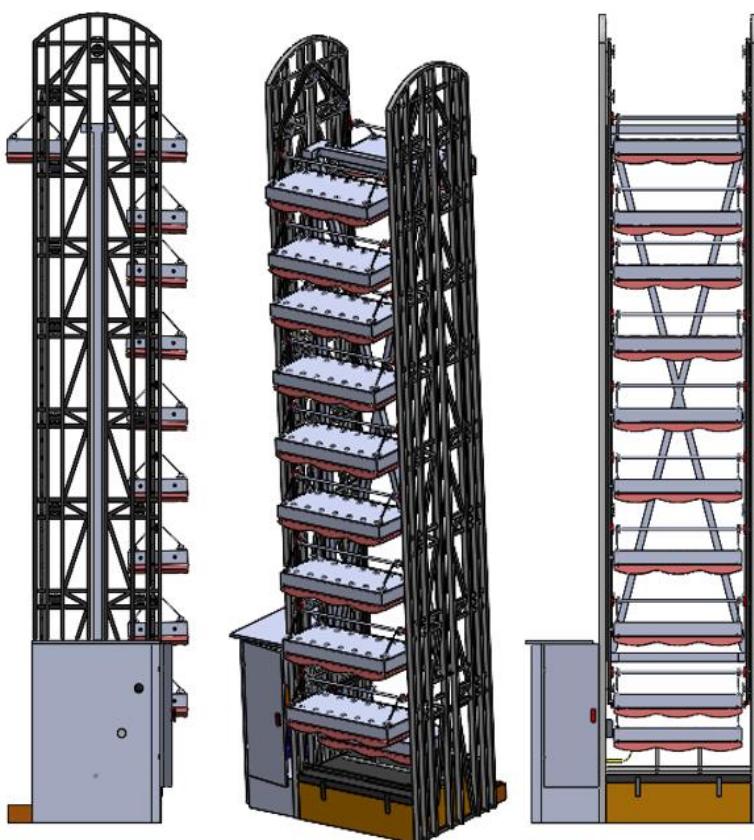


Figure 7 Système

D'une hauteur de 9 mètres permettant de profiter de la superficie qu'offre la rotonde et d'une base de 1,5 mètre correspondant à une dimension de bureau standard pour permettre à un technicien de pouvoir intervenir sur toute la base de la machine. Elle est ainsi ergonomique et s'insère dans un environnement permettant de maximiser la superficie au sol.

Pour éviter les travaux en hauteur, le système se veut polyvalent, grâce à un système de chaîne permettant d'amener les plants aux techniciens plutôt que d'aller jusqu'à eux.

Un système au sol permettra d'apporter la solution nutritive sous forme de brouillard nutritif et de prendre en parallèle les paramètres dans le caisson pour adapter la vitesse de rotation du système et identifier les bacs pouvant présenter un problème.

## Notre prototype

Dans le cadre de ce rapport, nous allons développer une solution à notre problématique à travers la conception et la fabrication d'un prototype à taille humaine de dimension suivantes :

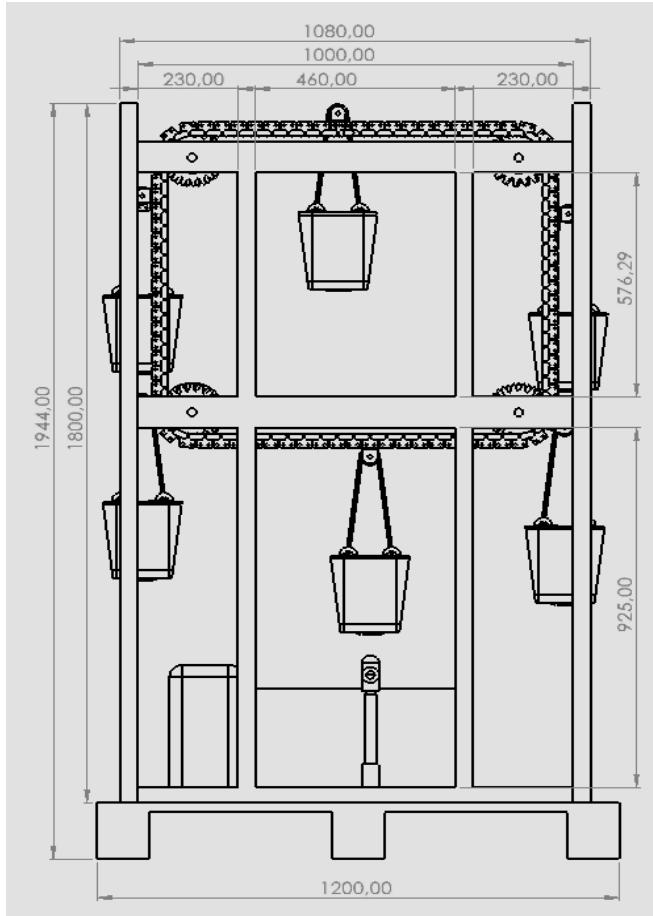


Figure 8 Dimensions du prototype

Ce prototype d'une largeur maximale équivaut à celle d'un bureau (1,20m) et d'une hauteur d'un peu moins de deux mètres permettra à une grande majorité de la population de pouvoir effectuer la culture et les travaux sur ce projet.

Ce projet à structure verticale s'appuie sur un déplacement des bacs obtenus via le déplacement d'une chaîne relié à un moteur. Cette chaîne menante va venir entraîner la chaîne menée afin de permettre à l'ensemble des bacs de se déplacer. Un capteur fin de course permettra de valider la position d'un bac en position basse au-dessus du vérin doté du porte-buse. Un capteur de couleur permettra de confirmer quel bac est en position basse. Ensuite, en fonction du mode défini dans le système (automatique, manuel ou maintenance), la brumisation aura lieu au sein du bac. Pour confirmer cette brumisation, un capteur d'humidité est installé sur l'une des buses permettant de relever la saturation en brouillard nutritif.

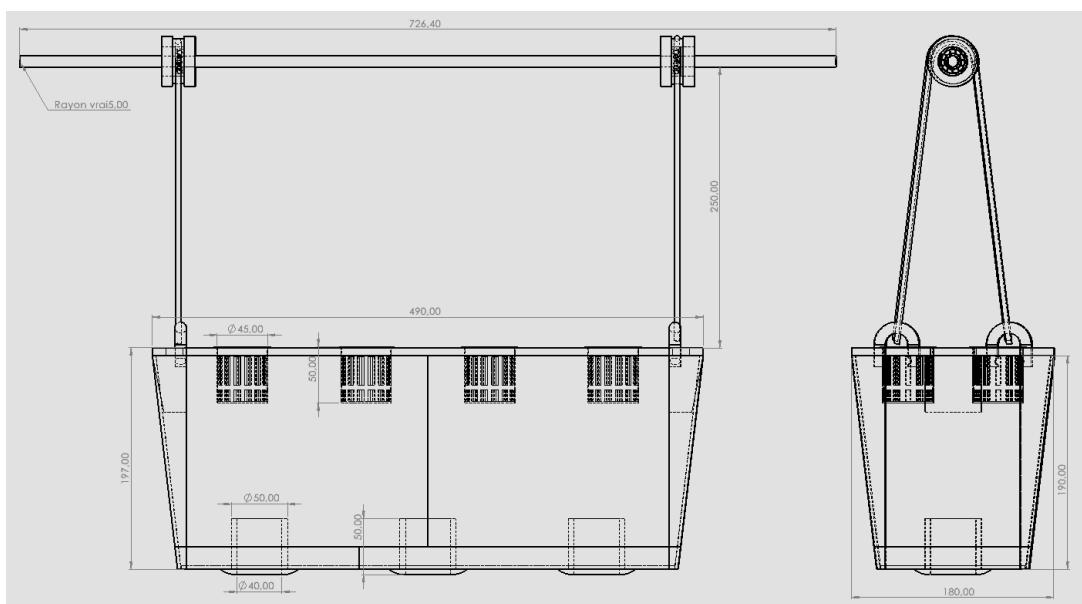


Figure 9 Vue bac de plantation

## Les plants en aéroponie

La culture en aéroponie étant en hors-sol, il est préférable de favoriser des plants avec un système racinaire plutôt qu'une pousse à partir d'un bulbe ou d'un crocus. Ainsi on retrouve fréquemment comme type de culture les salades ou les légumes-feuilles en général ou les herbes aromatiques.

Dans le cadre de notre projet, nous avons décidé de partir sur des herbes aromatiques afin de pouvoir obtenir un système à l'équilibre financier, voire rentable à plus long terme. Pour ce faire nous allons commencer par une première culture avec du basilic afin de pouvoir valider toutes les hypothèses prises et détaillées au travers de ce rapport.

En parallèle, nous avons effectué une veille agricole afin de pouvoir identifier différents plants sur 4 des 6 continents dans le but de pouvoir proposer des cultures variées et s'adapter à la demande, tout en faisant connaître de nouveaux plants et de nouvelles cultures à la population lilloise.

Nous pouvons ainsi prouver qu'en local nous sommes en mesure de produire des éléments non adaptés au climat et ainsi supprimer les émissions de gaz à effet de serre provoqués par les multiples transports d'herbes aromatique à travers le monde.

Afrique	Amérique	Asie	Océanie
Citronnelle de Madagascar	Papalo	Moutarde de chine	Romarin d'Australie
La marjolaine	Le cresson de Pará	Citronnelle	Epinard de Nouvelle-Zélande

Tableau 3 Plants du monde

Il existe également un autre type de plant, très développé en aéroponie, il s'agit du cannabis. Aujourd'hui interdit dans beaucoup de pays, sa production en aéroponie s'est cependant extrêmement développée. Ainsi, dans le futur, si une légalisation pour l'usage médicinal venait à voir le jour, notre système serait en mesure de pouvoir assurer sa production.

### a. *Le plan choisi pour le projet « LCTX Aéroferme »*



Figure 10 Plant de basilic

Comme précisé plus haut, nous avons fait le choix de partir sur la production de plante aromatique, et plus spécifiquement sur du basilic sur notre prototype. En effet, sa culture en aéroponie étant connue et maîtrisée, nous serons en mesure de pouvoir nous assurer que notre système fonctionne, et nous serons en mesure de rapidement identifier et corriger les déviations de notre système.

### Les besoins

Dans le but de pouvoir assurer une production optimale, il nous a fallu identifier les paramètres clefs nécessaires à la production en aéroponie du basilic. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur les retours de producteurs d'engrais, dans notre cas, c'est ICL group, qui nous a permis de valider nos données en gramme/plant.

Basilic	Paramètre	Valeur unitaire	Valeur prototype (48 plants)
	N	0,270	13
	P	0,080	4
	K	0,200	10
	Ca	0,135	6
	Mg	0,045	2

Tableau 4 Paramètres basilic

### La solution nutritive

Notre système étant basé sur une agriculture hors-sol, et donc également sans substrat, il est nécessaire de trouver un vecteur pour amener tous les nutriments nécessaires aux plants de notre système. Dans notre cas, nous sommes partis sur une solution nutritive permettant d'apporter tous les éléments nécessaires à un plant. Pour ce faire, nous utiliserons un engrais à dissoudre dans de l'eau que nous récupérerons directement au palais Rameau.

#### a. *Les nutriments*

Il est nécessaire dans notre cas de contrôler et de fournir à nos plants les 5 nutriments ci-dessous :

- L'azote (N) :
  - Rôle : C'est l'élément primordial de la solution nutritive, car c'est lui qui agit en premier lieu sur la croissance du plant ;
- Le phosphore (P) :
  - Rôle : Élément métabolisant de la solution, son action favorise la croissance du plant, mais également de son système racinaire en accroissant sa rigidité ;
- Le potassium (K) :
  - Rôle : L'objectif du potassium est de renforcer les parois cellulaires de nos plants ainsi que leurs surfaces foliaires ;
- Le calcium (Ca) :
  - Rôle : Le calcium est un élément secondaire de la solution nutritive, mais il participe à la constitution des parois cellulaires et favorise la croissance ;
- Le magnésium (Mg) :
  - Rôle : Ce nutriment secondaire, participe également à la croissance, mais de plus, à la synthèse des différentes protéines présentes dans la solution nutritive.

#### b. *L'eau*

L'eau dans laquelle sera diluée notre engrais est le premier élément de la solution nutritive et dispose déjà d'une partie des éléments nécessaires à la croissance de nos plants. Dans notre cas, nous avons la possibilité de nous fournir en eau sur le réseau du Palais rameau ou en eau osmosée.

Nous pouvons donc voir que l'eau qui sera disponible à Lille, disposera déjà en partie de tous nos éléments, excepté le phosphore. En effet, à la place, nous retrouvons l'un de ses ions, le phosphate.

### c. L'engrais

L'engrais est le second élément de la solution nutritive, c'est lui qui va permettre d'apporter les éléments absents de l'eau de mélange, mais il sera également le moyen de réguler le taux de ces dits éléments dans la solution. Bien qu'il soit possible de créer soi-même sa solution nutritive et son engrais, nous avons fait le choix de partir sur un engrais soluble qui permettra d'apporter les éléments manquants dans l'eau et de jouer sur un des paramètres : le pH.

### d. Les paramètres

- Le potentiel hydrogène (pH) :
  - Rôle : Il s'agit de l'échelle de mesure permettant de connaître l'acidité de la solution nutritive. Avoir le bon pH permet d'assurer une assimilation optimale des nutriments par le système racinaire.

La solution est généralement plus acide que l'eau, ce qui est également notre cas. En effet, l'eau disponible possède un pH de 7,78 pour un taux optimal de 6 environ, notre engrais permettra d'atteindre cette valeur, car en plus d'apporter des éléments nutritifs, il permet d'acidifier la solution.

- L'électro-conductivité (EC) :
  - Rôle : C'est grâce à l'EC que nous pouvons déterminer le taux nutritif de notre solution, car, séparément, nos éléments ne peuvent pas s'assimiler au système racinaire, car ils sont dépourvus de charge électrique.

Le taux d'EC est propre à chaque plant, cependant, il est important de faire attention à sa variation, avec celle de base de l'eau à 0,77 mS/cm pour un engrais apportant une EC de 1,19 mS/cm.

- La température
  - Rôle : Paramètre sans doute le plus important et contraignant, elle nécessite une surveillance précise car c'est elle qui permet la croissance des plants. Elle doit être mesurée et régulée aux alentours de 20/21°C sans dépasser les 25°C.

## La solution de « LCTX Aéroferme » pour le basilic

### e. Volume de solution nutritive pour le prototype en théorie

Afin de pouvoir déterminer la quantité d'engrais à verser dans notre solution, il est impératif d'en déterminer d'abord le volume nécessaire, ainsi, nous avons d'abord récapitulé nos besoins.

Une fois nos données confirmées, nous avons donc calculé la consommation du système pendant les cycles diurnes et nocturnes afin de pouvoir déterminer la quantité de solution pour une autonomie de 21 jours, correspondant à l'apparition des premières feuilles de basilic et permettant de nous assurer de la venue d'un technicien durant cette période.

De plus chaque bac devant être traité de manière identique, nous arrondissons l'ensemble des résultats de manière que chaque bac reçoive autant de solution.

Données		Unité
Nombre de plants	48	Pièce
Nombre de bacs	6	Pièce
Débit minimal	2	L/h
Débit maximal	3	L/h
Durée brouillard	15	s
Durée cycle diurne	10	H
Durée cycle nocturne	14	H
Repos diurne	15	Min
Repos nocturne	30	Min
Autonomie	21	Jours
Perte	10	%
Nombre de buses	3	Pièce

Tableau 5 Données sources solution nutritive prototype

### Consommation globale

Nous allons maintenant déterminer la consommation globale du système en fonction de ses cycles diurnes (bleu) et nocturnes (rouge) sur une période de 21 jours (autonomie souhaitée pour le basilic) :

$$N_b \text{ étape quotidienne} : \frac{(10 * 3600)}{(15 + (15 * 60))} + \frac{(14 * 3600)}{(15 + (30 * 60))} = 39 + 27 = 66 \text{ étapes}$$

$$N_b \text{ passage quotidien par bac} : \frac{39}{6} + \frac{27}{6} = 6 + 4 = 10 \text{ passages}$$

$$\begin{aligned} \text{Consommation minimale quotidienne} : & (6 * 6) * \left( \frac{2}{3600} * 15 \right) * 3 + (4 * 6) * \left( \frac{2}{3600} * 15 \right) * 3 \\ & = 0,9 + 0,6 = 1,5 \text{ L/jour} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Consommation maximale quotidienne} : & (6 * 6) * \left( \frac{3}{3600} * 15 \right) * 3 + (4 * 6) * \left( \frac{3}{3600} * 15 \right) * 3 \\ & = 1,4 + 0,9 = 2,3 \text{ L/jour} \end{aligned}$$

$$\text{Volume minimal solution} : 1,5 * 21 = 31,5 \text{ L} \quad \text{Volume maximal solution} : 2,3 * 21 = 47,3 \text{ L}$$

$$\text{Drainage minimal} : 31,5 * 0,1 = 3,2 \text{ L}$$

$$\text{Drainage maximal} : 47,3 * 0,1 = 4,7 \text{ L}$$

Ainsi, pour 21 jours d'autonomie, nous consommerons entre 31,5 et 47,3 litres de solution nutritive.

Donc, grâce à ces résultats et aux données fournies par l'analyse de l'eau, nous avons pu calculer et déterminer les éléments apportés par l'eau, et ceux qui devront être fournis par l'engrais. Ainsi dans notre bac de solution nutritive, il nous faudra verser 0,11 Kg d'engrais.

À solubiliser dans 60 l :	0,110 Kg		g/47,3 L
Apporté par l'engrais :	N	13	
	P	9	
	K	13	
	Ca	0	
	Mg	2	

Tableau 6 Engrais à verser

## DIMENSIONNEMENT DE LA FERME AGRICOLE URBAINE

### Partie « bac de plantation »

#### *f. Dimensions et informations concernant le bac de plantation.*

Notre système est constitué de bacs conçus pour accueillir les plants et leurs racines. Le nombre de bacs peut être ajusté à condition de respecter une distance de séparation de 25 cm minimum entre chaque bac. Cette distance permettra à la plante de bien se développer et ses feuilles n'entreront jamais en contact avec le bac supérieur.

Maintenant, passons aux données détaillées concernant les bacs de notre prototype. Pour une meilleure visibilité et compréhension, les données de notre bac pour la partie Projet final seront données sous forme synthétique à la suite de cela.

Notre bac de la marque ETHICA possède les dimensions suivantes :

- Largeur : 0,17 m ;
- Longueur : 0,49 m ;
- Hauteur : 0,18 m.

Nous avons donc une surface de  $0,083 \text{ m}^2$ . Le prototype compte 6 bacs, ce qui nous donne une surface totale de  $0,499 \text{ m}^2$ . Pour permettre un développement optimal des plants sans impacter la croissance des autres, nous avons laissé un espace de 5,5 cm autour de chaque plant (cette valeur provient des veilles effectuées en début de projet). De plus, afin d'assurer une meilleure visibilité, nous avons choisi une marge légèrement plus importante.

Chaque bac peut accueillir 8 plants (2 sur la largeur et 4 sur la longueur). Ces plants sont stockés dans des paniers spécialement conçus pour laisser passer les racines tout en limitant les éclaboussures dues à l'arrosage au niveau des racines.

Ainsi, notre prototype composé de 6 bacs peut accueillir un total de 48 plants.

Concernant le poids, notre système de plantation a les caractéristiques suivantes :

- Poids d'un bac avec 8 plants : 2,4 kg ;
- Poids total du prototype (6 bacs) : 14,4 kg.

Ces valeurs sont des approximations basées sur les données recueillies au cours de nos recherches.

Notre bac est équipé d'un réservoir qui permet de stocker l'excès d'eau avant qu'il ne déborde pas en cas de surplus. Pour dimensionner correctement notre système, nous avons procédé de la manière suivante :

- Nous avons pesé le bac à vide, obtenant un poids de 0,475 Kg.
- Ensuite, nous avons pesé le bac avec le réservoir plein, ce qui nous a donné un poids de 1,475 Kg.

Ces mesures nous permettront de déterminer les dimensions de l'axe qui maintiendra le bac en place dans le prototype. De plus, nous avons fixé des roulements à billes sur cet axe, ce qui permettra au bac de rester en position fixe grâce à la gravité lorsque le système sera en mouvement.

Le bac sera également pourvu d'équipements réalisés en impression 3D pour plusieurs fonctions :

- Passage des buses : Faciliter l'arrosage tout en évitant les fuites sur les bacs situés en dessous.
- Protège-roulements : Habiller les roulements à billes et assurer un meilleur maintien du bac à l'axe via un câble.

Ces différents composants ont été modélisés sur SolidWorks et représentent un total de 0,7 Kg (en prenant une marge).

Cela nous amène à un poids total de 3,829 Kg (avec le bac à vide) et 4,829 Kg (avec le réservoir plein). Ce poids nous permettra de dimensionner l'axe de notre bac. Pour l'ensemble de ces calculs, nous avons pris le poids le plus élevé afin d'assurer la fonctionnalité de nos bacs, même lorsque ceux-ci ont le réservoir plein.

#### *g. Dimensionnement de l'axe de maintiens et des roulements à billes.*

##### Axe de maintien :

Pour l'ensemble des calculs réalisés dans cette partie, nous nous sommes appuyés sur les schémas suivants :

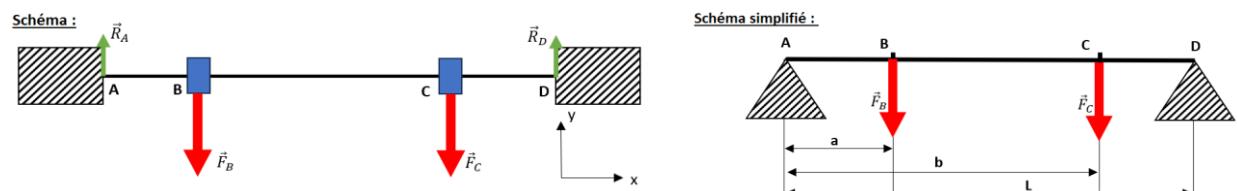


Figure 11 Schémas calcul diamètre axe

La partie rayée correspond aux attaches reliant l'axe à la chaîne du prototype.

##### Principe Fondamental de la Statique (PFS) :

$$\sum \vec{F} = 0 \text{ donc on a : } \vec{R}_A + \vec{F}_B + \vec{F}_C + \vec{R}_D = \vec{0}$$

$$\text{Donc suivant } \vec{x} : \quad 0 + 0 + 0 + 0 = 0$$

$$\text{Suivant } \vec{y} : \quad R_A - F_B - F_C + R_D = 0$$

$$\sum M_A = 0 \text{ donc on a : } M_{R_A/A} + M_{F_B/A} + M_{F_C/A} + M_{R_D/A} = 0 \text{ avec } M_{R_A/A} = 0$$

$$\text{Par conséquent : } (-F_B * a - F_C * b + R_D * L) = 0$$

$$\text{Donc } R_B = \frac{F_B * a + F_C * b}{L}$$

$$\text{Donc } R_A = F_B + F_C - R_B \text{ ce qui nous donne : } R_A = \frac{F_B(L-a) + F_C(L-b)}{L}$$

À la suite de cela, on vient effectuer une coupure entre chaque partie.

**Sur la travée A-B : équilibre de A-x :**

$$R_A + T = 0 \quad \text{donc } T = -R_A \quad \text{donc } T = -\frac{F_B(L-a) + F_C(L-b)}{L}$$

$$M + M_{R_A/x} = 0 \Leftrightarrow M - R_A * x = 0 \quad \text{donc } M = \frac{F_B(L-a) + F_C(L-b)}{L} * x$$

*On retrouvera la même chose en considérant l'équilibre de x-D.*

**Sur la travée B-C : équilibre de A-x :**

$$R_A + F_B + T = 0 \quad \text{donc } T = -R_A - F_B \quad \text{donc } T = -\frac{F_B(L-a) + F_C(L-b)}{L} - F_B$$

$$M + M_{R_A/x} + M_{F_B/x} = 0 \quad \text{donc } M = \frac{F_B(L-a) + F_C(L-b)}{L} * x - F_B(x-a)$$

On retrouvera la même chose en considérant l'équilibre de x-D.

**Sur la travée C-D : équilibre de x-B :**

$$-T + R_D = 0 \quad \text{donc } T = R_D \quad \text{donc } T = \frac{F_B*a + F_C*b}{L}$$

$$-M + M_{R_D/x} = R_D(L-x) \quad \text{donc } M = \frac{F_B*a + F_C*b}{L} * (L-x)$$

**Récapitulatif :**

	Travée A-B	Travée B-C	Travée C-D
<b>Effort tranchant (T)</b>	$-\frac{F_B(L-a) + F_C(L-b)}{L}$	$-\frac{F_B(L-a) + F_C(L-b)}{L} - F_B$	$\frac{F_B*a + F_C*b}{L}$
<b>Moment fléchissant (M)</b>	$\frac{F_B(L-a) + F_C(L-b)}{L} * x$	$\frac{F_B(L-a) + F_C(L-b)}{L} * x - F_B(x-a)$	$\frac{F_B*a + F_C*b}{L} * (L-x)$

Tableau 7 Récapitulatif PFS

**Application Numérique :**

a = 150 mm ; b = 650 mm ; L = 800 mm ;  $F_B = 23,69 \text{ N}$  ;  $F_C = 23,69 \text{ N}$  ; x = dépend de la position.

Les forces  $F_B$  et  $F_C$  ont été calculées à partir du poids à soulever, qui est de 4,829 Kg. Pour obtenir la force en Newton, nous multiplions ce poids par la gravité, soit  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Pour finir, nous divisons ce poids par 2 (car le bac sera fixé en deux points sur l'axe).

**Nos résultats :**

	Travée A-B	Travée B-C	Travée C-D
Effort tranchant (T) (en N)	-23,686	-47,372	23,686
Moment fléchissant (M1) (en N.mm)	0	-3552,936	3552,936
Moment fléchissant (M2) (en N.mm)	-3552,936	-27239,181	0

Tableau 8 Résultats PFS

À partir de nos résultats, on remarque que le point le plus sollicité est le point C avec -27239,182 N.mm.

Par conséquent, on va venir calculer le diamètre d'axe nécessaire en fonction de ce point. Nous utiliserons les formules suivantes :

$$d = ((16 * K * (M_f + \sqrt{M_f^2 + M_t^2})) / (\pi * \sigma))^{1/3} \quad \text{et} \quad d = ((16 * K * (\sqrt{M_f^2 + M_t^2})) / (\pi * \tau))^{1/3}$$

Le K correspond au coefficient de sécurité choisi, soit 1.5 ; le  $\sigma$  correspond à la limite élastique  $R_e$  de l'acier, soit 150 MPa ; le  $\tau$  correspond à la Résistance mécanique  $R_m$  de l'acier, soit 200 MPa ; le  $M_f$  correspond au Moment de flexion et le  $M_t$  au Moment de torsion.

**Nous obtenons les résultats suivants :**

$$d \text{ avec } \sigma = 0,081 \text{ mm} \quad \text{et} \quad d \text{ avec } \tau = 10,133 \text{ mm}$$

Il nous suffit de prendre la valeur la plus grande afin d'avoir le diamètre d'axe idéal capable de supporter le poids de 4,829 Kg de notre bac. Nous avons donc un axe avec une longueur de 800 mm et un diamètre de 10 mm.

Après avoir déterminé le diamètre de l'axe de maintien de notre bac, nous sommes passés aux choix des roulements à billes qui viendront se fixer dessus comme expliqué précédemment.

### **Roulements à billes :**

Pour ce faire, nous avons d'abord cherché un roulement à billes dont le diamètre intérieur permettrait une mise en place simple sur l'axe. Sachant que le diamètre de notre axe mesure 10 mm, nous avons opté pour un roulement à billes avec un diamètre intérieur de 10 mm (en prenant en compte les jeux d'ajustement).

Nous avons trouvé le roulement à billes sur le site SKF avec la désignation suivante : **6000**.

Nous avons pris ce roulement à billes car nous avons fait au préalable un dimensionnement théorique afin de voir la résistance aux charges de bases minimum que doit avoir notre roulement à billes. Notre charge étant très faible, nous pouvons donc prendre le roulement à billes avec les charges de base les plus faibles.

Par la suite, nous avons accès aux données concernant le roulement à billes, que voici :

- Diamètre intérieur (d) : 10 mm ;
- Diamètre extérieur (D) : 26 mm ;
- Epaisseur (B) : 8 mm ;
- Charge Dynamique (C) : 4,75 kN ;
- Charge Statique ( $C_0$ ) : 1,96 kN ;
- $f_0$  : 12 (corresponds au coefficient spécifique au type de roulement).

Ensuite, nous avons dans un premier temps calculé la valeur de notre coefficient e avec la formule  $F_a/F_r$ . Comme suit :  $e = F_a/F_r = 4/23,69 = 0,17$ . En regardant la figure suivante, on remarque que notre  $F_a/F_r < e$  donc  $P = F_r$ .

$\frac{f_0 \cdot F_a^*}{C_0}$	0,172	0,345	0,689	1,03	1,38	2,07	3,45	5,17	6,89
$\frac{F_a^*}{C_0}$	0,014	0,028	0,056	0,084	0,110	0,170	0,283	0,42	0,5
$X^*$	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
$Y^*$	2,30	1,99	1,71	1,55	1,45	1,31	1,15	1,04	1,00
$e^*$	0,19	0,22	0,26	0,28	0,30	0,34	0,38	0,42	0,44

\* : valeurs NF ISO 281 ; \*\* : valeurs usuelles

Tableau 9 ISO 281:2007

Donc  $P_r = (X^*F_r + Y^*F_a)$  avec  $X = 1$  et  $Y = 0$  car  $F_a/F_r < e$ . Par conséquent,  $P_r = 23,69$  N soit 0,023 kN.

À partir des résultats obtenus précédemment, nous pouvons calculer le nombre de tours que le roulement à billes pourra effectuer et le nombre d'heures pendant lesquelles notre roulement à billes pourra fonctionner avant une possible rupture, tout en respectant les contraintes définies auparavant.

$$L_{10}(\text{Nombre de tours}) = (C/P_r)^3 = (4,75/0,023)^3 = \mathbf{8\ 060\ 939,22 \cdot 10^6 \text{ tours.}}$$

*Nous le faisons à la puissance 3 car notre roulement à billes est de type rigide et non à rouleaux.*

$$L_h(\text{Nombre d'heures}) = (16666,66/\text{nb}) * L_{10} = (16666,66/10^6) * 8\ 060\ 939,22 = \mathbf{134\ 348,45 \text{ heures.}}$$

Dans la formule précédente, le nombre de tours (nb) correspond au nombre de rotations que notre roulement à billes effectuera. Etant donné que nous avons obtenu des valeurs très élevées, nous avons opté pour un choix pratique en utilisant 1 million de tours afin d'obtenir une valeur en heures facilement lisible à l'œil.

Il faut donc comprendre les résultats de la manière suivante :

- Notre roulement à bille sera en mesure de réaliser  $8\ 060\ 939,22 \times 10^6$  tours au cours de sa vie.
- Il pourra effectuer 1 million de rotation pendant une durée de 134 348,45 heures avant d'avoir une rupture due à la fatigue du roulement.

Ces résultats sont théoriques, mais ils nous permettent de constater que le roulement à billes choisi correspond à nos attentes. Si d'autres roulements à billes existaient, mais avec des données moins significatives, nous nous serions tournés vers eux. Cependant, ce n'est pas le cas donc notre roulement à bille sera surdimensionné pour cette partie du système.

Pour conclure cette section, nous avons réalisé les mêmes calculs sur le système final. Vous trouverez l'ensemble de ces résultats dans la synthèse suivante :

Dimensions	Taille	Dimensions des roulements	Taille
Distance de sécurité minimum entre deux bacs (en m)	0,25	Type de roulement	À billes et rigide
Largeur du bac de plantation	0,17	Désignation	6000 (SKF)
Longueur du bac de plantation (en m)	0,49	Nombre de tours possible ( $\times 10^6$ tours)	8 060 939,22
Hauteur du bac de plantation (en m)	0,18	Durée de vie du roulement (en heures)	134 348,45
Surface du bac de plantation (en $m^2$ )	0,083		
Nombre de bac pour le système	6		
Surface total (en $m^2$ )	0,499		
Plants	Taille	Efforts	Taille
Espace autour de chaque plant (en m)	> 0,055	Poids d'un bac de plantation vide (en Kg)	3,829
Nombre de plant par bac de plantation	8	Poids d'un bac de plantation plein (avec cuve de vidange pleine) (en Kg)	4,829
Nombre de plant pour le système	48	Efforts sur appuis (bac/câble/axe) (en N)	23,69
Dimensions de l'axe de maintiens	Taille		
Diamètre de l'axe de maintiens (en m)	0,01		
Longueur de l'axe de maintiens (en m)	0,8		

Tableau 10 Comparatif prototype/système final pour axe & roulement

## Partie « arrosage »

Comme nous l'avons présenté plus haut dans ce rapport, le prototype sera équipé de 6 bacs d'une longueur de 0,49 m pour une largeur de 0,18 m et une hauteur de 0,17 m. Du fait de la longueur du système racinaire, il y aura un espace utile de 0,12 m entre le fond du bac et le point bas du système racinaire.

De plus, grâce à notre veille agricole, nous avons déterminé qu'un minimum de 3 buses étaient nécessaire pour nous assurer que l'ensemble des racines dans les coins soient pulvérisées. Le bac sera ainsi représenté :

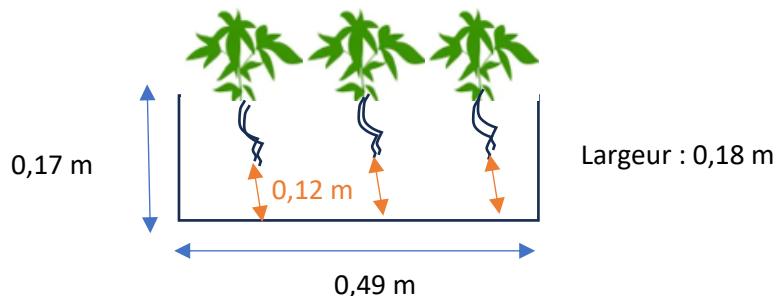


Figure 12 Dimensions bac prototype

### *h. Porte-buse*

Notre prototype tout comme le système final est doté de trois buses de brumisation afin de limiter au maximum les zones de recouvrement des jets permettant de diminuer les rejets de solution, ainsi que d'un capteur d'humidité positionné sur le porte-buse permettant de s'assurer que la solution est bien pulvérisée et que la saturation du bac est supérieure à 90%. Pour ce faire, ces 4 éléments sont liés à notre porte-buse, positionné sur un actionneur linéaire électrique qui effectue une montée lorsque le bac arrive en position basse.



Figure 13 Porte-buse

### i. Buse

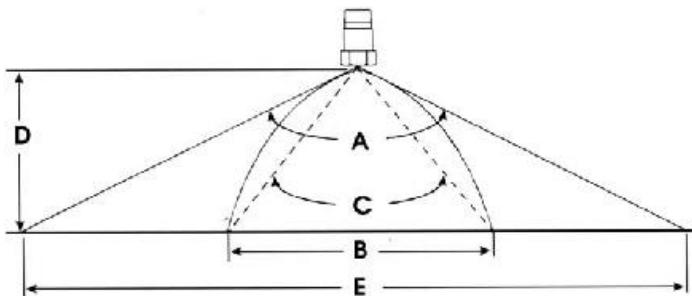
Nous avons donc fait le choix de partir sur un système à 3 buses, nous permettant d'avoir un prototype fonctionnel et le moins coûteux possible. Ainsi pour avoir un arrosage optimal, nous avons dû calculer l'angle de brumisation idéal pour éviter un recouvrement des jets des 3 buses pour limiter au maximum les pertes de solutions et réduire les risques de présence de solution liquide sur notre système racinaire.

Nous avons donc commencé par calculer la superficie que chaque buse devait couvrir :

$$0,5 * 3 = 0,17 \text{ m}.$$

Maintenant, nous nous sommes focalisés à déterminer l'angle de dispersion optimale de la buse pour éviter ces recouvrements, pour ce faire nous nous sommes basés sur ce principe :

- Angle du jet (A) : Angle à la sortie de la buse ;
- Couverture réelle (B) : C'est la couverture à la distance D ;
- Angle réel (C) : Angle calculé à partir de la couverture réelle (B) à une distance (D) ;
- Couverture théorique (E) : Couverture à une distance D si le jet garde une forme idéale.



**THEORETICAL SPRAY COVERAGE (E) IN MILLIMETERS**

Included Spray Angle (A)	Distance From Nozzle Orifice (D) (mm)									
	50	75	100	150	200	300	400	600	800	1000
10°	9	13	17	26	35	52	70	105	140	175
20°	18	26	35	53	71	106	141	212	282	353
30°	27	40	54	80	107	161	214	322	429	536
40°	36	55	73	109	146	218	291	437	582	728
50°	47	70	93	140	187	280	373	560	746	933
60°	58	87	115	173	231	346	462	693	924	1155
70°	70	105	140	210	280	420	560	840	1120	1400
80°	84	126	168	252	336	503	671	1007	1343	1678
90°	100	150	200	300	400	600	800	1200	1600	2000
100°	119	179	238	358	477	715	953	1430	1907	2384
110°	143	214	286	428	571	857	1143	1714	2285	
120°	173	260	346	520	693	1039	1386	2078		
130°	214	322	429	643	858	1287	1716			
140°	275	412	549	824	1099	1648	2198			
150°	373	560	746	1120	1493	2239				
170°	1143	1715	2286							

Figure 14 Données buses

Ainsi, dans notre cas pour une pulvérisation couvrant un diamètre de 170 mm avec notre buse à 120 mm du système racinaire, il nous faudrait une buse avec un angle compris entre 60° et 80°. Après un produit en croix, nous sommes en mesure confirmer ces chiffres selon le tableau ci-dessous :

Angle	Distance	Diamètre cône
60°	120 mm	138
		168
		201

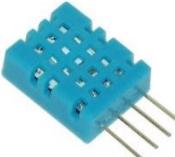
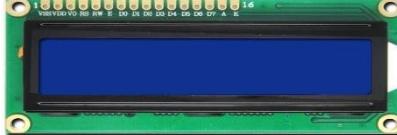
Tableau 11 Angles buse

Pour notre prototype, nous avons donc pu compter sur un don de 3 buses ASJ SPRAY-JET modèle SF-080-02 répondant à ces caractéristiques.

## Partie « automatisation »

### j. Capteur circuit principal

Notre système dispose d'un circuit principal permettant le bon fonctionnement du prototype et détaillé [en annexe](#) prenant en compte la sécurité des techniciens et le respect des contraintes liées à l'aéroponie.

Représentation	Dénomination	Rôle	Contrainte
	Carte Elegoo MEGA	Alimentation de certains capteurs et contrôle du système	Quantité importante de PIN pour les entrées et sorties
	Relais Arduino	Contrôle d'actionneurs à forte puissance	Tension des appareils branchés
	Capteur de fin de course	Détection de la bonne position des bacs et des positions haute et basse du vérin	Réactivité du capteur pour interrompre le vérin ou le moteur
	Capteur d'humidité	Vérification de la bonne humidité au sein des bacs	En aéroponie, les racines doivent constamment être enveloppé d'un brouillard nutritif saturé (entre 95% et 100%).
	Capteur de couleur	Identification des bacs	La répétabilité des mesures de couleur une fois l'échantillonnage fait
	Écran LCD	Affichage du menu	Contrainte liée au nombre de caractères affichés
	Bouton	Navigation dans les menus	/

### k. Motorisation

Comme présenté plus haut, notre prototype possède un moteur devant entraîner le système d'entraînement à chaîne. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur l'abaque ci-dessous afin de pouvoir déterminer le moteur adéquat.

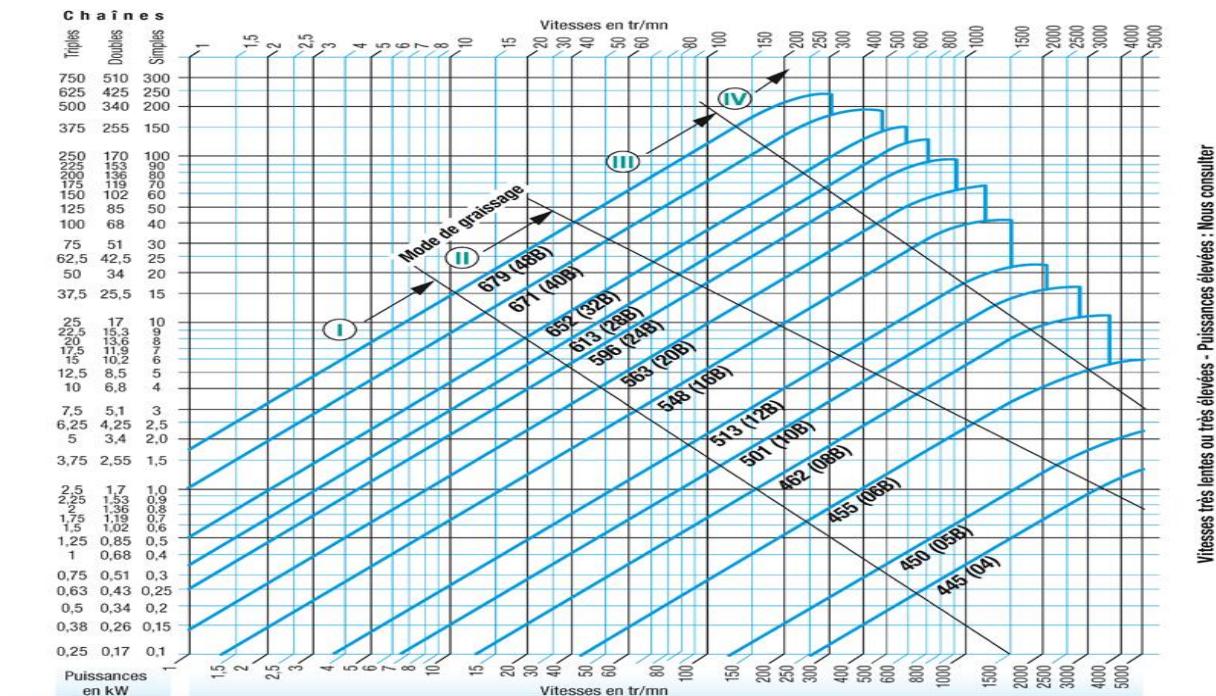


Figure 15 Abaque moteur

Grâce à cet abaque, nous savons qu'en fonction de notre modèle de chaîne et la vitesse de rotation souhaitée, nous devons obtenir un moteur d'une puissance de 250 W. En effet nous avons besoin de 10 tr/min maximum correspondant au nombre de passage quotidien par bac sur le système. Le choix de la chaîne, lui est détaillé plus bas dans ce rapport.

Moteur idéal		Moteur de récupération	
Modèle : BMU620C-A2		Modèle : SIREM R225F2B	
Puissance	250 W	Puissance	120 W
Vitesse	10 RPM (après réglage)	Vitesse	48 RPM

### c) Identification des bacs

Afin de permettre un fonctionnement du système le plus performant possible, nous avons fait le choix de pouvoir suivre l'état de chaque bac de manière indépendante. Cette volonté nous a donc demandé de pouvoir identifier chaque bac lors du fonctionnement du système.

Pour ce faire nous avons fait le choix, pour des raisons de coût principalement, d'opter pour un capteur de couleur. Ainsi nous avons attribué une couleur à chacun de nos 6 bacs (blanc, noir, jaune, rouge, bleu et vert)



Figure 16 Attribution couleur bac

À l'aide de cette identification nous pouvons, à la suite de la prise de la valeur d'humidité lors du fonctionnement en mode automatique, prévenir l'utilisateur d'un problème au niveau d'un bac si les valeurs sont hors tolérances après plusieurs passages.

De plus l'utilisateur a la possibilité avec cette méthode de mettre le bac qu'il souhaite en position basse afin de pouvoir intervenir dessus.

### d. Trois modes de fonctionnement

#### Mode automatique

Le mode automatique est le mode dit « par défaut » du système.

Son fonctionnement est le suivant : Lors de sa sélection, le moteur se met en rotation afin de mettre un bac en position au-dessus du vérin, position dite basse. Lorsque le capteur de position présenté plus tôt signale qu'un bac est à cette position, le moteur s'arrête et une temporisation est activée afin de stabiliser le bac. Une fois la temporisation terminée, le vérin monte jusqu'à ce que le capteur de fin de course se déclenche, afin de rentrer les buses dans le bac. Après cela, le capteur d'humidité relève la valeur du bac, puis la pompe s'active afin de brumiser la solution. Après l'arrêt de la pompe nous attendons quelque seconde afin que la « soupe », surplus de solution trop chargé en nutriment pouvant pourrir les plants, puisse être évacuée de bac. Enfin le vérin redescend jusqu'à sa fin de course et le cycle reprends depuis le début.

#### Mode maintenance

Comme expliqué plus tôt, le capteur d'humidité permet de contrôler l'état des bacs lors du mode automatique. Le mode maintenance permet, via les boutons présents sur le système, de faire défiler sur l'écran LCD l'état de chaque bac en indiquant ceux qui sont « ok » et ceux qui ont un « problème ». Ainsi le technicien saura sur quel bac il devra intervenir.

### Mode manuel

Le mode manuel est un mode qui permet de faire la sélection du bac que l'utilisateur souhaite mettre en position basse. Pour ce faire, nous pouvons sélectionner le bac souhaité via les boutons du système. À la suite de cela ce dernier se met en rotation, une fois la présence d'un bac confirmé par le capteur, le système attend 10 secondes afin de stabiliser le bac. Après cela, le capteur de couleur identifie le bac devant lui. S'il s'agit du bac souhaité, le système affiche « Bon bac » et attend une nouvelle instruction. Dans le cas contraire, il affichera « Mauvais bac » et le moteur se réactivera afin d'amener le bac suivant.

#### e. Surveillance des paramètres

##### Capteurs circuits aéroponique

Représentation	Dénomination	Rôle	Contrainte
	Capteur de température étanche	Cette sonde vient relever la température de la solution nutritive	Lorsque la solution nutritive descend en dessous de 18°C ou se retrouve supérieure à 25°C, alors celle-ci perd son pouvoir « nutritif » et nécessite son remplacement
	Capteur ultrason étanche	Grâce aux ultrasons émis par ce capteur, le niveau restant du bac est constamment connu	Les sondes d'EC et de pH nécessitent d'être constamment immergées afin de pouvoir continuer à fonctionner.
	Sonde d'électro conductivité (EC)	Permet de connaître le taux d'EC de la solution nutritive	Le taux d'EC devant être compris entre 1,1 et 1,7 pour s'assurer que la solution nutritive contient toujours des nutriments.
	Sonde de potentiel hydrogène (pH)	Fourni un relevé de pH de la solution nutritive	La solution nutritive doit être légèrement acide (entre 5,5 et 6,5) afin de faciliter l'absorption des nutriments par le système racinaire.
	Pompe	Permet de mettre le circuit sous pression	En aéroponie afin d'être sûr d'avoir une brumisation optimale, il est nécessaire d'avoir un circuit entre 6 et 8 bar.

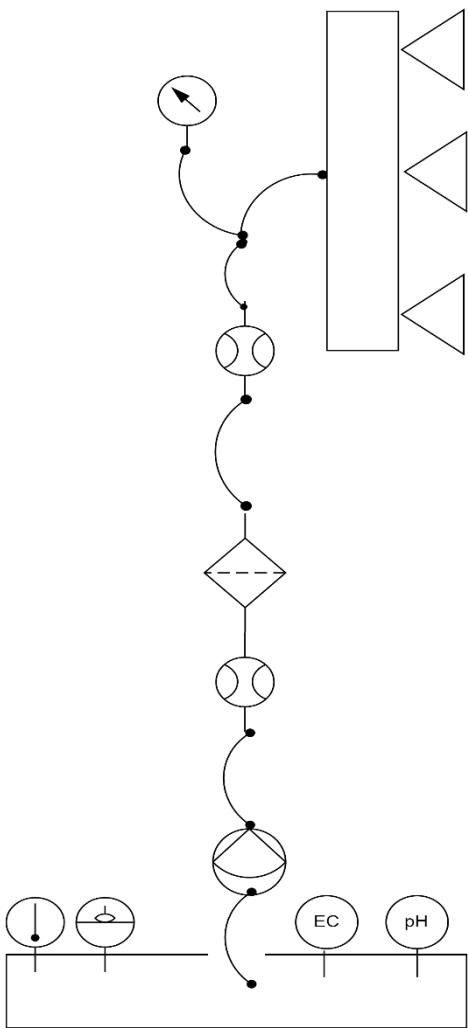
	Filtre	Permet d'éviter le colmatage des buses	La taille des gouttelettes étant très fines en aéroponie (50 µm), il est nécessaire de disposer d'un filtre à minima de cette capacité pour assurer un brouillard nutritif constant autour des racines.
	2 capteurs de débit	Vérifie le bon fonctionnement du filtre	Pour s'assurer du non-colmatage du filtre, deux capteurs installés de pars et d'autres du filtre permettent de vérifier que le filtre joue son rôle grâce au calcul de différence entre les deux.
	Capteur de pression	Confirme l'information de pression arrivant aux buses	Une pression trop faible indique une fuite et le non-fonctionnement de la brumisation, à contrario, une pression trop importante indiquera le colmatage de l'une des buses.

### Affichage

Heure	Temperature Bac	EC Bac	PH Bac
12:10:03	19,69	3,34	7,72
Pression	Difference Débit	Niveau Bac	Niveau Bac Poubelle
6,57	1,00	80,00	Bac OK

Figure 17 Tableau de suivi des différents paramètres

Le tableau ci-dessus permet au technicien d'avoir un visuel sur les différents paramètres du système. Celui-ci est actualisé régulièrement et nécessite uniquement que le technicien se branche en USB au système avec le document Excel adéquat.



Action du technicien en fonction des différents paramètres :

#### La température :

Exprimée en °C, si celle-ci est hors tolérance, le technicien doit procéder au changement de la solution.

#### L'Electro conductivité :

Exprimé en mS/cm, si celle-ci est hors tolérance, le technicien doit procéder au changement de la solution ou à un rajout d'engrais.

#### Le potentiel hydrogène :

Si celui-ci est hors tolérance, le technicien doit ajouter des pastilles afin d'ajuster le pH.

#### La pression :

Exprimée en bar, si celle-ci est trop basse cela indique une fuite alors qu'une valeur trop haute indiquera le colmatage d'une ou plusieurs buses.

#### La différence de débit :

Exprimée en pourcentage, indique si le filtre est colmaté, nécessitant donc une opération de nettoyage ou de remplacement.

Figure 18 Circuit aéroponique

#### Le niveau bac :

Exprimé en pourcentage, indique au technicien la quantité de solution restante, et donc le niveau de remplissage du bac.

#### Le niveau bac poubelle :

Indique au technicien lorsque le bac de rejet de solution est plein, et qu'il est donc nécessaire de le vider.

## Partie « structure »

### *a. Dimensionnement des éléments mécaniques dans une chaîne de transmission*

Dans cette partie, nous allons nous pencher sur la structure et l'élément le plus crucial de notre système : la chaîne de transmission. Tout repose sur cette chaîne car sans elle, le projet ne pourrait pas fonctionner.

Pour dimensionner cette chaîne, nous avons utilisé les résultats obtenus dans les parties précédentes. Nous avons pris en compte le poids, le nombre de tours nécessaires pour le fonctionnement, ainsi que les différentes contraintes essentielles pour assurer le bon fonctionnement du système sur le long terme.

#### Chaîne de transmission :

Pour définir la chaîne de notre système, nous avons dans un premier temps identifié nos besoins. Voici un tableau regroupant l'ensemble de ces besoins :

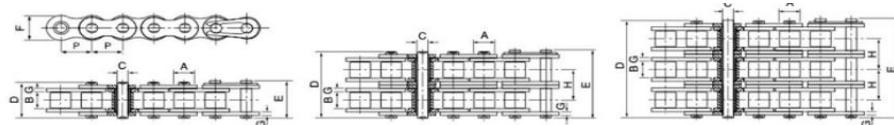
	Valeur
Charge déterminée (en kg)	35
> Poids des axes de maintiens (en kg)	3.012
> Poids des bacs de plantation (en kg)	28.974
> Marge de sécurité (en kg)	3
Vitesse de rotation (en tr/min)	Entre 1 et 20
Nombre de tours (en 24 h)	Entre 1440 et 28800

Tableau 12 Besoins

En ce qui concerne la vitesse de rotation, nous n'avons pas choisi une vitesse fixe car nous sommes en mesure d'ajuster la vitesse de rotation de notre moteur pour le système final. Par conséquent, nous avons opté pour une plage de valeurs.

Dans un deuxième temps, nous avons défini le pas de chaîne souhaité (la distance entre deux maillons consécutifs) et choisi le matériau en fonction de notre environnement.

Nous avons opté pour une chaîne en acier inoxydable avec les caractéristiques suivantes :



Code Chaîne ASA	Code Chaîne ISO	Pas	Diamètre Rouleaux	Largeur entre plaques intérieures		Diamètre axe	Longueur axe	Hauteur plaque intérieur	Epaisseur plaques	Pas transversal	Poids	
				P	A							
25-1SS	06B-1SS	6.350	3.30	3.18	2.31	7.90	8.40	6.00	0.80	-	0.15	
35-1SS		9.525	5.08	4.77	3.58	12.40	13.17	9.00	1.30	-	0.33	
40-1SS		12.700	7.95	7.85	3.96	16.60	17.80	12.00	1.50	-	0.63	
50-1SS		15.875	10.16	9.40	5.08	20.70	22.20	15.09	2.03	-	1.03	
60-1SS		19.050	11.91	12.57	5.94	25.90	27.70	18.00	2.42	-	1.51	
80-1SS		25.400	15.88	15.75	7.92	32.70	35.00	24.00	3.25	-	2.62	
		9.525	6.35	5.72	3.28	13.15	14.10	8.20	1.30	-	0.41	
		12.700	8.51	7.75	4.45	16.70	18.20	11.80	1.60	-	0.69	
		15.875	10.16	9.65	5.08	19.50	20.90	14.70	1.70	-	0.93	
		12B-1SS	19.050	12.07	11.68	5.72	22.50	24.20	16.00	1.85	-	1.15
		16B-1SS	25.400	15.88	17.02	8.28	36.10	37.40	21.00	4.15/3.1	-	2.71
		20B-1SS	31.750	19.05	19.56	10.19	41.30	45.00	16.40	4.5/3.5	-	3.73

Tableau 13 Dimension chaînes

Le choix de notre chaîne a été fait en groupe, mais aussi par l'intermédiaire de notre fournisseur, l'entreprise **SEFI**, située à Châteauroux. Pour notre prototype, nous avons une charge totale de 35 kg à soulever. En conséquence, nous pouvons calculer la force nécessaire en utilisant la formule :

$$F = m * g \quad \text{avec } F \text{ (Force) en N ; } m \text{ (masse) en kg et } g \text{ (accélération due à la gravité) en m/s}^2$$

#### Application numérique :

$$35 * 9,81 = 345,35 \text{ N}$$

Pour la dimension de la chaîne, nous avons choisi un coefficient de sécurité de 3 pour garantir une durabilité importante. En utilisant ce coefficient, nous obtenons une force de 1036,35 N. À partir de cette valeur, nous pouvons sélectionner notre chaîne en fonction des données de la figure suivante :

Désignation de la chaîne	RR* minimum	RR* maximum
06B-1SS	6200 N	6800 N
08B-1SS	12000 N	14300 N
10B-1SS	14500 N	17200 N
12B-1SS	20900 N	29000 N

*RR\* = Résistance à la Rupture.*

Tableau 14 Résistance rupture chaîne

Il est possible de prendre l'ensemble des chaînes citées dans la figure précédente, mais nous avons fait le choix de prendre la chaîne 12B-1SS. Voici les justifications :

- Robustesse et durabilité : La chaîne 12B-1SS est robuste et résistante, ce qui est important pour assurer le bon fonctionnement de notre système.
- Stock disponible : L'entreprise **SEFI** disposait encore d'un stock de chaîne de ce type. Nous avons donc saisi l'opportunité d'utiliser ce type de chaîne. Cette décision nous a permis de bénéficier d'une réduction de prix.
- Compatibilité avec les pignons : En choisissant la chaîne 12B-1SS, nous pouvons utiliser des pignons de taille normale, adaptés à la structure de notre système. Cela garantit une échelle convenable pour notre prototype.

Après avoir choisi notre chaîne, nous avons procédé à la vérification et au dimensionnement des pignons en fonction de celle-ci. De plus, nous avons apporté des modifications à certaines parties de notre système afin d'obtenir un assemblage aussi simple que possible. En procédant de cette manière, nous garantissons l'efficacité et la fiabilité de notre prototype.

Le choix des pignons a été basé sur le pas de la chaîne. Il est important de noter que le nombre de dents dans nos pignons n'a pas d'incidence car tous les pignons auront le même nombre de dents et les mêmes caractéristiques. Notre système est donc stable (avec un nombre pair de bac de plantation) ce qui nous permet de faire tourner notre système avec la force minimale nécessaire. En résumé, la vitesse de sortie de notre moteur sera équivalente à la vitesse de rotation des bacs de plantation.

Voici les caractéristiques de nos pignons :

Caractéristiques des pignons	PA1 12B018	
Nombres de dents	18	
Pas	19.05	
Type de denture	Simple	
Norme du pas	12B	
Cote E	11.1	mm
Cote B	80	mm
Cote C	16	mm
D <sub>p</sub> : Diamètre primitif	109.71	mm
Cote A	35	mm
D <sub>e</sub> : Diamètre extérieur	18	mm
Résistance Statique	68044.2	N
Résistance Dynamique	45362.8	N
		Approximatif

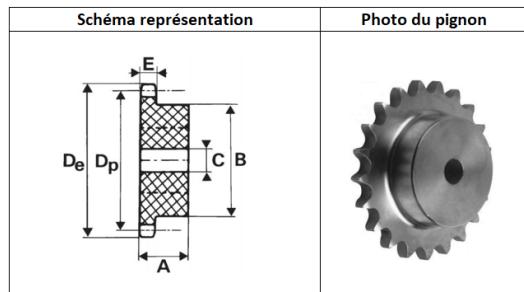


Tableau 15 Caractéristiques pignon

Enfin, nous avons travaillé sur l'entretien et la lubrification de la chaîne. Une lubrification adéquate est essentielle pour prolonger la durée de vie de la chaîne et maintenir son bon fonctionnement. Le choix final de lubrification reste théorique et ne sera considéré que pour le système final et pas pour le prototype. En effet, pour la courte période de fonctionnement prévue pour notre prototype, la lubrification ne sera pas nécessaire car la chaîne sera déjà lubrifiée.

#### b. *Maintiens de la chaîne de transmission :*

Comme nous venons de le dire, notre chaîne sera fixée sur quatre pignons (quatre de chaque côté de notre structure). Ces pignons seront reliés à la structure par l'intermédiaire d'un axe. Le dimensionnement de l'axe a été fait de la même manière que la partie précédente, c'est-à-dire par le calcul.

Nous avons le cas suivant :

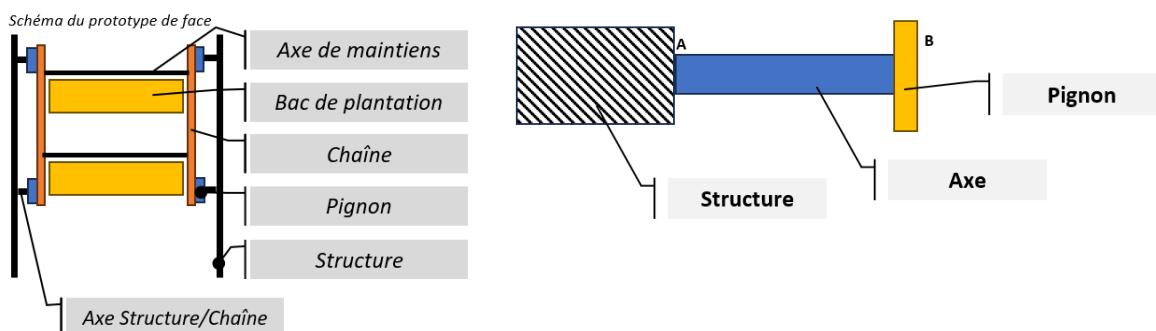


Figure 19 Maintien de la chaîne

Le schéma simplifié est le suivant :

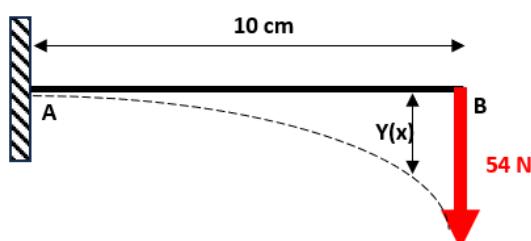


Figure 20 Représentation simplifiée

Pour déterminer la valeur de la force en B, nous devons examiner l'ensemble de la charge à supporter située entre les deux structures de notre projet. Ensuite, nous multiplions cette charge par l'accélération due à la gravité pour obtenir la force totale. De plus, étant donné que notre système est composé de quatre pignons, il suffit de diviser la force obtenue par le nombre de pignons (et donc d'axes Structure/Chaîne) pour obtenir la force sur un seul axe Structure/Chaîne.

#### Application Numérique :

Charge totale à supporter : 44 kg (*composé du poids des bacs, de la chaîne, des pignons...*)

Nombre de pignon : 8 (*sur le système*)

En conclusion, la force sur un axe Structure/Chaîne :

$$(44 * 9,81) = 431,64 \text{ N}$$

$$431,64 / 8 = 53,955 \text{ N} (\text{Force sur un seul axe Structure/Chaîne})$$

Après avoir examiné l'ensemble de la charge à supporter située entre les deux structures de notre projet, nous pouvons maintenant passer aux calculs pour déterminer la déformation de l'axe Structure/Chaîne. Pour simplifier la compréhension et éviter toute confusion avec l'axe de maintien du bac de plantation, nous désignerons cet axe comme « l'axe S/C) ce qui signifie l'axe Structure/Chaîne.

#### Voici la décomposition des calculs, nous avons le schéma suivant :

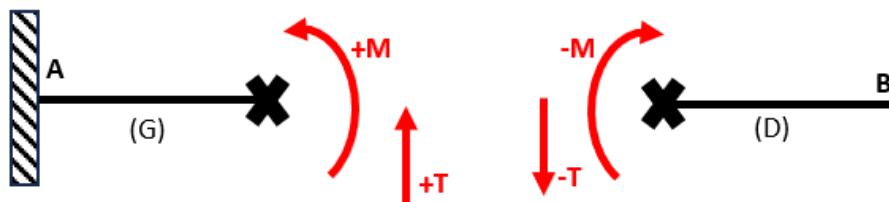


Figure 21 Schéma de principe

**Sur AB :** Sur la droite (D) nous avons :

$$\sum M/x = 0 \quad (\text{Va nous permettre de trouver le Moment Fléchissant})$$

$$\text{Donc : } -M + M_{P/x} = 0 \Leftrightarrow -M - P(L-x) = 0 \Leftrightarrow M = -P(L-x)$$

$$\sum F = 0 \quad (\text{Va nous permettre de trouver les Efforts Tranchants})$$

$$\text{Donc : } -T + (-P) = 0 \Leftrightarrow T = -P$$

**Nous obtenons les diagrammes suivants :**

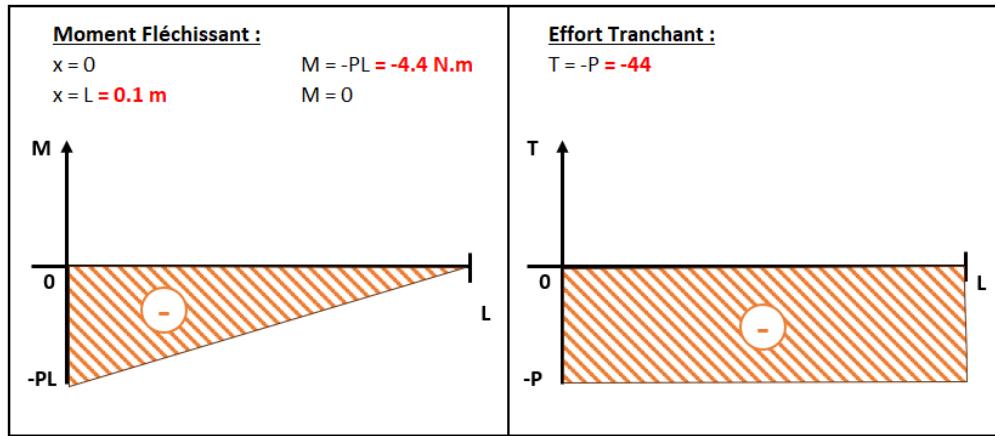


Figure 22 Diagrammes

**A partir de cela, nous pouvons calculer la déformée  $Y(x)$  :**

$$Y''(x) = \frac{M(x)}{EI} = \frac{-P(L-x)}{EI} = -\frac{1}{EI}(PL-Px)$$

$$Y'(x) = \int Y''(x)dx = \int -\frac{1}{EI}(PL-Px) dx = -\frac{1}{EI}\left[PLx - P\frac{x^2}{2}\right] + C_1$$

**Les conditions aux limites sont les suivantes :**

$$x = 0 \quad \phi = 0 \quad \text{donc } Y'(0) = 0$$

$$\text{Donc : } \Rightarrow C_1 = 0 \Rightarrow Y'(x) = (-1/EI)*(PL-P(x^2/2))$$

$$Y(x) = -\frac{1}{EI} \int \left(PLx - \frac{Px^2}{2}\right) dx = -\frac{1}{EI} \left[PL\frac{x^2}{2} - \frac{Px^3}{6}\right] + C_2$$

Donc conditions aux limites :  $x = 0; Y(0) = 0$  donc  $C_2 = 0$

$$\text{Par conséquent : } Y(x) = -\frac{1}{EI} \left[PL\frac{x^2}{2} - \frac{Px^3}{6}\right]$$

**Les valeurs particulières ( $x = 0$  et  $x = L$ ) :**

Pour  $x = 0$  nous avons  $Y(0) = 0$

$$\text{Pour } x = L \quad \text{nous avons } Y(L) = Y(L) = -\frac{1}{EI} \left[\frac{PL^3}{2} - \frac{PL^3}{6}\right] \Leftrightarrow Y(L) = -\frac{1}{EI} \frac{PL^3}{3}$$

Donc pour calculer la flèche maximale de déformation nous avons besoin des données suivantes :

$$IG_z = (\pi * (\text{Diamètre de l'axe}^4))/64 = (\pi * (20^4))/64 = 7853.981 \text{ mm}^4$$

Module de Young de l'acier : 210 Gpa soit 210000 Mpa

Poids à soulever (la charge) : 44 kg

Longueur de l'axe : 0.1 m

$$\text{Formule avec l'application numérique : } Y(L) = -\frac{1}{210000 * 7853.981} \frac{44 * 100^3}{3} = -0.00889 \text{ mm}$$

Donc, nous obtenons une déformation de -0,00889 mm. Afin de vérifier cette valeur, nous avons choisi de réaliser une simulation à l'aide du logiciel RDM7. Pour ce faire, nous avons saisi les données essentielles pour la simulation, notamment le type d'axe, la matière et la charge à soulever. Voici les résultats obtenus :



Figure 23 RDM7

Sur le logiciel RDM7, nous obtenons une déformation de  $-2,424 \times 10^{-5}$  m ce qui équivaut à -0,02424 mm.

Nos résultats obtenus par le calcul sont très proches de ceux issus de la simulation. Cependant, nous observons une légère différence entre les deux résultats. Cette différence est due aux arrondis utilisés dans nos calculs, ainsi qu'à la précision avancée sur certaines contraintes que nous n'avons pas prises en compte dans le calcul.

Après avoir terminé cette partie, nous avons abordé la mise en forme et le dimensionnement de la structure de notre système.

#### **Structure de la ferme agricole urbaine :**

L'ensemble de cette partie a été réalisé grâce à la conception 3D et à la simulation 3D, en utilisant les logiciels suivants :

- SolidWorks
- RDM7
- CatiaV5 (fourni par l'entreprise **COMBIOSOL**).

Ces outils ont été essentiels pour modéliser, simuler et optimiser notre système. Ils nous auront permis d'explorer différentes configurations et de garantir la robustesse et la fiabilité de notre prototype.

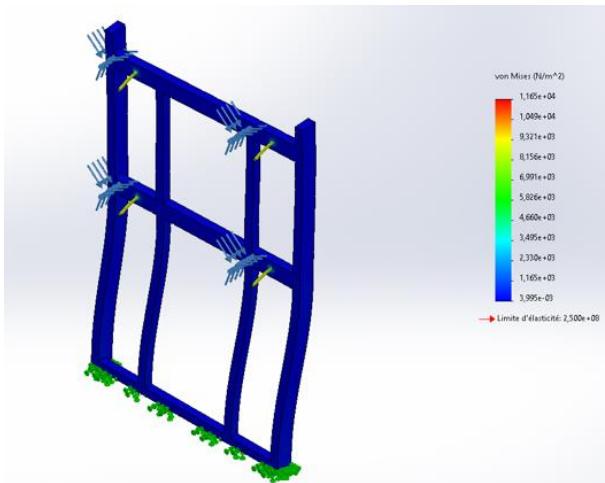


Figure 24 Charge supportable

Notre structure est donc capable de supporter la charge que l'on va appliquer tout en sachant que dans cette simulation, nous avons ajoutés 20 N de plus pour avoir une marge correcte.

### c. Sécurité et protection de l'utilisateur

Dans tout projet, il est essentiel de prendre en compte la sécurité de l'utilisateur ainsi que celle des personnes se trouvant à proximité. Dans notre cas, nous avons donc fait le choix de considérer tous les scénarios possibles et de rendre notre structure, et donc notre prototype fiable et sécurisé.

#### Renforts structurels :

Pour atteindre cet objectif, nous avons renforcé la structure en incorporant des barres de renfort qui relient les deux parties externes de la structure. De plus, nous avons ajouté des renforts croisés.

Ces renforts permettent de réduire le balancement ou le tangage potentiel de la structure. Bien qu'ils puissent sembler peu utiles à première vue, ils sont essentiels. En effet, dans le scénario où notre structure serait en déplacement, elle pourrait bouger. De même, si quelqu'un s'appuie sur la structure, nous devons éviter tout risque. En cas d'exposition en extérieur, par exemple lors de vents forts ou d'autres facteurs externes, un léger balancement pourrait se produire. Par conséquent, nous prenons toutes les précautions nécessaires en ajoutant ces renforts.

#### Sécurité de la chaîne :

En ce qui concerne la chaîne, nous avons limité les accès aux parties susceptibles de bloquer des parties de notre corps (doigts, cheveux...). Pour ce faire, nous avons installé des plaques autour de la chaîne dans les zones accessibles à l'humain. De plus, nous avons affiché des pictogrammes pour avertir des potentiels dangers de pincement.

#### Partie électrique :

Nous avons suivi le même processus pour la partie électrique. Nous avons ajouté des pictogrammes et rédigé une notice d'utilisation afin de guider l'utilisateur dans le câblage et l'utilisation des différents outils présents sur le prototype.

De plus, notre prototype est équipé d'un bouton d'arrêt d'urgence qui nous permet de stopper son fonctionnement en cas de problème.

#### Pictogrammes :



Figure 25 Pictogrammes

## FABRICATION

Pour la fabrication de notre structure, nous avons donc utilisé des tubes de 80X40mm pour l'encadrement et de 40X40mm, le tout avec une épaisseur de 2mm. Ces tubes sont pour les parties secondaires, les renforts et la liaison des deux parties (cela permet de démonter l'ensemble afin de faciliter le transport). Nous avons dans un premier temps procédé au débit de ces tubes aux bonnes dimensions conformément aux plans préalablement établis.



Figure 26 Débit de matières premières aux bonnes dimensions

Ensuite, nous avons positionné sur établi les éléments que nous avons dans un premier temps pointé puis soudé, de façon pérenne, une fois s'être assuré du parfait alignement des différentes parties. Le soudage s'est fait avec la technologie <sup>1</sup>MIG.



Figure 28 Soudage des éléments de la structure



Figure 27 Les deux parties qui composent la structure

Nous avons ensuite percé la structure afin de positionner les axes des pignons et les platines de maintien de ces mêmes axes. Nous avons utilisé une perceuse à colonne dotée d'un grand plateau.



Figure 29 Perçage des cadres

<sup>1</sup> MIG : Metal Inert Gaz

Une fois les deux parties assemblées, nous avons procédé à la partie usinage des pignons et des axes. Les pignons que nous nous sommes procurés avaient un diamètre intérieur de 16mm que nous avons dû ajuster à nos roulements qui faisaient 42mm de diamètre extérieur. Nous avons utilisé un tour à métaux pour réaliser ces opérations. Afin de répartir les efforts, nous avons mis en place deux roulements par pignon à la presse hydraulique. Les roulements se sont placés sur les axes de 20mm, afin de les brider mécaniquement. Nous avons mis en place des gorges à circlips sur tous les axes côté pignon et roulement. Enfin, pour avoir une parfaite horizontalité des pignons et pour répartir les efforts sur la structure nous avons mis en place des platines découpées au laser (avec un alésage de 20mm) de chaque côté du cadre, les axes ont ensuite été soudés dedans.



Figure 32 Tournage des axes



Figure 31 Mise en place des pignons



Figure 30 Positionnement des pignons sur la structure dans les platines

Comme dans tous les projets, nous avons eu des ajustements à réaliser au cours des travaux sur la structure, avec notamment l'ajout d'un tendeur de chaîne. Ce tendeur a pour but d'ajuster la tension, enfin, nous avons également ajouté un arbre de transmission afin qu'il y ait un entraînement simultané des deux chaînes.



Figure 34 Mise en place du tendeur de chaîne



Figure 33 Arbre de transmission reliant les deux parties de la structure

Une fois ce travail réalisé nous avons obtenu une structure équilibrée nous permettant de poursuivre le montage et la mise en place de notre solution sur la structure.



Figure 35 Structure assemblée

Type de matériel	Marque / Modèle
Découpeuse Laser	TRUMPF TruLaser 3030
Tour à métaux	Vernier TV 280
Poste à souder MIG	Miller Migblu 420
Perceuse à colonne	GSP 644 S 25

Tableau 16 Outils spécifiques utilisés

## BUDGET

Ce projet et la conception de son prototype ont nécessité de faire l'acquisition de divers matériels que nous avons scindé en quatre grandes catégories qui sont :

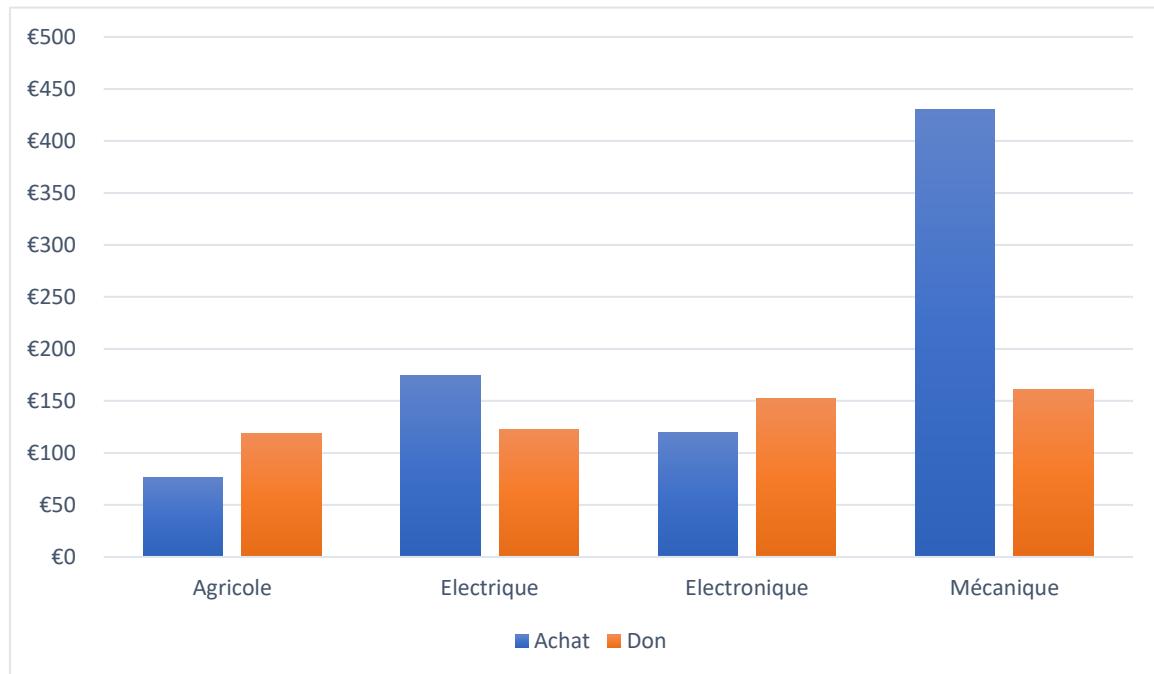


Figure 36 Catégories d'acquisition

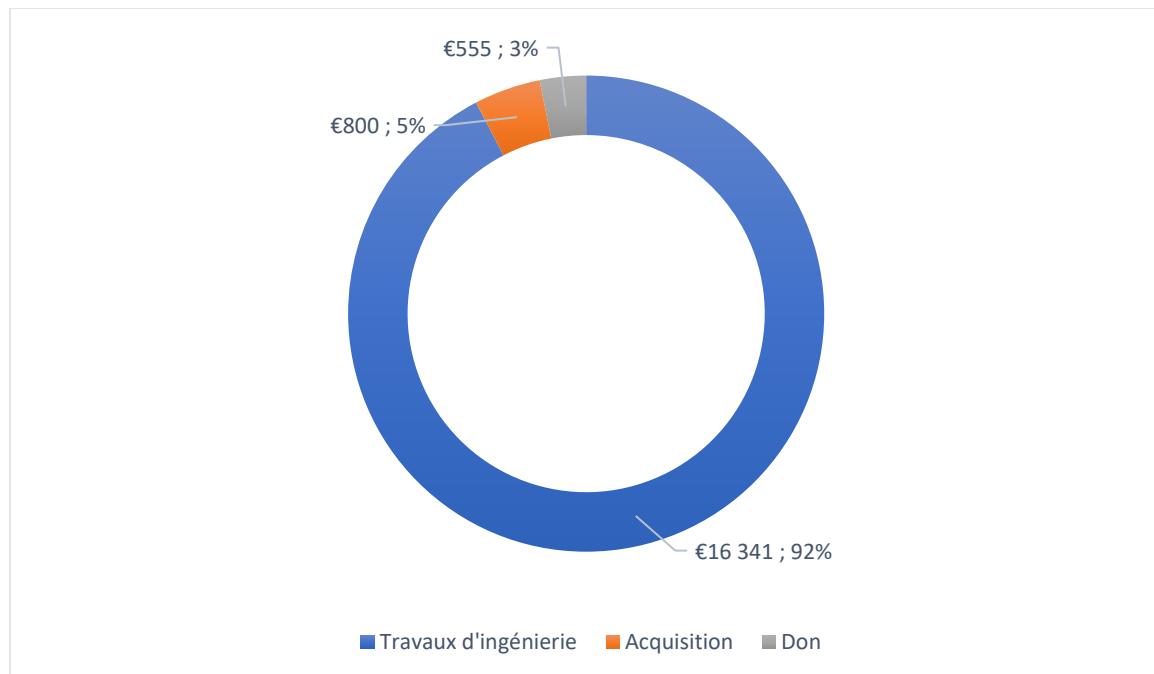


Figure 37 Répartition budget projet

Ainsi, au travers de ce dernier graphique, nous pouvons constater que le projet et son prototype ont eu un coût de 17696€ au total, en prenant en compte que le revenu moyen d'un ingénieur débutant est de 16,54€ et le nombre d'heure d'ingénierie de 988 heures cumulées.

## CONCLUSION

À l'origine notre problématique était basée exclusivement sur la rotonde du Palais Rameau, lieu où sera conservé notre prototype et où pourrait voir la création de notre système final. Afin de pouvoir s'adapter à un lieu que nous ne connaissions pas tout en réalisant nos essais et notre prototypage dans un lieu situé à pratiquement 500 km, nous avons fait le choix de nous orienter sur un système capable de s'adapter à son environnement plutôt que de le cloisonner aux seules dimensions du palais Rameau.

L'intégralité des données du système ainsi que du prototype ont été vérifiées par nos calculs, mais également corroborées par des logiciels de CFAO. Cependant, sans données d'entrées complètes et fiables, notamment sur la dalle de la rotonde, nous ne sommes pas en mesure de confirmer que notre objectif premier est atteint.

Les profils de cette équipe nous ont permis de rapidement identifier que notre solution serait basée sur une mécanique solide, capable de supporter nos idées sur l'automatisation d'un processus tel que l'aéroponie et notre volonté d'en faire un principe innovant. Cependant, nous avons donc laissé de côté d'autres solutions agricoles comme les films NFT, ou des principes d'architectures pouvant épouser au mieux la rotonde, comme ceux basés sur les travaux de M. Frank GEHRY, architecte du célèbre musée Guggenheim.

Pour rendre notre produit plus efficient, nous souhaiterions revoir le système d'accroche des axes sur la chaîne par un procédé mécanique plus épuré et efficace. Le remplacement des capteurs du commerce de gros par ceux du commerce professionnel permettrait également d'affiner les résultats et de réduire les marges d'erreurs pouvant exister, enfin remplacer les jardinières par un bac sur-mesure parfaitement étanche permettrait de gagner en performance agricole.

Ce projet aura été pour l'ensemble de l'équipe LCTX-Aéroferme une opportunité de développer un produit conforme aux exigences, de développer son sens relationnel et résulte de concessions et de mise en commun d'idées pour avancer ensemble.

## RETOUR D'EXPÉRIENCES

### Angel BABOUHOT

Le projet le plus crucial de mes études a été ce POC (Proof Of Concept) et s'est révélé extrêmement concluant. J'avais peu de connaissances sur le domaine de l'agriculture, mais la question m'a rapidement captivé. La diversité des profils et des compétences au sein du groupe a permis au projet de progresser de manière efficace. J'ai été extrêmement enrichi par cette expérience, que ce soit sur le plan personnel grâce aux connaissances que j'ai acquises dans le domaine agricole ou sur le plan professionnel en participant à un projet aussi important. Ce dernier m'a montré l'importance d'une équipe composée de personnes spécialisées dans différents domaines.

Pour finir ce projet m'a permis d'améliorer grandement mes compétences en électronique, électricité et programmation. J'ai aussi pu prendre une posture de membre polyvalent en aidant sur la plupart des parties de notre projet (mécanique, motorisation, fabrication, ...).

Je remercie tout particulièrement mes camarades de projet pour cette formidable expérience de collaboration autour d'un projet de cette taille.

### Alexandre CORRE

Le projet POC (Proof Of Concept) a été l'un des projets les plus importants réalisés au cours de ma scolarité. Cette expérience s'est avérée très enrichissante et les résultats obtenus sont extrêmement concluants. Dans le cadre de ce projet, j'ai travaillé sur la partie « bac de plantation » ainsi que sur les aspects liés aux rapports, à la soutenance et au Showroom.

J'ai également eu l'occasion de découvrir de nouvelles spécialités et d'explorer de nouveaux aspects. Par exemple, j'ai compris l'importance du choix de la solution nutritive pour garantir les meilleures conditions possibles de croissance pour nos plantes.

Pour finir, ce projet a profondément modifié ma vision de l'agriculture. Désormais, je suis convaincu qu'il est possible de cultiver davantage tout en utilisant moins d'espace et de temps. Cette approche pourrait grandement améliorer la vie des agriculteurs et contribuer à résoudre la crise actuelle.

## Domitille FAIDEAU

Ce projet de groupe sur la ferme agricole urbaine a été une expérience enrichissante tant sur le plan personnel que professionnel.

Sur le plan personnel j'ai eu la chance de découvrir l'importance de l'agriculture urbaine dans la promotion de modes de vie durables. Individuellement, j'ai pu travailler sur plusieurs aspects du projet tels que : la solution nutritive, les bacs, le système d'arrosage, le rapport, la soutenance et le showroom. Collectivement, travailler ensemble sur ce projet nous a permis de développer nos compétences en communication, en collaboration et en résolution de problèmes, renforçant ainsi nos liens en tant qu'équipe.

Sur le plan professionnel, ce projet m'a offert l'opportunité d'explorer les défis et les opportunités liés à la création et à la gestion d'une ferme urbaine. J'ai développé une compréhension plus approfondie des enjeux de durabilité auxquels notre société est confrontée, et je suis fière d'avoir pu contribuer à l'élaboration d'une solution innovante.

En somme, ce projet m'a permis de grandir en tant qu'individu. Je suis reconnaissante pour cette expérience unique et suis impatiente de voir comment notre ferme agricole urbaine pourrait prospérer et inspirer d'autres initiatives similaires dans le futur.

## Gabriel SANCHEZ DE LEON

Ce POC (Proof Of Concept) a été le projet le plus important de mes études et s'est avéré très concluant. Le domaine de l'agriculture m'était assez peu connu mais la problématique m'a très rapidement intéressé.

Le projet a pu avancer efficacement grâce à la diversité des profils et des compétences au sein du groupe. Ce fut une expérience très enrichissante tant sur le plan personnel avec les connaissances du secteur agricole que j'ai pu acquérir que sur le plan professionnel en participant à un projet aussi important, ce dernier m'ayant démontré l'importance d'une équipe composée de personnes spécialisées dans plusieurs domaines.

Pour conclure ce projet m'a apporté des connaissances sur un secteur d'activité que je ne maîtrisais pas et m'a permis de développer certaines compétences, notamment en programmation. Voir le projet progresser, des premières idées jusqu'à la concrétisation de la solution a été pour moi très intéressant car je n'avais jusqu'ici jamais participé à un projet dont la progression a été si efficace.

### Lancelot SIOC'HAN de KERSABIEC

Ce projet colossal programmé sur l'ensemble de notre 4<sup>ème</sup> année de cycle d'ingénieur a été pour moi un véritable défi. Tout d'abord, il m'a fallu acquérir les compétences nécessaires pour pouvoir travailler sur cette problématique relative à l'agriculture, domaine où j'étais néophyte. Étant donné sa singularité technologique, les recherches ont été longues et parfois peu fructueuses, nécessitant l'appui de référent, que nous avons réussi à trouver, nous permettant d'une part de maintenir ce projet sur de bons rails, mais également d'étoffer nos connaissances et notre réseau professionnel.

L'une des complications auxquelles j'ai été confronté a donc été mon manque de connaissances et de compétences afin de pouvoir soutenir mes collègues au mieux sur ce projet. Cette lacune, m'empêchant d'être efficace sur des thématiques comme la structure ou bien encore la programmation et l'automatisation, m'a fait réaliser l'importance du travail en équipe. En effet, sans les compétences de mes collègues ce projet n'aurait jamais abouti, mon apport, moindre, étant concentré sur les aspects agricoles et le maintien d'une équipe unie aura été plus discret que sur d'autres projets dont j'ai pu faire partie.

Je peux donc affirmer que ce projet m'a permis d'acquérir de nouvelles connaissances et un autre regard sur le travail en équipe.

### Thibaut THERY

Dans le cadre du projet POC, nous sommes partis d'une problématique sur l'optimisation d'une ferme agricole urbaine à partir d'une surface donnée. Mes connaissances du domaine agricole étaient faibles et ce projet m'a permis d'aller au-delà de la culture conventionnelle, de découvrir des méthodes modernes permettant les cultures en ville, qui représentent un réel défi pour l'avenir.

Au-delà de l'application agricole, nous avons eu la chance dans l'élaboration de notre solution et notre prototype d'être un groupe ayant des compétences dans des domaines différents. Nous avons avancé fluidement et en symbiose grâce à la pluralité des profils du groupe.

L'étude et le prototypage de notre système ont été une occasion unique de mettre en application les connaissances et les compétences acquises au cours des différentes disciplines que nous avons eues. La force de notre groupe et plus globalement de notre école est la diversité des origines scolaires des étudiants donnant lieu à un vivier de compétences et de savoir.

Je me suis concentré sur la partie étude de conception et de fabrication de la structure avec un de mes collègues.

## BIBLIOGRAPHIE

(s.d.). Récupéré sur

<https://bouesseineaval.siaap.fr/?p=46#:~:text=Le%20phosphore%20est%20un%C2%A0%C3%A9ment,%C3%A0%20celle%20de%20l'azote.>

Fertilisation-edu. (s.d.). Récupéré sur [https://fertilisation-edu.fr/nutrition-des-plantes/le-role-des-elements.html#:~:text=Le%20r%C3%B4le%20du%20calcium%20dans%20les%20plantes&text=participer%C2%A0la%20constitution%20des,synergie%20avec%20les%20autres%20%C3%A9ment](https://fertilisation-edu.fr/nutrition-des-plantes/le-role-des-elements-nutritifs/autres-elements.html#:~:text=Le%20r%C3%B4le%20du%20calcium%20dans%20les%20plantes&text=participer%C2%A0la%20constitution%20des,synergie%20avec%20les%20autres%20%C3%A9ment)

herbe, C. e. (s.d.). Récupéré sur <https://cultivateur-en-herbe.com/regulation-ph-et-ec/>

Phorticuture. (s.d.). Récupéré sur <https://www.phtorticuture.com/fr/zone-du-savoir/le-role-du-magnesium-en-horticuture/>

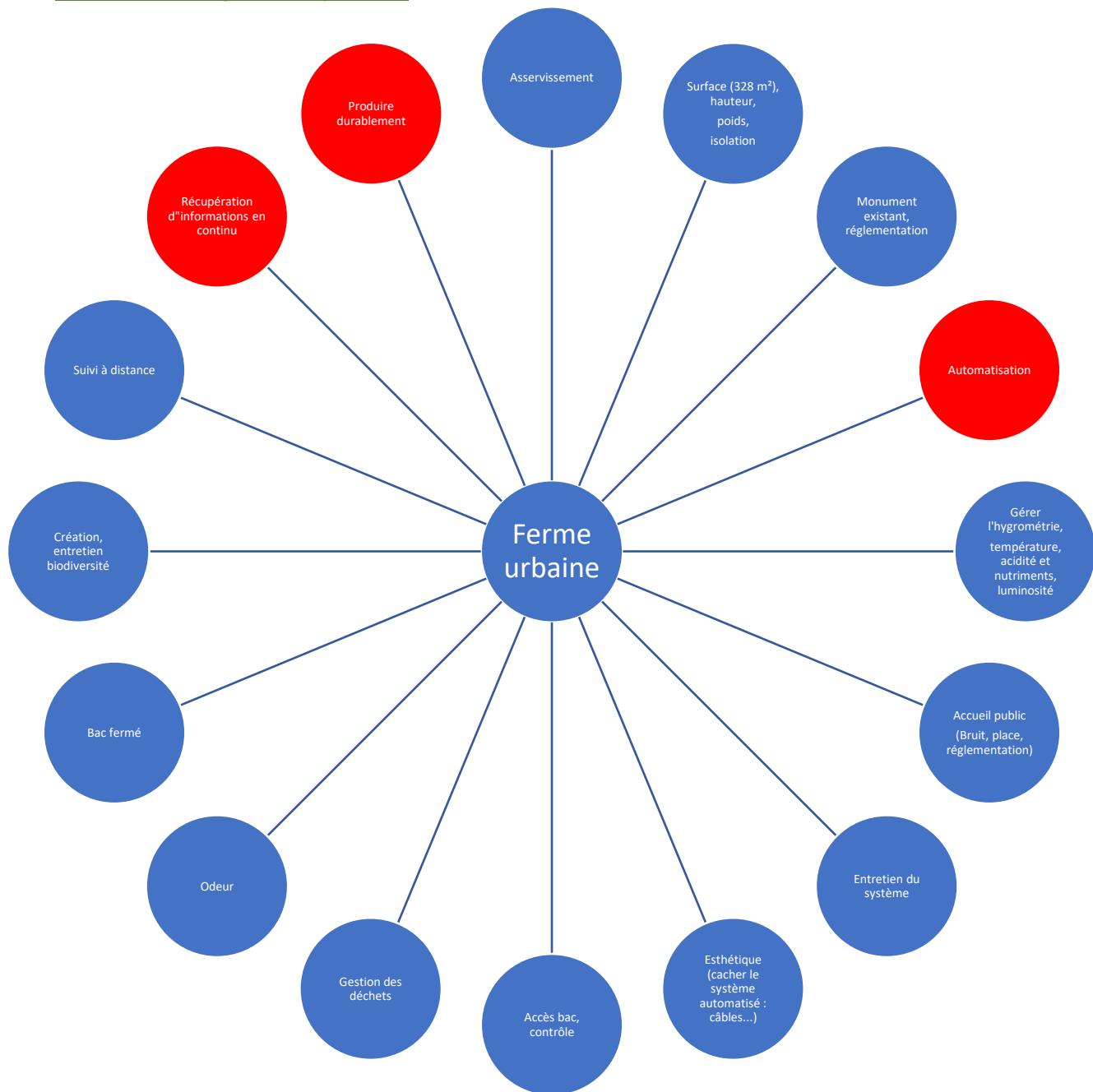
SNP. (s.d.). Récupéré sur <https://www.busesdepulverisation.fr/ressources/documentation-technique/couverture-du-jet>

Teruti, A. -E. (2021). Récupéré sur [https://cdn5.regie-agricole.com/ulf/data/DelphineJ/Dossiers2021-3\\_TERUTI-1.PDF](https://cdn5.regie-agricole.com/ulf/data/DelphineJ/Dossiers2021-3_TERUTI-1.PDF)

YARA. (s.d.). Récupéré sur <https://www.yara.fr/fertilisation/solutions-pour-cultures/colza/role-potassium-production-colza/#:~:text=Le%20potassium%20contribute%C2%A0%C3%A0%20renforcer,la%20croissance%20de%20la%20culture>

## ANNEXES

### Annexe 1 : Diagramme pieuvre



### Annexe 2 : Acronyme

EC	Electro-Conductivité
mS/cm	microSiemens/centimètre
NFT	Nutrient Film Technique
pH	Potentiel Hydrogène
POC	Proof Of Concept

### Annexe 3 : Analyse de l'eau à Lille



<b>DEMANDEUR :</b>	
ISA LILLE-YNCREA HAUTS DE FRANCE	
2 RUE NORBERT SEGARD	
59000 LILLE	
Technicien :	
<b>ORGANISME :</b>	
ISALILLE-YNCREA HAUTS DE FRANCE	
2 RUE NORBERT SEGARD	
59014 LILLE CEDEX	

<b>N° LABORATOIRE</b>	12331253
-----------------------	----------

Prélèvement	Dates Arrivée	Expédition
15/05/2019	16/05/2019	23/05/2019

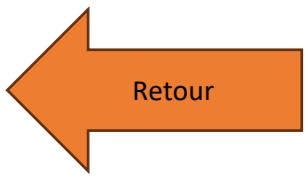
<b>RÉFÉRENCE ÉCHANTILLON</b>	EAU DE VILLE FIVES
<b>TYPE D' ÉCHANTILLON</b>	Eau irrigation
<b>CULTURE</b>	
	<b>SENSIBILITÉ À L'ACIDITÉ</b>
	<b>RÉSISTANCE À LA SALINITÉ</b>

### ANALYSE DE SOLUTION NUTRITIVE / EAU D'IRRIGATION

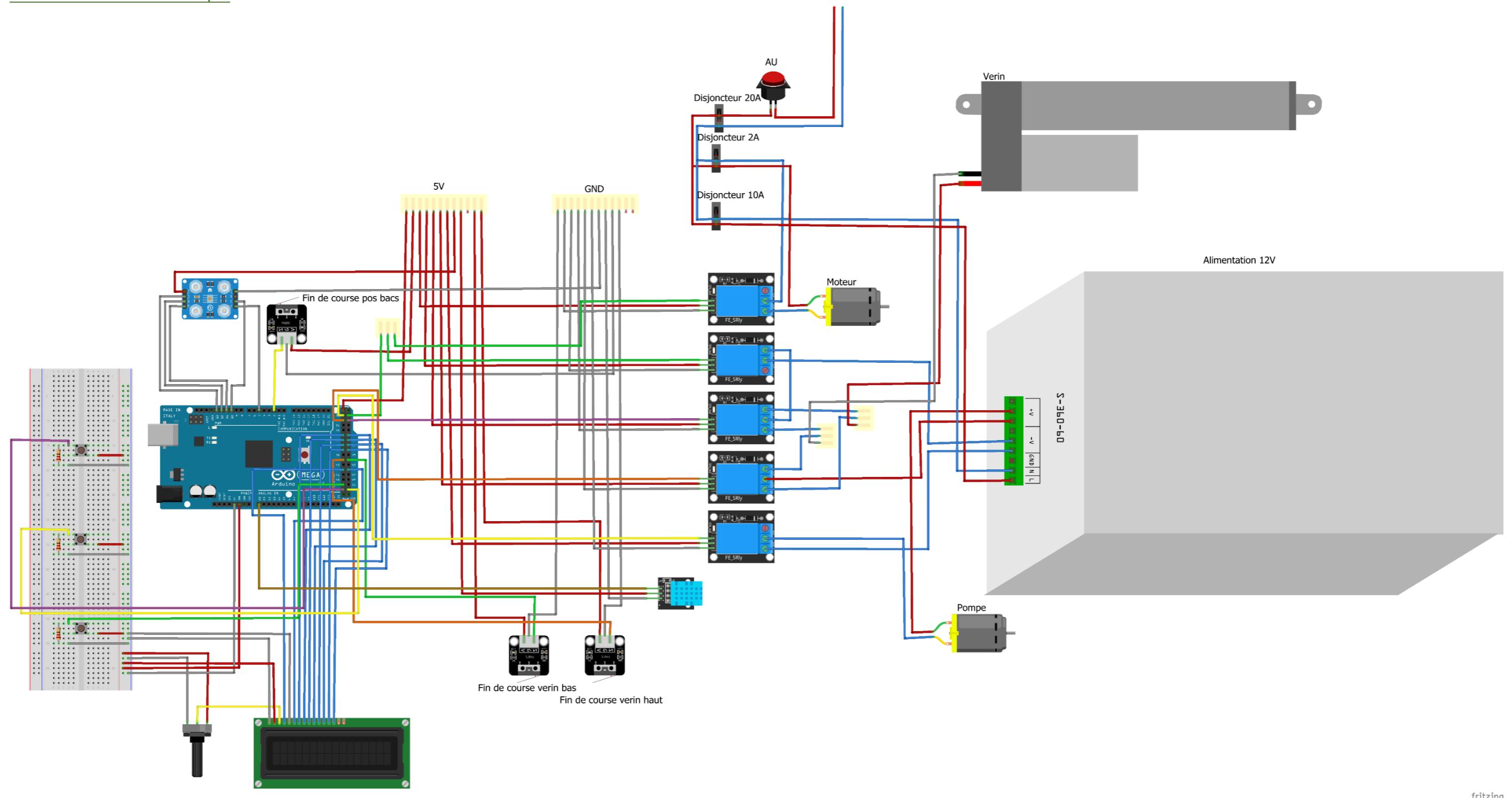
<b>Déterminations</b>		<b>Symbol</b>	<b>Résultats</b>		Très faible	Faible	Un peu faible	Satisfaisant	Un peu élevé	Elevé	Très élevé
pH eau				7.78							
Conductivité à 20°	mS/cm			0.69							
Conductivité à 25°	mS/cm			0.77							
<b>Anions</b>			<b>mg/l</b>	<b>meq/l</b>	Très faible	Faible	Un peu faible	Satisfaisant	Un peu élevé	Elevé	Très élevé
Azote nitrique	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		5.22	0.37							
Phosphate	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		< 3.13	< 0.03							
Sulfates	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		34.01	0.71							
Chlorures	Cl <sup>-</sup>		44.52	1.25							
Carbonates	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>		< 0.01	< 0.01							
Bicarbonates	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		333.16	5.46							
<b>Cations</b>			<b>mg/l</b>	<b>meq/l</b>	Très faible	Faible	Un peu faible	Satisfaisant	Un peu élevé	Elevé	Très élevé
Azote ammoniacal	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		0.06	< 0.01							
Potassium	K <sup>+</sup>		3.60	0.09							
Magnésium	Mg <sup>2+</sup>		5.59	0.46							
Calcium	Ca <sup>2+</sup>		113.20	5.66							
Sodium	Na <sup>+</sup>		16.35	0.71							
<b>Oligo-éléments</b>			<b>mg/l</b>		Très faible	Faible	Un peu faible	Satisfaisant	Un peu élevé	Elevé	Très élevé
Cuivre	Cu		< 0.05								
Zinc	Zn		0.11								
Manganèse	Mn		< 0.05								
Bore	B		< 0.10								
Fer	Fe		0.27								
<b>Abaissement du pH</b>			<b>ml d'acide nitrique 30° Bte d'eau</b>		100	200	300	400	500	600	700
pH 6,0			269.86								
pH 5,8			303.28								
pH 5,5			333.99								

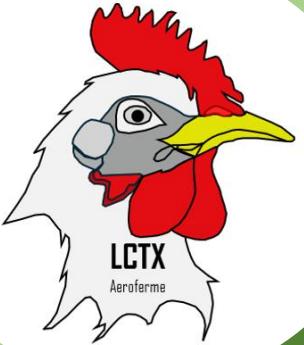
#### Commentaires

Eau très dure, induisant de fortes hausses de pH sur substrat. Des risques de dépôt de carbonates sur feuillage existent. Une acidification conjuguant plusieurs acides est à envisager. La charge en sulfates contre-indique l'utilisation de cette eau sur plantes acidophiles, broméliacées et fougères. La teneur en chlore contre-indique l'utilisation de cette eau sur plantes sensibles au chlore. La teneur en sodium contre-indique l'utilisation de cette eau sur plantes sensibles au sodium. La teneur en Bicarbonates et Calcium doit être prise en compte lors de l'élaboration d'une solution nutritive. Des signes de pollution minérale ou organique existent : à surveiller.



#### Annexe 4 : Schéma électrique





jUNiA HEI

# Abaque plantes aromatiques Aéroponie

LCTX Aéroferme



Angel BABOUHOT, Alexandre CORRÉ, Domitille FAIDEAU, Gabriel SANCHEZ DE LEON,  
Lancelot SIOC'HAN de KERSABIEC & Thibaut THERY



# Sommaire



Basilic



Aneth



Romarin



Thym



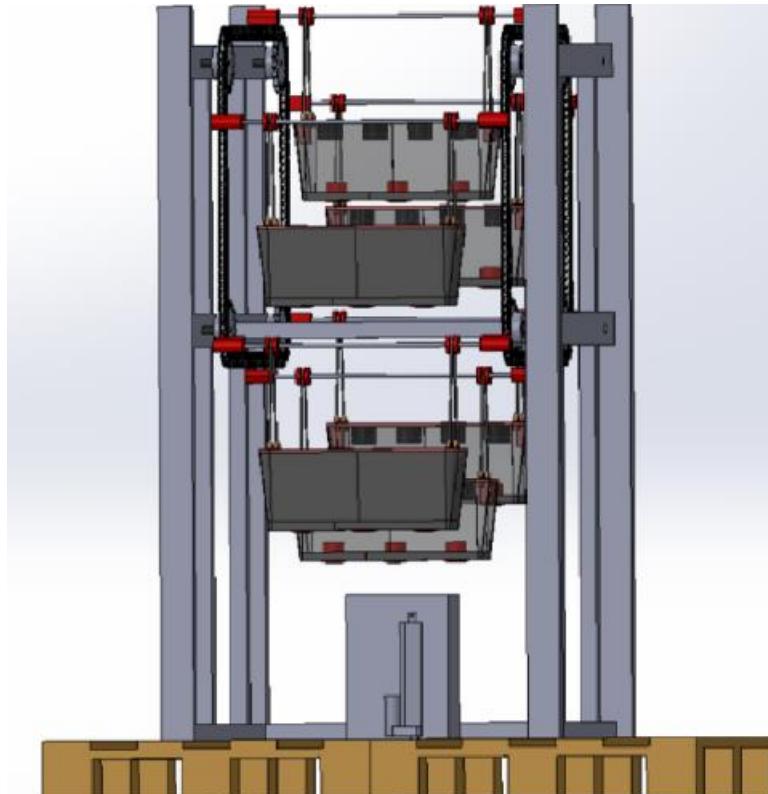
Menthe poivrée



Origan



Sauge noire



**1**

# Basilic

**1****Besoins en NPK :**

N : 150 à 250 mg/L  
P : 30 à 70 mg/L  
K : 200 à 300 mg/L

**2****A solubiliser dans 47,25 L :**

N : 7 087.5 – 11 812.5 mg  
P : 1 417.5 – 3 307.5 mg  
K : 9 450 – 14 175 mg

**3****Paramètres de surveillance :**

Température : Supérieure à 18 °C (sensible au froid)

EC : 1,1 – 1,7

Hygrométrie : 40-70%

Temps de croissance en aéroponie : À semer après les dernières gelées, vers fin avril ou début mai. Les premières feuilles de basilic peuvent souvent être récoltées dès 3 à 4 semaines, avec une maturité complète en environ 6 à 8 semaines.





1

# Retour d'expérience - culture basilic - aéroponie

---

---

---

---





# Aneth



1

## Besoins en NPK :

N : 150 à 250 mg/L  
P : 30 à 70 mg/L  
K : 200 à 300 mg/L

2

## A solubiliser dans 47,25 L :

N : 7 087.5 – 11 812.5 mg  
P : 1 417.5 – 3 307.5 mg  
K : 9 450 – 14 175 mg

3

## Paramètres de surveillance :

Température : - 5 à 20 °C

EC : 1,1 – 1,7

Hygrométrie : 50-70%

Temps de croissance en aéroponie : Le semer au début du printemps, dès que les risques de gel sont écartés, généralement à partir d'avril. L'aneth peut commencer à être récolté environ 6 à 8 semaines après la germination. Il atteint sa maturité complète en 10 à 12 semaines.





# Retour d'expérience - culture aneth - aéroponie



# Romarin



1

**Besoins en NPK :**  
N : 150 à 250 mg/L  
P : 30 à 70 mg/L  
K : 200 à 300 mg/L

2

**A solubiliser dans 47,25 L :**  
N : 7 087.5 – 11 812.5 mg  
P : 1 417.5 – 3 307.5 mg  
K : 9 450 – 14 175 mg

3

**Paramètres de surveillance :**

Température : - 12 à 20 °C

EC : 1,1 – 1,7

Hygrométrie : 30-50%

Temps de croissance en aéroponie : Semer en avril, en s'assurant que les températures nocturnes ne descendent pas trop bas. Le romarin prend un peu plus de temps pour s'établir, généralement environ 12 à 14 semaines avant la première récolte.





# Retour d'expérience - culture romarin - aéroponie



# Thym



1

## Besoins en NPK :

N : 150 à 250 mg/L  
P : 30 à 70 mg/L  
K : 200 à 300 mg/L

2

## A solubiliser dans 47,25 L :

N : 7 087.5 – 11 812.5 mg  
P : 1 417.5 – 3 307.5 mg  
K : 9 450 – 14 175 mg

3

## Paramètres de surveillance :

Température : - 15 à 20 °C

EC : 1,1 – 1,7

Hygrométrie : 30-50%

Temps de croissance en aéroponie : Comme le romarin, il peut être semé en avril, en veillant à éviter les gelées nocturnes. Le thym atteint une taille récoltable en environ 8 à 10 semaines.





# Retour d'expérience - culture thym - aéroponie



## 5

# Menthe poivrée



1

**Besoins en NPK :**

N : 150 à 250 mg/L  
P : 30 à 70 mg/L  
K : 200 à 300 mg/L

2

**A solubiliser dans 47,25 L :**

N : 7 087.5 – 11 812.5 mg  
P : 1 417.5 – 3 307.5 mg  
K : 9 450 – 14 175 mg

3

**Paramètres de surveillance :**

Température : 0 à 32 °C

EC : 1,1 – 1,7

Hygrométrie : 40-70%

Temps de croissance en aéroponie : Elle peut être semée un peu plus tôt, dès la mi-avril, car elle est assez résistante. La menthe poivrée atteint généralement une taille récoltable en 8 à 10 semaines.





5

# Retour d'expérience - culture menthe poivrée - aéroponie

---

---

---

---





# 6 Origan



1

## Besoins en NPK :

N : 150 à 250 mg/L  
P : 30 à 70 mg/L  
K : 200 à 300 mg/L

2

## A solubiliser dans 47,25 L :

N : 7 087.5 – 11 812.5 mg  
P : 1 417.5 – 3 307.5 mg  
K : 9 450 – 14 175 mg

3

## Paramètres de surveillance :

Température : - 15 à 20 °C

EC : 1,1 – 1,7

Hygrométrie : 40-60%

Temps de croissance en aéroponie : Peut également être semé à partir de mi-avril. L'origan prend environ 6 à 8 semaines pour atteindre une taille où il peut être récolté.





# 6 Retour d'expérience - culture origan - aéroponie





# Sauge noire



1

**Besoins en NPK :**

N : 150 à 250 mg/L  
P : 30 à 70 mg/L  
K : 200 à 300 mg/L

2

**A solubiliser dans 47,25 L :**

N : 7 087.5 – 11 812.5 mg  
P : 1 417.5 – 3 307.5 mg  
K : 9 450 – 14 175 mg

3

**Paramètres de surveillance :**

Température : - 12 à 20 °C

EC : 1,1 – 1,7

Hygrométrie : 30-50%

Temps de croissance en aéroponie : Semer au début du printemps, autour d'avril, lorsque le risque de gelées nocturnes diminue. La sauge peut prendre environ 10 à 12 semaines pour être prête à récolter.





# Retour d'expérience - culture sauge noire - aéroponie

