



The 1st International Conference on Local Resource Exploitation

www.lorexp.org / info@lorexp.org
REF: LOREXP_2021_A1186 Pages: 899-913



Conception d'un système d'irrigation automatique propice pour une culture de contre saison *Design of an automatic irrigation system suitable for off-season cultivation*

Jean Bosco Samon^{1,*}, Amawissa Bouba Pierrette² and Boukar Ousman²

¹ Laboratoire de Mécanique Matériaux et Photonique, Université de Ngaoundéré, ENSAI, P.O. Box 455 Ngaoundéré-Cameroon

² Laboratoire Energie Signal Images et Automatique, Université de Ngaoundéré, ENSAI, P.O. Box 455 Ngaoundéré-Cameroon

* Corresponding Author: jboscocosamon@gmail.com

RÉSUMÉ :

Pendant les cultures de contre saison, la tâche d'arrosage est coûteuse en temps, voire pénible pour l'agriculteur. Nous observons souvent dans les plantations une destruction des plantes due à un excès d'eau ou au manque d'eau. Savoir quand et comment arroser est une clé pour le succès de l'agriculture en contre saison. Cet article propose la conception d'un système d'irrigation automatique afin de permettre une bonne répartition d'arrosage et une consommation d'eau réduite. Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode d'analyse fonctionnelle afin de concevoir ce système tout en respectant les exigences et les spécifications d'un modèle de cahier de charges. Ainsi nous nous sommes penchés vers les cultures maraichères telles que la tomate et nous sommes partis de son besoin en eau afin de mettre sur pied un système d'irrigation le mieux adapté : goutte à goutte ; Il est basé sur la commande de l'arrosage à base d'un microcontrôleur capable de commander deux électrovannes et d'interpréter les signaux des capteurs d'humidité du sol. En effectuant un dimensionnement et en utilisant le logiciel ArchiCAD, nous avons pu valider le modèle du système (surface cultivable 50m²). La quantité d'eau correspondante à apporter est de 400 litres sous une pression d'un bar. Ceci a permis de caractériser le réseau des lignes d'arroseurs. Le simulateur ISIS a permis de simuler et valider son fonctionnement sous un seuil minimal d'humidité du sol de 30 %, et une durée d'arrosage de 30 minutes. Afin de montrer la faisabilité du projet, une maquette fonctionnelle a été réalisée.

Mots clés : Conception mécanique, Irrigation, Système goutte à goutte, Microcontrôleur, Capteur d'humidité du sol, *Solanum lycopersicum*.

ABSTRACT:

During off-season crops, the task of watering is time-consuming and even painful for the farmer. We often observe in plantations the destruction of plants due to too much water or lack of water. Knowing when and how to water is key to successful off-season farming. This article proposes the design of an automatic irrigation system to allow a good distribution of watering and reduced water consumption. To do this, we used the functional analysis method to design this system while respecting the requirements and specifications of a specification model. So, we looked at market gardening crops such as tomatoes and we started from their need for water in order to set up the most suitable irrigation system: drip; It is based on the irrigation control based on a microcontroller capable of controlling two solenoid valves and interpreting signals from soil moisture sensors. By dimensioning and using the ArchiCAD software, we were able to validate the system model (cultivable area 50m²). The corresponding amount of water to be added is 400 liters at a pressure of one bar. This made it possible to characterize the network of sprinkler lines. The ISIS simulator was used to simulate and validate its operation under a minimum soil moisture threshold of 30 %, and a watering period of 30 minutes. A functional model was made to evaluate the feasibility of the project.

Keywords: Mechanical design, Irrigation, Drip system, Microcontroller, Soil moisture sensor, *Solanum lycopersicum*.

1. INTRODUCTION

Le développement de l'agriculture est l'un des leviers les plus puissants permettant de mettre fin à l'extrême pauvreté dans nos pays sous-développés ou en voie de développement. Selon le rapport de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, afin de nourrir la population croissante de l'humanité, le monde devra produire un surplus de 70 % de la production actuelle pour nourrir 2,3 milliards de personnes de plus d'ici 2050 (FAO, 2021). L'agriculture est également un facteur essentiel de croissance économique. En 2014, elle représentait encore un tiers du Produit Intérieur Brut (PIB) mondial. Comparée à d'autres secteurs, sa croissance a des effets plus efficaces sur l'augmentation des revenus des populations les plus démunies. Selon une étude publiée en 2016, 65 % des travailleurs pauvres dépendent de l'agriculture pour vivre. La production agricole dépend fortement de l'eau, cependant elle se trouve de plus en plus souvent exposée à des risques liés à l'eau. C'est aussi le secteur le plus consommateur d'eau et le plus gros pollueur de cette ressource. Améliorer la gestion de l'eau dans l'agriculture est donc essentiel pour la durabilité d'un secteur Agroalimentaire productif (AQUA6, 2021). Le contrôle du temps et des quantités sont deux éléments de base de l'automatisation des systèmes d'irrigation (Sani et al., 2019 ; Pavankumar et al., 2018 ; Marimuthu et al., 2018 ; Rajkumar et al., 2018 ; Sengottuvel et al., 2018 ; Navin et al., 2016 ; Sneha, 2016 ; Choudhari et Mayuri, 2017 ; Courchinoux, 2008).

Au Cameroun la plupart de la population dépend de l'agriculture dont 95 % des exploitants sont de type familial et seulement 5 % de gros producteurs disposent de plus en plus des moyens modernes. Néanmoins l'agriculture Camerounaise rencontre beaucoup de contraintes liées aux aléas climatiques, moins de précipitations, l'utilisation des engrais chimiques, l'adaptabilité des cultures etc.... On note des opérations sur le terrain qui demandent une grande précision dans les processus pour optimiser le rendement, la qualité des récoltes, limiter le coût de production et la consommation d'eau. Pour répondre à ces exigences, des systèmes d'automatisation doivent être mis en place. C'est dans cette optique que la conception d'un système d'irrigations automatique serait utile pour une optimisation en eau dans les cultures de contre saison. L'objet de notre travail va porter sur la mise en place d'un système automatisé d'arrosage goutte à goutte adapté à la culture contre saison de tomates (*Solanum lycopersicum*) qui d'ailleurs regorge de nombreuses propriétés médicales.

Elle est riche en antioxydant : la tomate doit sa couleur rouge au lycopène qui protège les cellules des attaques radicales et au bêta carotène qui est un antioxydant majeur jouant un rôle dans la prévention de nombreux cancers et maladies cardio-vasculaires. Elle est excellente pour le foie : la tomate contient des traces d'éléments antitoxiques appelés chlore et soufre. Le chlore permet de mieux filtrer les déchets de l'organisme et le soufre protège le foie contre certains engorgements. La tomate est excellente pour dissoudre les mauvaises graisses et les éliminer plus facilement. Elle est aussi riche en vitamine C (de 10 à 30 mg par 100 g), la tomate contribue à une meilleure assimilation du fer et du calcium et enfin la tomate diminue l'hypertension grâce à sa richesse en potassium.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel végétal

De son nom scientifique *Solanum lycopersicum*, la tomate est un légume fruit de la famille de Solanacée constituée des caractéristiques suivantes :

- Feuilles : composées imparipennées et alternes. Les folioles sont lobées. Elles portent des poils glanduleux ;
- Fleurs : de couleurs jaunes, elles sont disposées en cymes ramifiées ;

- Fruits : ce sont de grosses baies, plus ou moins arrondies, généralement rouges, parfois jaunes, oranges.

Il existe deux types de variétés de tomates : Les variétés à port indéterminé, qui nécessitent des interventions de taille (on pince les gourmands) pour limiter la croissance et provoquer de nouvelles floraisons et qui demandent souvent un tuteurage ; Les variétés à port déterminé dont le développement est de type buissonnant qui ne nécessitent ni taille ni bouturage. Il est évidemment plus simple, en culture de plein champ, d'utiliser des variétés à port déterminé (EFFICACITÉ POUR UN AVENIR DURABLE – Gestiriego, 2019 ; Direction de l'agriculture, 2018 ; Phocaidès, 2008)

Le cycle de plante est le suivant : Levée (1 semaine), Repiquage (2 semaines), Plantation (1.5 Mois), 1^{ère} fleur (jusqu'à 3 mois), Nouaison et Récolte (jusqu'à 5 mois), Fin récolte (jusqu'à 7 mois)

Exigences édapho-climatiques : Température : La température optimale de développement varie entre 20 et 30 ° C pendant la journée et 17 ° C la nuit, 14 à 18 ° C au niveau du sol ; **Taux d'humidité :** La valeur optimale se situe entre 60 % et 80 % ; **Sol :** Un sol ameubli, profond, léger et bien drainé, avec un **pH** compris entre **5,5 et 7**. **Besoin en eau :** Certains agriculteurs estiment 1 litre d'eau par jour par plant de tomate sans tenir compte des conditions climatique. Selon plusieurs tests menés au centre de recherches pour l'utilisation de l'eau salée en irrigation dans le laboratoire de physique du sol, les besoins minimums de la tomate sont de l'ordre de 3 à 4 mm/jour (soit 3 à 4l/m²/jour), et les besoins de pointe sont de l'ordre de 8 mm/jour (soit 8l /m²/jour) (Cherfech, 1968).

2.2. Matériel informatique et électronique

Nous présentons les différents équipements utilisés qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Sketch Arduino : Il s'agit d'un environnement de programmation en C spécialement conçu pour la programmation des cartes de développement ARDUINO (Arduino Software, 2019 ; Karan et al., 2015).

Le logiciel PROTEUS : Proteus est une suite logicielle permettant la CAO électronique éditée par la société Labcenter Electronics. Elle est composée de deux logiciels : ISIS, permettant la création de schémas et la simulation électrique, et ARES, destiné à la création de circuits imprimés.

Logiciel ArchiCAD 20 : ArchiCAD est un logiciel BIM (Building Information Modeling) de conception architectural 3D édité et commercialisé par Graphisoft. Il offre la possibilité en une seule application de synthétiser toutes les étapes de la construction d'un bâtiment de la conception à la visualisation à l'assemblage et interactivités des éléments sur le plan 2D et 3D.

Un kit Arduino : Le kit Arduino est un ensemble de composants électroniques. Celui que nous avons est constitué : d'une carte de développement ARDUINO MEGA : En effet, Arduino est une marque qui couvre des cartes électroniques, matériellement libres sur lesquelles se trouve un microcontrôleur (d'architecture Atmel AVR et ARM) ; un afficheur LCD 4*20 i2c, des capteurs humidité du sol, deux Potentiomètres, des résistances (220Ω, 1kΩ, 4kΩ, 10kΩ), plaque essais, des fils de connections, un module relais etc...

Comme autres composants, nous avons entre autres : une pompe immergée de 12 Volt, Hmax = 250cm, de débit de 350 litres/heure, deux électrovannes en plastique NF 12V, des tuyauteries en plastique, quelques accessoires et raccords.

2.3. Méthodes

La démarche adoptée (figure 1) pour concevoir le système d'irrigation de la culture de la tomate est la suivante.

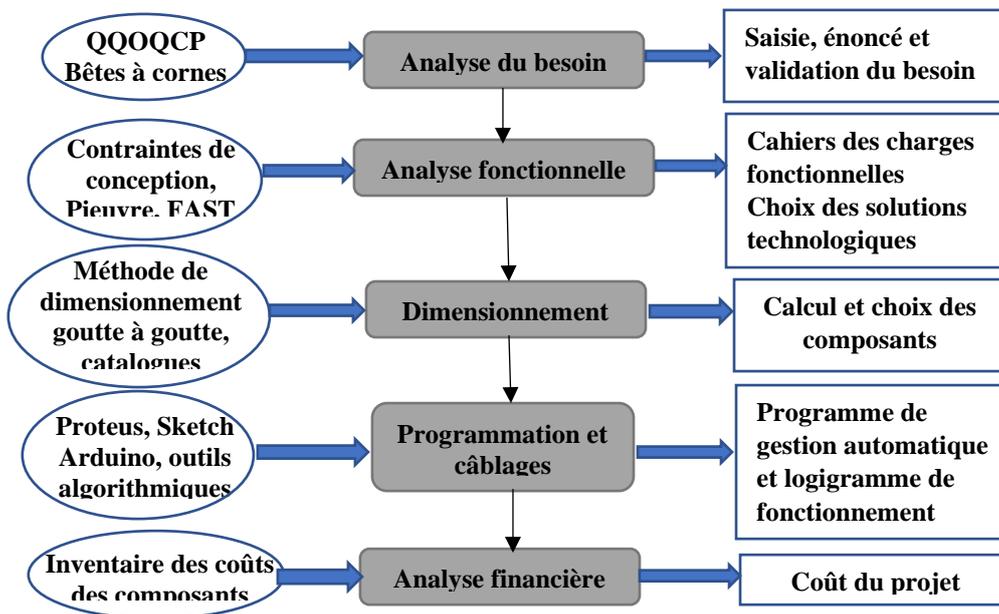


Figure 1. Démarche de conception du système automatique d'irrigation

2.3.1. Dimensionnement du système

Dimensionnement Hydraulique : Le modèle du système est représenté par la figure 2.

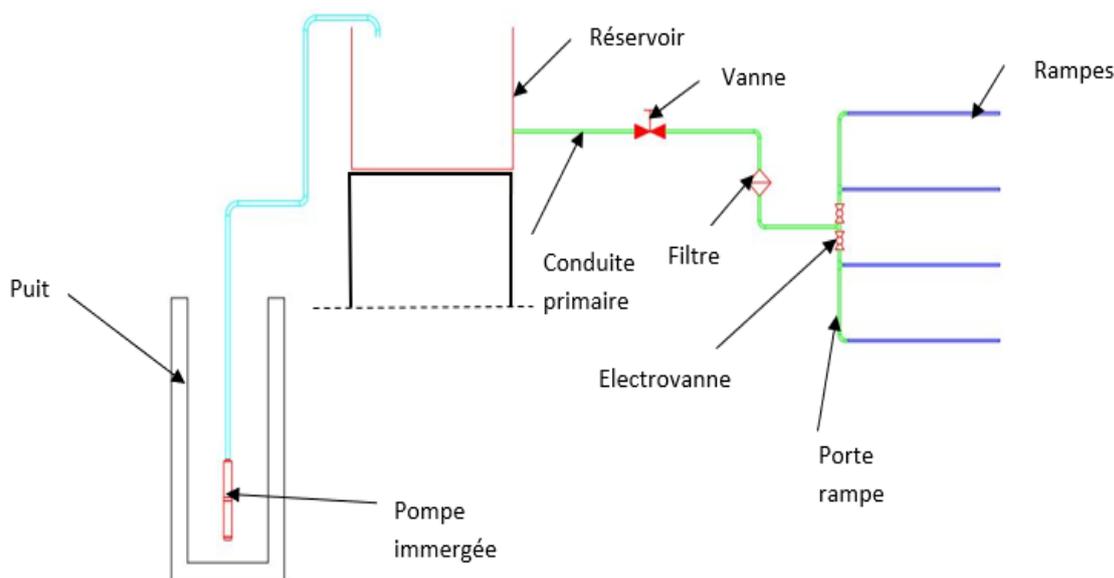


Figure 2. Synoptique du système hydraulique

Pour notre système, nous supposons une parcelle plate de 10m de longueur et 5m de largeurs soit 50 m² pour une densité de 100 plantes de tomates selon un espacement entre ligne de 1m et entre plant de 0,5m. Le réseau goutte à goutte est celui implémenté ici. Les caractéristiques essentielles (tableau 1) sont déterminées.

Tableau 1. Démarche de dimensionnement des éléments caractéristiques du réseau hydraulique

Etapes	Equations	Observations
Nombre de goutteur sur une rampe	$N_g = \frac{L_r}{E_g}$	L_r : Longueur de la rampe en (m) E_g : Espacement de goutteur en (m)
Débit de la rampe (l/h) : dépend du nombre de goutteur sur la rampe	$Q_r = N_g \times Q_g$	Q_r : Débit rampe en (l/h)
Débit d'une porte rampe	$Q_{pr} = N_r \times Q_r$	Q_{pr} : Débit porte rampe en (l/h) N_r : Nombre de rampe en (m)
Débit conduite primaire (l/h)	$Q_{cp} = N_{pr} \times Q_{pr}$	N_{pr} : Nombre de porte rampe en (m)
Nombre total de goutteur	$N_{tg} = N_g \times N_r$	N_{tg} : nombre total de goutteur
Volume d'eau à apporter sur la parcelle	$V_{ap} = B_e \times S$	B_e : besoin en eau de pointe (l/m ² /jour) S : surface en (m ²)
Pression au plein réservoir P_2 (Théorème de Bernoulli entre les points 1 et 2)	$\frac{1}{2}\rho(V_2^2 - V_1^2) + \rho g(Z_2 - Z_1) + (P_2 - P_1) = 0$ $\frac{1}{2}\rho V_2^2 + \rho g(Z_2 - Z_1) + (P_2 - P_1) = 0$	Or la section de la conduite est très petite par rapport à celle du réservoir, ce qui implique $V_1 \ll V_2$ Le débit de la conduite primaire
	$Q_{cp} = S_{cp} \times V_{cp}$ Avec $S_{cp} = \frac{\pi}{4} d_{cp}^2$ $V_2 = V_{cp} = \frac{4}{\pi} \times \frac{Q_{cp}}{d_{cp}^2}$ $\frac{Q_{cp}}{d_{cp}^2} - \rho g(Z_2 - Z_1) + (P_2 - P_1) = 0$ $P_2 = \frac{1}{2}\rho \times \left(\frac{4}{\pi} \times \frac{Q_{cp}}{d_{cp}^2}\right)^2 - \rho g(Z_2 - Z_1) + P_1 = 0$	Remplacement de V_2 dans l'équation de Bernoulli P_1 : pression en 1 en haut du réservoir (Pa) ρ : la masse volumique de l'eau (Kg m ⁻²) g : accélération de la pesanteur (ms ⁻²) $Z_2 - Z_1$: la hauteur en (m) d_{cp} : diamètre conduite primaire en (m)
Pression au radier P_3	$\frac{1}{2}\rho(V_3^2 - V_2^2) + \rho g(Z_3 - Z_2) + (P_3 - P_2) = 0$ $\rho g(Z_3 - Z_2) + (P_3 - P_2) = 0$ D'où $P_3 = -\rho g(Z_3 - Z_2) + P_2$	La relation de conservation du débit entre les deux points s'écrit $Q_2 = Q_3$, donc $S_2 = S_3$ et $V_2 = V_3$
Calcul des pertes de charges (Cas de la conduite principale)	$R_{cp} = \frac{v}{D}$ Or on a $V = \frac{4}{\pi} \frac{Q_{cp}}{D_{cp}^2}$ $R_{cp} = \frac{4}{\pi} \frac{Q_{cp}}{D_{cp}}$ $J_{cp} = 2.87 \times 10^{-6} \times L_{cp} \times d_{cp}^{-4.871} \times (Q_{cp}/C_{cp})^{1.852}$	détermination du nombre de Reynolds afin de caractériser l'écoulement. R_{cp} : nombre de Reynolds conduite primaire v : viscosité cinématique (m ³ s ⁻¹) D_{cp} : diamètre conduite primaire en (m) C'est la formule utilisée classiquement en micro irrigation pour le calcul de la perte de charge J occasionnée par le passage d'un débit d'extrémité Q dans un tuyau de longueur L. C_{cp} : coefficient de perte de charge Hazen williams L_{cp} : Longueur (m) Q_{cp} : débit (m ³ /h) J_{cp} : perte de charge (m) nombre de Reynolds R_r : nombre de Reynolds de la rampe d_r : diamètre de la rampe (m) q : Débit moyen goutteur (m ³ /h) n : nombre de goutteur par rampe F : coefficient de réduction de perte de charge C_g : coefficient de perte de charge J_r : perte de charge de la rampe (m)
Calcul des pertes de charges (Cas de la rampe)	$R_r = \frac{4}{\pi} \frac{Q_r}{d_r}$ $J_r = 2.87 \times 10^{-6} \times L_r \times F \times d_r^{-4.871} \times \left(n \times \frac{q}{C_g}\right)^{1.852}$	
Pertes de charges singulières	$\Delta H = \frac{Kv^2}{2g}$ $D = 47,23 \times Q^{1/2}$ D : diamètre en (m) Q : débit en (m ³ /s)	Pour déterminer les pertes de charges nous allons utiliser des abaques, Cependant nous passerons par le choix de diamètre.

Le système de Pompage
(réservoir, pompe)

$$V = L \times l \times H$$

$$H_{mt} = H_a + H_r + P_c + P_u$$

Le choix du diamètre économique de refoulement est déterminé par la formule de Bresse

Besoin en eau utile journalier pour desservir notre système d'arrosage.

V : volume en (m³)

l : largeur en (m)

L : longueur en (m)

H : hauteur en (m)

Hauteur manométrique de la pompe
 H_{mt} : la hauteur manométrique totale (mce)

H_a : la hauteur d'aspiration

H_r : la hauteur de refoulement

P_c : les Pertes de charges

P_u : la pression résiduelle

2.3.2. Dimensionnement du système de commande de l'arrosage

Nous décrivons succinctement les étapes ayant permises de dimensionner la carte électronique : définition des différents cahiers de charges, choix des outils et langage de programmation, établissement du logigramme (schéma conventionnel représentant le fonctionnement du système), écriture du programme de gestion du système à l'image du schéma préétabli, simulation sur Proteus ISIS, développement d'un schéma électronique sur plaque à essai adapté aux cahiers de charges et validation de la carte, réalisation du typon sur ARES, enfin, réalisation de la carte électronique. Le schéma dimensionnement électrique du système de pompage de la pompe est illustré par la figure 3.

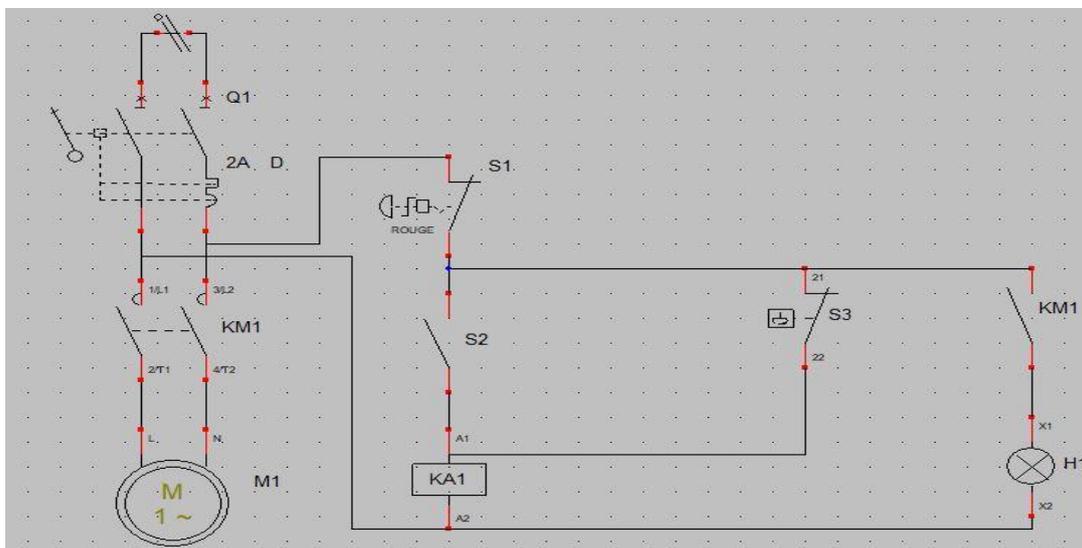


Figure 3. Schéma de câblage de la pompe

Dans la figure 4, nous présentons le schéma synoptique du système d'arrosage:

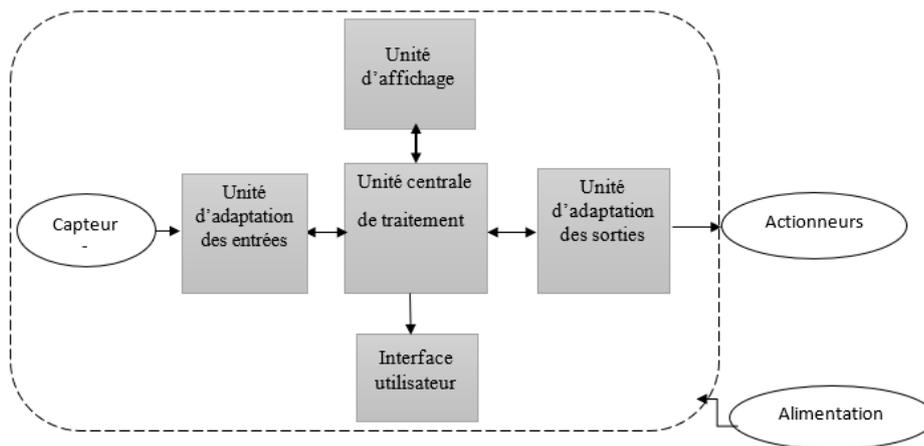


Figure 4. Schéma synoptique de la carte

Pour fonctionner, la carte a besoin d'une alimentation. Le microcontrôleur fonctionnant sous 5V, la carte peut être alimentée en 5V par le port USB ou bien par une alimentation externe qui est comprise entre 7V et 12V. Cette tension doit être continue et peut par exemple être fournie par une pile 9V. Un régulateur se charge ensuite de réduire la tension à 5V pour le bon fonctionnement de la carte. Nous avons choisi les capteurs d'humidité du sol en tenant compte du rapport qualité coût, de leur disponibilité, de la grandeur de sortie compatible avec le module Arduino et le plus important leur caractère non corrosif. L'unité de traitement est destinée au traitement des données de mesure que nos différentes grandeurs physiques vont prélever et il a été choisi d'après les exigences du cahier de charge préalablement défini. À cet effet, la détermination du nombre d'échantillon(N) que pourra prendre chaque type de paramètre du microprogramme par unité de temps est donnée par la formule : $N=2n-1$ avec n le nombre de bit de ce contrôleur. L'ensemble constituant des préactionneurs sont des relais. Les actionneurs sont les électrovannes et afficheurs LCD afin d'afficher les informations relatives à l'humidité du sol.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Analyse du besoin

L'application de l'outil *QOQCP* nous montre effectivement que l'agriculteur est confronté à certains problèmes (Temps d'arrosage long avec une consommation d'eau élevée, Plantes détruites, baisse de production, tâche d'arrosage est pénible) qui nécessitent une mise sur pied d'un système d'irrigation automatique afin de réguler la consommation et d'optimiser le temps de récolte. Il est donc essentiel après avoir décelé du diagramme bête a corne un système qui doit permettre l'arrosage automatique des plantes (tomates) à une quantité contrôlée et au moment indiqué. Ce système se veut plus accessible et plus écologique.

3.2. Analyse fonctionnelle

Le diagramme Pieuvre nous a permis de définir une fonction principale et les fonctions contraintes comme c'est illustré sur la figure 5.

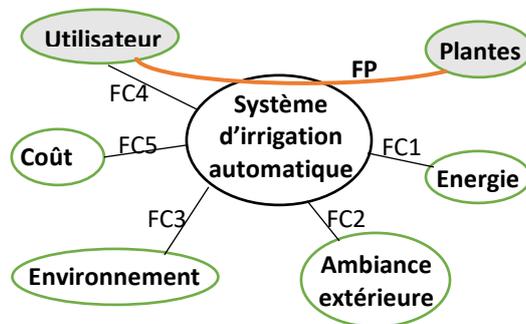


Figure 5. Diagramme pieuvre

Sur ce diagramme nous voyons les différentes relations de notre système avec les milieux extérieurs. Nous identifions une fonction principale et 4 fonctions de contraintes : **Fonction principale : FP** (Permettre d’arroser les plantes) et **Fonctions contraintes (FC1 : Consommer de l’énergie, FC2 : Résister à l’ambiance extérieure, FC3 : Être écologique, FC4 : Paramétrer les données, FC5 : être rentable pour le paysan).**

Les fonctions obtenues du diagramme Pieuvre nous ont permises d’élaborer le cahier des charges fonctionnelles (CdCF). Le tableau 2 suivant le décrit :

Tableau 2. Cahier de charges fonctionnelles

Fonctions	Critères	Niveau	Contraintes
FP : Permettre d’arroser les plantes	Taux d’humidité de sol	Seuil min. 30	Disponibilité de l’eau
	Temps d’arrosage	30 min	
FC1 : Consommer de l’énergie	Niveau tension	220/12-5 V	Disponibilité de l’énergie
FC2 : Résister à l’ambiance extérieure	Matériaux	Inoxydable	Disponibilité du matériel sur le marché
		Imperméable	
FC3 : Être écologique	Quantité d’eau	Faible	Norme environnementale et de recyclage
	Matériels	Non polluant	
FC4 : Paramétrer les données	Autonomie	Paysan	Interaction paysan - système
FC5 : Être rentable pour le paysan	Coût abordable	≤ 3000000 F	Coût élevé de matériel

Après avoir défini les fonctions du système, on doit en déduire les solutions technologiques relatives à la fonction principale comme l’illustre la figure 6. Le diagramme FAST présente les différentes solutions qui expriment comment nous allons parvenir à arroser les plantes. De manière simple, il faudra utiliser de l’eau et commander l’arrosage. Toute fois plusieurs technologies peuvent intégrer ces solutions. Selon les contraintes de conception et les exigences de fonctionnalités, le critère principal de choix alternatif des solutions technologiques est tributaire de la rentabilité c’est-à-dire du coût. En considérant la disponibilité de la ressource, nous utiliserons par exemple pour la solution S1 un puits au lieu de la rivière comme source d’approvisionnement en eau.

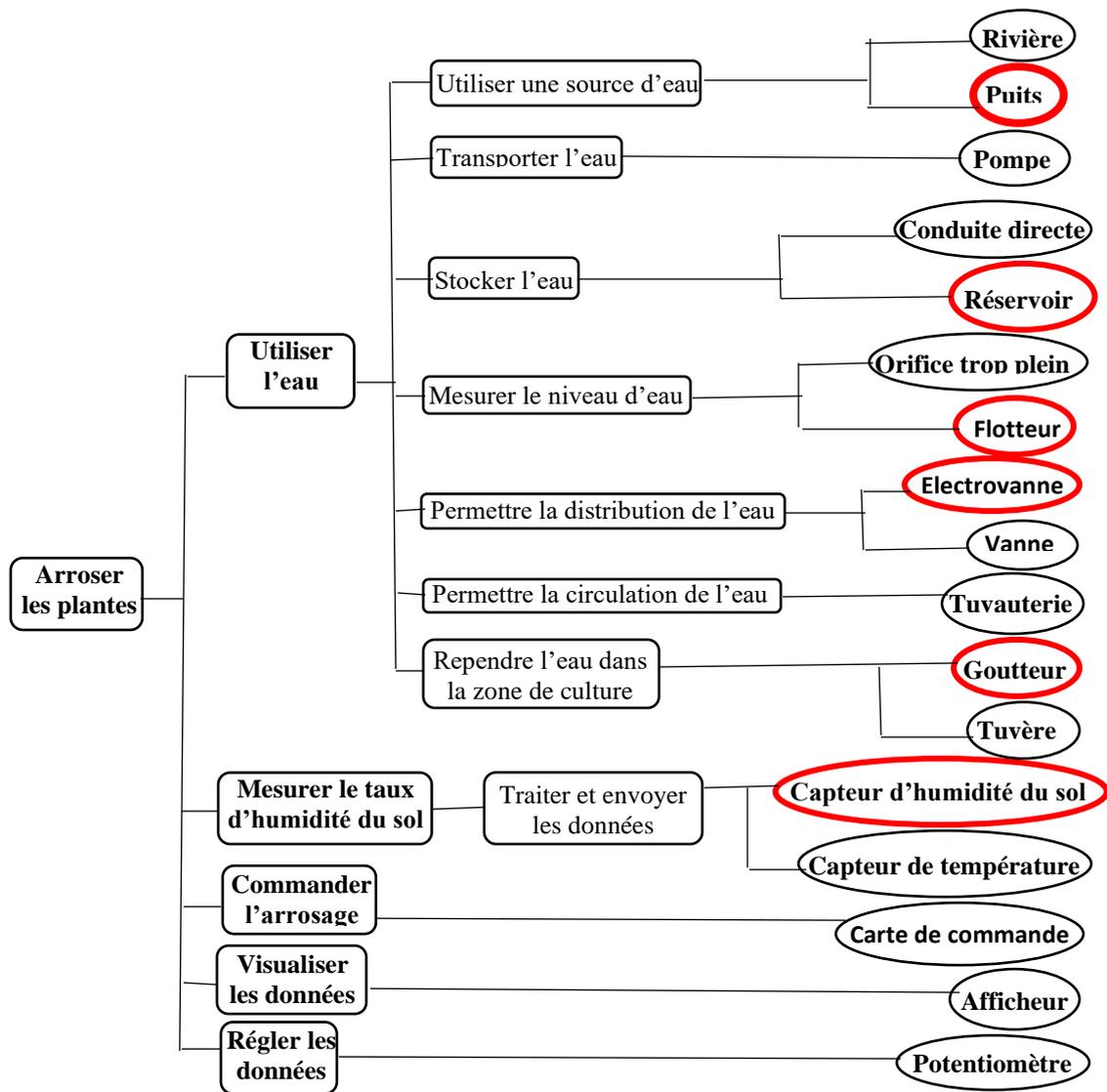


Figure 6. Diagramme FAST de la fonction principale.

3.3. Dimensionnement du système réseau hydraulique

En se basant sur les relations décrites plus haut et les variables du tableau 3, nous obtenons donc les résultats suivants :

La Pompe voulue est une pompe immergée, pour cela nous déterminons la hauteur manométrique à partir de ses valeurs : la hauteur d'aspiration nulle, la hauteur de refoulement qui est égale à 11, la pression résiduelle est de 1 bars soit 10 m CE. **Pour la perte de charge**, selon un débit de pompage de 1, nous obtenons un diamètre $D = 47,23 \times (1/3600)^{1/2}$ soit $D=24,89$. Le diamètre proche choisi est donc **25mm**. Connaissant le diamètre qui est de 25, le débit qui est de 1, on peut en déduire la valeur de la perte de charges sur la figure 7 pour les tuyaux en polyéthylène nous obtenons pour 100m.

Tableau 3. Détermination des caractéristiques du réseau hydraulique

Etapes	Résultats	Variables
Nombre de goutteur sur une rampe	$N_g = 100$	$L_r = 5 \text{ m}, E_g = 0.5 \text{ m}$
Débit de la rampe (l/h) : dépend du nombre de goutteur sur la rampe	$Q_r = 40$	$Q_g = 4 \text{ l/h}$
Débit d'une porte rampe	$Q_{pr} = 200$	$N_r = 5$
Débit conduite primaire (l/h)	$Q_{cp} = 400$	$N_{pr} : 2$
Volume d'eau à apporter sur la parcelle (l/jour)	$V_{ap} = 400$	$B_e = 8 \text{ l/m}^2/\text{jour}, S = 50 \text{ m}^2$
La pression au plein réservoir P_2	$P_2 = 110074 P_a$	$\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, g = 9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}, Z_2 - Z_1 = -1 \text{ m},$ $P_1 = 10^5 P_a, d_{cp} = 0.016 \text{ m}$ $Z_3 - Z_2 = 2 \text{ m}$
Pression au radier P_3	$P_3 = 90476 P_a$	
Nombres de Reynolds cas de la conduite principale	$R_{cp} = 8846,42$ (nombres de Reynolds conduite principale)	Le coefficient de perte de charge $C_{cp} = 130$ et la longueur de la rampe $L_{cp} = 14$
Perte de charges (m)	$J_{cp} = 485,17 \cdot 10^{-3}$ $\Delta H = 0,24$	$k = 16, v = 0,55 \text{ m/s}$
Nombres de Reynolds cas de la rampe	$R_r = 1179,52$	$F = 0,4$
Perte de charges (m)	$J_r = 6,64 \cdot 10^{-3}$	$n = 10, C_g : 100$
Volume du réservoir (m ³)	$V = 1$	$L = l = h = 1 \text{ m}$
Hauteur manométrique totale (m)	$H_{mt} = 21,2727$	$H_a = 0 \text{ m} \quad H_r = 11 \text{ m}$ $P_c : 0,2727 \text{ m} \quad P_u = 10 \text{ m}$

Tableau des pertes de charge en m calculées pour 100 m de tuyauterie rectiligne																
Matériel	Acier galvanisé	Polyéthylène PE 100			Acier galvanisé	Polyéthylène PE 100			Acier galvanisé	Polyéthylène PE 100			Acier galvanisé	Polyéthylène PE 100		
DN (mm) diamètre extérieur	25	32			32	40			40	50			50	63		
Nominal Ø	1"			1" 1/4			1" 1/2			2"			2" 1/2			
Interne Ø (mm)	27	PN16 26	PN25 23.2	35,8	PN16 32.6	PN25 29	41.3	PN16 40.8	PN25 38.2	52.5	PN16 51.4	PN25 45.8	68	PN16 61.4	PN25 54.4	
Débit (Q)	m ³ /h	METRES														
	l/min															
	0.6	10	0.7	0.5	0.9	0.2	0.2	0.3	-	-	0.1	-	-	-	-	-
	0.9	15	1.6	1.1	1.9	0.4	0.4	0.6	0.2	0.1	0.2	-	-	-	-	-
	1.2	20	2.6	1.8	3.2	0.7	0.6	1.1	0.4	0.2	0.4	-	-	-	-	-
	1.5	25	3.8	2.9	5.0	1.0	1.0	1.7	0.5	0.3	0.6	0.1	-	0.1	-	-
	1.8	30	5.3	4.0	6.9	1.4	1.3	2.3	0.7	0.4	0.8	0.2	0.1	0.2	-	-
	2.1	35	6.9	5.2	9.1	1.8	1.7	3.1	0.9	0.6	1.0	0.3	0.2	0.3	-	-
	2.4	40	8.8	6.8	11.9	2.3	2.3	4.0	1.2	0.8	1.4	0.4	0.3	0.4	-	0.1
	3.0	50	13.1	10.1	17.6	3.4	3.4	5.9	1.7	1.1	2.0	0.5	0.4	0.6	0.1	0.15
	3.6	60	18.3	14.3	24.9	4.7	4.7	8.4	2.4	1.6	2.8	0.8	0.5	0.9	0.2	0.2
	4.2	70	24.2	19.1	33.3	6.2	6.3	11.2	3.1	2.2	3.8	1.0	0.7	1.2	0.3	0.3
	4.8	80	30.9	24.2	42.1	7.9	8.0	14.2	4.0	2.7	4.8	1.3	0.9	1.5	0.3	0.4
	5.4	90	38.3	30.2	52.7	9.8	10.0	17.8	4.9	3.4	6.0	1.6	1.1	1.9	0.4	0.5
	6.0	100	46.5	36.9	-	11.9	12.3	21.7	6.0	4.1	7.4	1.9	1.3	2.3	0.5	0.6
	7.5	125	-	55.3	-	17.9	18.4	32.5	9.0	6.2	11.0	2.8	2.0	3.5	0.8	0.8
9.0	150	-	-	-	25.1	25.8	45.7	12.5	8.7	15.5	3.9	2.8	4.9	1.1	1.2	
10.5	175	-	-	-	33.3	34.4	-	16.7	11.6	20.7	5.2	3.8	6.6	1.5	1.6	
12.0	200	-	-	-	42.8	43.9	-	21.4	14.7	26.4	6.6	4.8	8.4	1.9	2.0	
15.0	250	-	-	-	-	-	-	32.3	22.3	40.0	10.0	7.3	12.7	2.8	3.1	
18.0	300	-	-	-	-	-	-	44.5	30.5	57.5	13.8	10.2	17.8	3.9	4.3	
21.0	350	-	-	-	-	-	-	59.1	40.5	-	18.4	13.5	23.6	6.7	5.7	
24.0	400	-	-	-	-	-	-	-	52.0	-	23.6	17.3	30.3	10.0	7.3	

Figure 7. Pertes e charges en m calculées pour 100m de tuyauteries rectiligne.

La valeur du débit de 1 ne s'affichant pas sur la figure, la règle de trois nous permet d'en déduire pour les tuyaux en polyéthylène de 100m une perte de 2,2m, soit pour un tuyau de 12 m une perte de charge de 0,26. A partir des données ci-dessus, nous avons : $H_{mt} = 11 + 0,26 + 10 = 21,26$.

Connaissant la valeur de la hauteur manométrique totale et celle du débit, on peut en déduire la puissance du moteur à partir de la figure 8

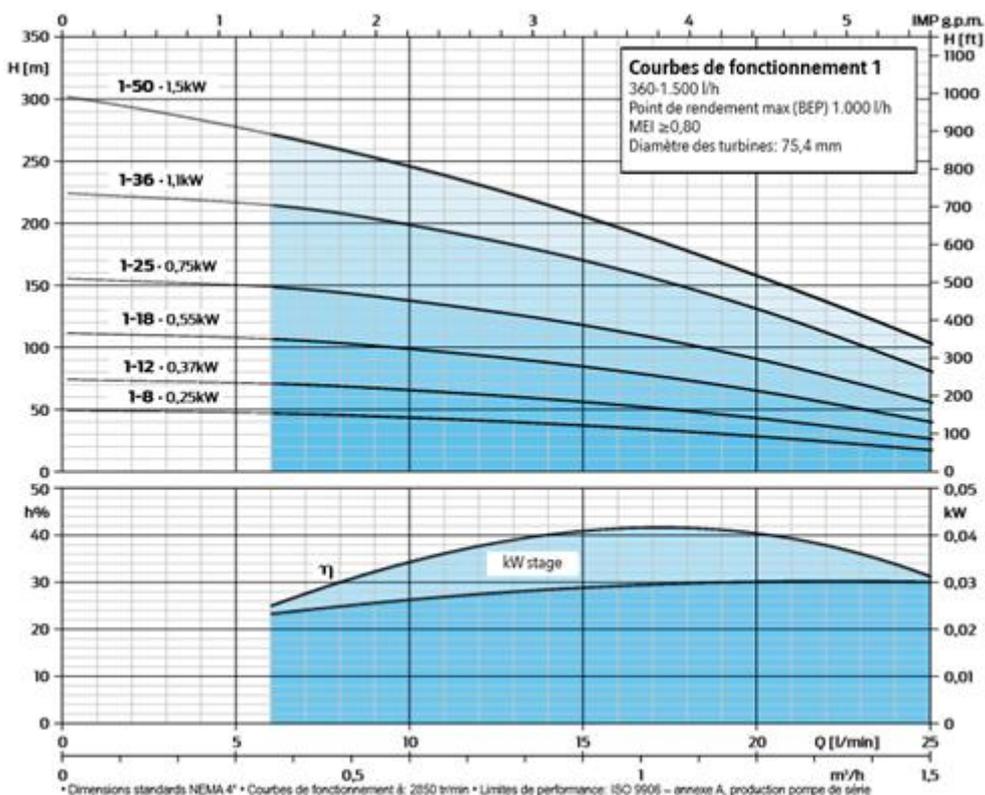


Figure 8. Catalogue de choix des pompes immergées QSP.1

En se référant au courbe caractéristique débit hauteur manométrique, notre choix a été donc une pompe immergée la plus adaptée QS4P.1-8 de puissance 0,25 kW. Le flotteur choisis est celui qui a les caractéristiques suivantes : longueur du câble : 2 m, Indice de protection : IP68, angle de commutation min/max : +/-50°, températures max de fonctionnement : 50 °C, tension nominale : 250V-50/60Hz, courant de commutation maxi :16 A. Les résultats obtenus ci-dessus nous permettent de dire que la pression disponible est celle requise pour nos lignes de goutteur (entre 0.5 à 1.5 bar) et le tracé du réseau et particulièrement de la conduite principale provoque une perte de charge minimale. La fig. 9 illustre la vue en 3D conçue.

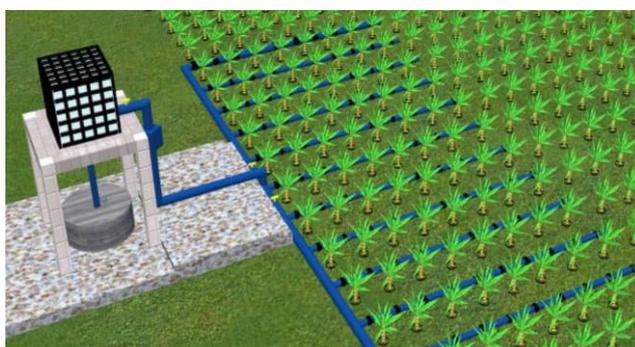


Figure 9. : Vue isométrique.

3.4. Programmation de la carte de commande

Le logigramme de la figure 10 illustre le principe développé pour le programme de gestion de cette carte.

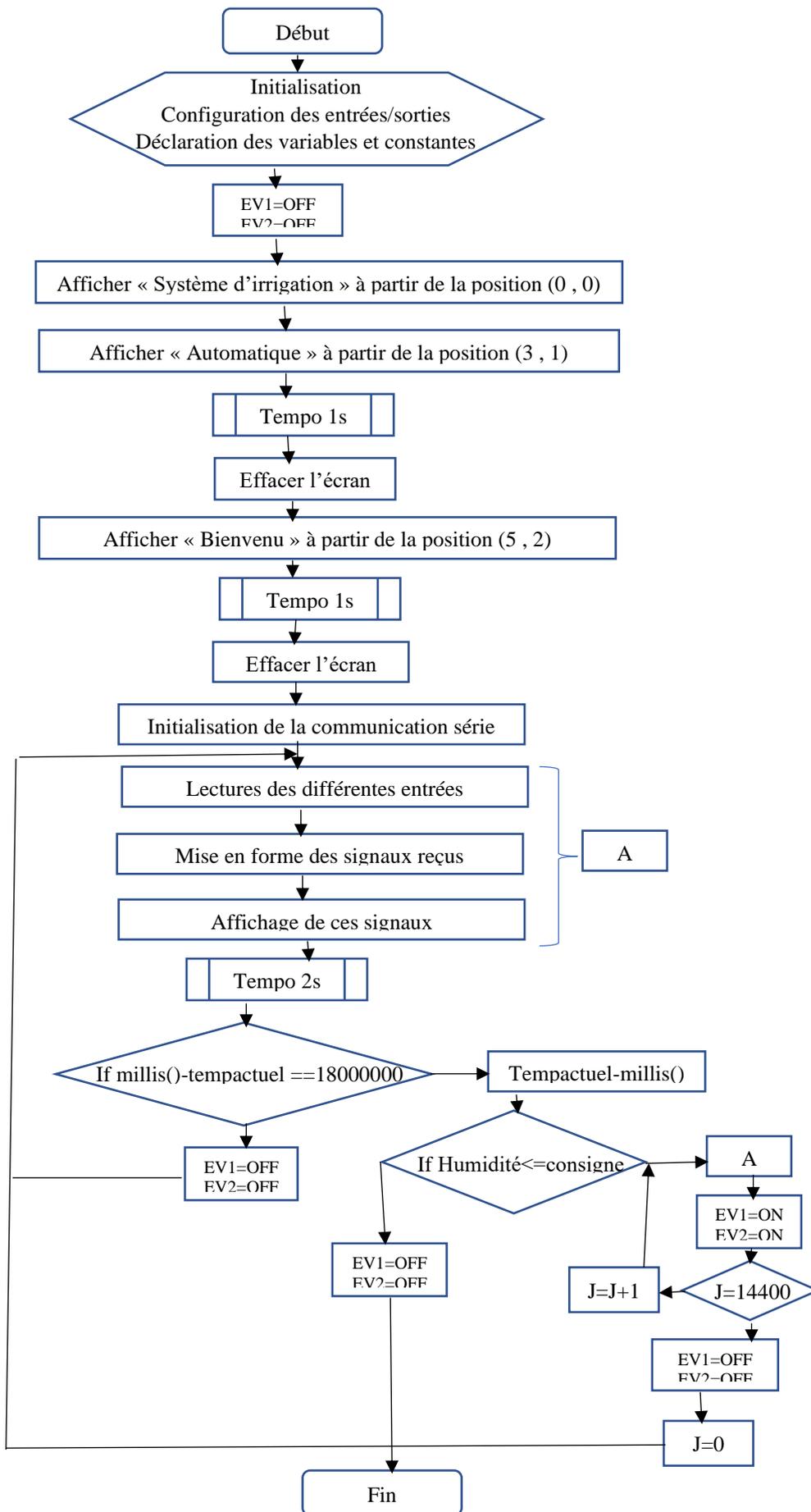


Figure 10. Logigramme de commande du système d'arrosage

3.5. Réalisation de la maquette

Dans le but de montrer la faisabilité du projet, nous avons fait un petit champ expérimental afin de tester le système d’arrosage. La figure 9 montre la maquette finale et fonctionnelle. Sur cette figure nous pouvons voir les capteurs ; le réservoir (a), le boîtier de commande (b), les capteurs (c), les électrovannes (d).



Figure 11. Maquette du système d’arrosage

3.6. Estimation financière

Dans cette partie nous avons juste fait une estimation du coût du projet en se référant aux prix du marché des différents composants entrant dans le système. Nous avons pris soin de conférer ces données dans le tableau 4.

Tableau 4. Estimation financière préliminaire

Composants	Quantité	Prix unitaire	Prix total
Kit Arduino	01	35000	350000
Vanne manuelle en plastique	01	1200	1200
Filtre à tamis 120mesh	01	3500	3500
Electrovanne en plastique NF	02	400	8000
Goutteur turbulent 4l/h	100	45	4500
Tuyau PVC 16mm	14m	500	7000
Tuyau PE 12mm	50m	500	25000
Tuyau PE 25mm	12m	700	9800
Capteur d’humidité capacitif V1.2	04	3500	14000
Réservoir en plastique 1000l	1	30000	30000
Pompe immergé QS4P.1-8	1	45000	45000
Contacteur	1	7500	7500
Disjoncteur Magneto thermique	1	4000	40000
Flotteur électrique	1	5000	5000
Raccords et autres accessoires			20000
Total en FCFA			219500

En faisant donc la somme de tous ces coûts ci-dessus, on obtient un coût total du projet estimé à : **219 500 FCFA** hors mis la main d’œuvre.

4. CONCLUSION

Il a été question ici de concevoir un système d'irrigation automatique dans le but de pallier aux problèmes que rencontrent souvent les agriculteurs des cultures de contre saison tels que : la surconsommation d'eau, le temps d'arrosage élevé, la mauvaise répartition d'arrosage ainsi que la baisse de récolte. Nous avons donc proposé un système goutte à goutte automatique adopté pour la culture de tomate qui permettra l'amélioration des conditions de productivités, particulièrement ceux qui vivent dans les zones rurales du fait d'une meilleure gestion de leurs champs et de leurs rendements. L'utilisation de la méthode d'analyse fonctionnelle nous a permis par la suite à travers les solutions technologiques de faire le choix des outils et du langage de programmation afin d'effectuer le dimensionnement. Il en ressort que le bon développement des cultures se fera pour une humidité de sol qui ne doit être en deçà de 30 % avec un volume d'eau à apporter sur la parcelle en période de pointe de 400l/Jour pour une durée de 30min. Nous pouvons donc dire que le système d'irrigation automatique propose permettra une production optimisée de la culture de la tomate. L'amélioration de ce système d'irrigation automatique devrait porter sur l'installation d'une minuterie dans le système, aussi sur un dimensionnement extrapolé à grande échelle et enfin sur un dimensionnement électrique autonome à partir d'une source d'énergie solaire.

5. CONFLITS D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent qu'il n'y a pas de conflits d'intérêts en relation avec cet article. Nous avons fait un effort sincère pour assurer l'exactitude du matériel décrit dans ce document. Nous donnons également des garanties, explicites ou implicites, concernant la qualité, l'exactitude, la fiabilité, l'actualité, la précision, mais pas l'absence totale d'erreur de ce document ou des produits qu'il décrit. Aucun fonds n'a été reçu pour ce travail.

6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AQUA6, 2021. Les différents systèmes d'irrigation. https://www.aqua6.info/blog/25_les-differents-systemes-d-irrigation.html, consulté 09 février 2021.
- Arduino Software, 2019. Retrieved from <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>.
- Cherfech, 1968. Estimation de la consommation d'eau des tomates (essai df1 - bloc 2), Projet fond spécial Centre de recherches pour l'utilisation de l'eau salée en irrigation, Laboratoire de physique du sol, IRD, Rapport n°22, 5 Pages.
- Choudhari N. K., Mayuri Harde, 2017. Automated Plant Irrigation System Based on Soil Moisture and Monitoring Over IOT. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 5(VI), 2551–2555.
- Courchinoux JP, 2008. Fiche technique Tomate, Paris, 8 pages.
- Direction de l'agriculture, 2018. Fiche technique : La tomate - Solanum lycopersicum L., 12 pages.
- Gestiriego, 2019. Efficacité pour un avenir durable –From <https://www.gestiriego.com/wp-content/uploads/2019/07/CATALOGUE-MAROC-GESTIRIEGO-2019.pdf>, 148 Pages.
- FAO, 2021. 2050:2,3 milliards de bouches de plus à nourrir. <http://www.fao.org/news/story/fr/item/35656/icode/>
- Karan Kansara, Vishal Zaveri, Shereyans Shah, Sandip Delwadkar and Kaushal Jani, 2015. Sensor based Automated Irrigation System with IOT: A Technical Review. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 6(6), 5331–5333.

- Marimuthu Muthuvel, Ajitha Manoharan and R Priya Nandhini, 2018. Automatic Irrigation System for Vegetable Crops using Internet of Things, *Research Journal of Science and Engineering Systems*, **3**, 91–100.
- Navin Kumar H.A., G.L.Nagendra, K.Bhaskar, K.Prakash, 2016. High Sensitive Soil-Moisture Sensors Development and Automatic Watering for Irrigation Systems. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, **5**(9), 7716–7722.
- Pavankumar Naik, Arun Kumbi, Kirthishree Katti et Nagaraj Telkar, 2018. Automation of irrigation system using IoT. *International Journal of Engineering and Manufacturing Science*, **8**(1), 77–88.
- Phocaidés A., 2008. Manuel des techniques d'irrigation sous pression, Seconde édition. Organisation des Nations Unies pour l'Organisation et l'Agriculture, 308p.
- Rajkumar Mistri, Madhupriya Kri. Singh, Eckta, 2018. Automatic Irrigation System. *IJSART*. **4**(5), 557–559.
- Sani Abba, Jonah Wadumi Namkusong, Jeong-A Lee et Maria Liz Crespo, 2019. Design and Performance Evaluation of a Low-Cost Autonomous Sensor Interface for a Smart IoT Based Irrigation Monitoring and Control System. *Sensors*, **19**(17), p3643.
- Sengottuvel P. and J. Hameed Hussain, 2018. Design and Implementation of Automatic Plant Irrigation System. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, **119**(7), 2031–2036.
- Sneha Angal, 2016. Raspberry pi and Arduino Based Automated Irrigation System. *Electronics and Communication Engineering*, **5**, 1145–1148.