

*Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle*  
*Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid*

# RAPPORT DE PROJET D'EVALUATION

Filière : Génie Systèmes Embarqués & Informatique Industrielle

Présenté par :

ARDOUZ Rachid

Encadré par :

M.MANSOURI Anass

---

---

Conception et réalisation d'un système asservi  
de control de la température

---

Année universitaire 2019/2020

*Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle*  
*Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid*

## RESUME

Ce document présente les différentes étapes de conception et de réalisation d'un système asservi de control de la température .

Un projet dans le but de concevoir un système de capteurs connectés capables de collecter des données en continu, intégrés dans des dispositifs leur permettant de capturer les données avec une précision élevée.

Une partie a été consacrée à l'architecture du système en question, ainsi que le matériel nécessaire pour aboutir à un prototype comme étape préliminaire.

# Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid

## Contents

Résumé .....	1
Table des matières.....	2
Table des figures .....	3
Introduction générale.....	4
1 <sup>ER</sup> CHAPITRE.....	5
1.1 Présentation du projet .....	5
1.1.1 Problématique.....	5
1.1.2 Objectif du projet.....	5
1.1.3 Solution.....	6
1.1.4 Cahier des charges.....	6
1.1.5 Planification.....	6
1.1.6 Méthodologie de travail .....	7
1.1.7 Conclusion.....	8
2 <sup>EME</sup> CHAPITRE .....	9
2.1 Conception .....	9
2.1.1 Modélisation .....	9
2.2 Architecture .....	11
2.2.1 Communication.....	12
2.3 Environnement du projet.....	13
2.3.1 Environnement Matériel .....	13
2.3.2 Environnement Logiciel.....	14
2.4 Conclusion.....	15
3 <sup>EME</sup> CHAPITRE .....	16
3.1 Réalisation.....	16
3.1.1 Technologies utilisées .....	16
3.1.2 Organigramme d'acquisition.....	17
3.1.3 Organigramme de control.....	17
3.2 Test de l'application.....	18
3.2.1 Stratégie de test.....	19
3.3 Conclusion.....	22



*Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle*  
*Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid*

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Ce projet a pour but de construire un prototype d'un système asservi. Ce système va contrôler la température dans le domaine d'agriculture. Dans un premier lieu je présente rapidement le contexte général du projet, les besoins qui m'ont incité à implémenter le sujet de ce projet ainsi on élabore le cahier de charge, La deuxième partie est consacrée à la présentation de la solution proposée à savoir la modélisation, la conception et la réalisation, enfin la dernière partie résume l'étape de test et de validation.

*Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle*  
*Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid*

---

## 1<sup>ER</sup> CHAPITRE

---

### CONTEXTE GÉNÉRAL DU PROJET

Ce chapitre donne un aperçu sur le contexte du projet d'évaluation en Soft embarqué, en présentant la problématique, la solution et le cahier des charges qui m'a été confié ainsi que la méthodologie du travail suivie.

#### 1.1 Présentation du projet

##### 1.1.1 Problématique

Les besoins d'une culture en eau, que l'agriculteur doit satisfaire pour assurer sa productivité, varient de façon complexe en fonction du sol où pousse la culture, et du climat auquel elle est exposée. Ces besoins sont liés par des interactions complexes, dues à leur interdépendance et à la notion de facteur limitant. La prévision des températures donne l'opportunité de connaître à temps les risques de gel et le mode d'intervention pour y remédier par aspersion, protéger les cultures ou au contraire prévoir une irrigation en cas de grande chaleur. Avec le couplage des trois paramètres : pluie, température et vent vous pouvez fixer le meilleur moment pour assurer le maximum d'efficacité de vos traitements.

##### 1.1.2 Objectif du projet

Ce projet a pour objectif de favoriser une production agricole de qualité, écologiquement viable et économiquement rentable, vis à vis des aléas climatiques.

Elle accorde une attention toute particulière à l'objectif suivant :

- ✓ Contribuer à la réduction de l'impact des aléas climatiques(température).

## Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid

### 1.1.3 Solution

Développer un système asservi en utilisant un réseau de capteurs capables de collecter des données, qui permet le control de la température en premier lieu d'une parcelle agriculture ceci en se basant sur l'architecture client-serveur où le client définit les seuils d'alarme et le serveur est responsable sur l'acquisition et le control des données au sein d'un serveur embarqué.

### 1.1.4 Cahier des charges

Ce projet consiste à développer un système qui répond aux spécifications suivantes :

- ✓ Développement d'une application Client-serveur [1]
- ✓ Le système permet l'acquisition périodique des données du climat.
- ✓ Stockage des données capturées dans une base de données.
- ✓ Développement d'une interface de supervision avec des fonctionnalités temps réel.
- ✓ Visualisation des données et de l'état du système par l'application Web.
- ✓ Le système envoie des alertes au superviseur au cas où les valeurs seuils sont dépassées.

### 1.1.5 Planification

La phase de planification permet de découper le projet en tâches, de décrire leur enchaînement dans le temps et d'affecter à chacune une durée.

Dans le cadre d'une bonne gestion du projet et du respect des délais des différentes étapes, j'ai établi un planning qui définit la date des différentes tâches et leurs statuts d'avancement pendant la réalisation du projet en utilisant le diagramme de GANTT, ce que représente la figure suivante :

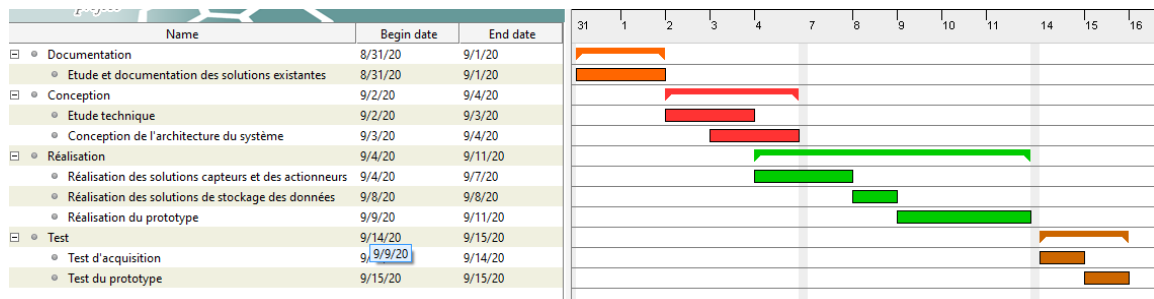


Figure 1: Diagramme de Gantt représentant l'organisation des tâches

Durant le développement de notre prototype, j'ai opté pour une méthodologie formulée en commençant par la documentation pour avoir une idée très claire sur l'environnement globale du projet, par la suite j'ai passé à l'étape de la conception afin d'élaborer la structure générale du système.

Dans la partie réalisation je m'est intéressée à coder et à programmer les

*Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle*  
*Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid*

fonctionnalités définies dans la phase de conception.

Finalement, la partie test, cette étape permet de tester le logiciel conformément aux spécifications ( fonctionnelle et non fonctionnelle).

### 1.1.6 Méthodologie de travail

#### 1.1.6.1 Le cycle de développement en V

Un cycle de vie de développement logiciel, appelé aussi processus de développement logiciel (Software Development Life Cycle (SDLC)). Il consiste à concevoir un plan détaillé décrivant les phases distinctes et contenant les déférentes activités dans le but d'une meilleure gestion de la planification. Ainsi, il représente la vision à long terme du logiciel en tant que produit, depuis la planification initiale jusqu'à la maintenance et la retraite éventuelle de la demande dûment remplie . Grâce à cette planification, les organisations ainsi que les sociétés opérantes dans le domaine du logiciel et surtout logiciel embarqué cherchent à produire rapidement et efficacement des logiciels de haute qualité. Il existe différents modèles de cycle de vie définis et conçus qui sont suivis pendant le processus de développement logiciel. Chaque modèle de processus suit une série d'étapes uniques à son type pour assurer le succès dans le processus de développement logiciel. Voici les modèles SDLC les plus populaires suivis dans l'industrie :

- ✓ Cycle en Cascade (Waterfall Model).
- ✓ Cycle itératif (Iterative Model).
- ✓ Cycle spiral (Spiral Model).
- ✓ Cycle en V (V-Model).

Issu du monde de l'industrie, le cycle en V est devenu un standard de l'industrie du logiciel depuis les années 1980. Depuis, avec l'apparition de l'ingénierie des systèmes, c'est devenu un standard conceptuel dans de nombreux domaines de l'Industrie. Le cycle en V est une illustration des relations entre chaque phase du cycle de vie du développement et la phase de test qui lui est associée.



*Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle*  
*Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid*

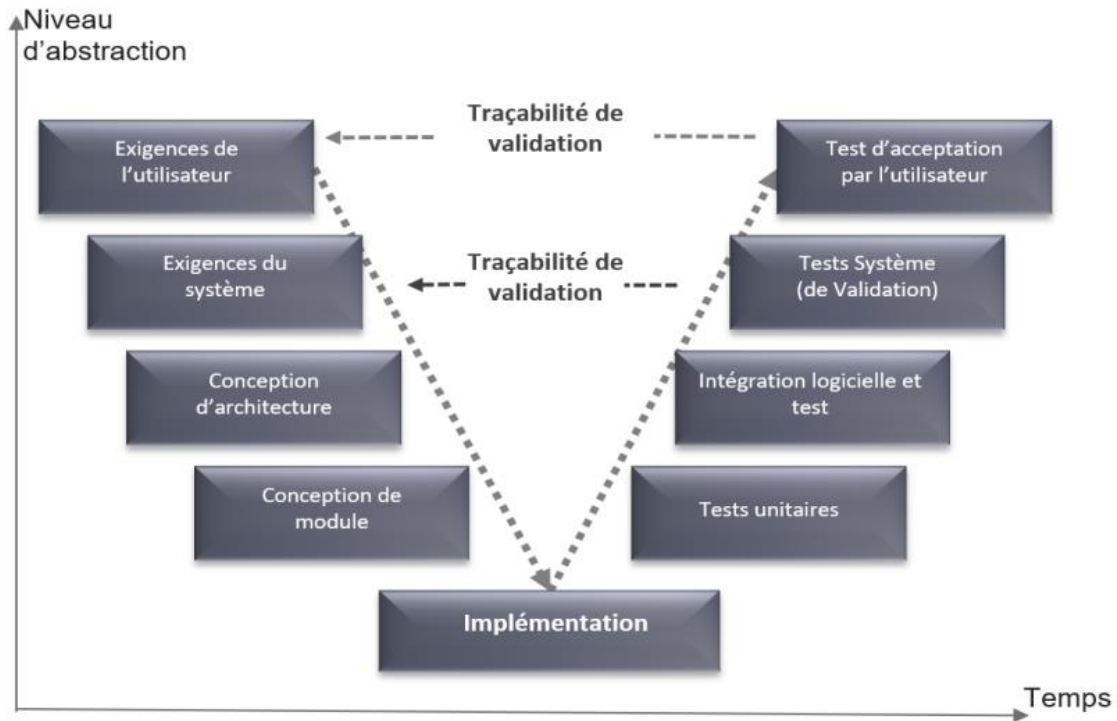


Figure 2: Le développement de cycle en V

### 1.1.7 Conclusion

Au cours de ce premier chapitre introductif, il était question de présenter le contexte général du projet, à savoir la description du cadre du projet, l'intérêt du projet, l'élaboration de la problématique principale et l'objectif du stage et enfin le déroulement et la planification des tâches.

*Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle*  
*Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid*

## 2<sup>EME</sup> CHAPITRE

# CONCEPTION ET MODELISATION DU PROJET

Le deuxième chapitre présente les méthodes de conception et de modélisation utilisées tout au long du projet, il présente aussi l'architecture globale du système avec l'environnement matériel et logiciel.

## 2.1 Conception

Pour chaque projet, l'étape de la conception s'avère la plus importante et la plus délicate. Dans ce système cette phase a permis de déterminer l'architecture globale du système ainsi que les communications entre les différents éléments.

### 2.1.1 Modélisation

Pour réaliser un projet d'une grandeur pareille, il est nécessaire de réaliser des diagrammes permettant de modéliser la totalité du système. J'ai choisi 2 diagrammes pour présenter mon travail :

#### 2.1.1.1 Diagramme de cas d'utilisation

Ce diagramme on l'utilise pour donner une vision globale du comportement fonctionnel d'un système logiciel. Il est utile pour des présentations auprès de la direction ou des acteurs d'un projet, mais pour le développement, les cas d'utilisation sont plus appropriés. Un cas d'utilisation représente une unité discrète d'interaction entre un utilisateur et un système. Il est une unité significative de travail. Dans un diagramme de cas d'utilisation, les utilisateurs sont appelés acteurs, ils interagissent avec les cas d'utilisation.

J'ai essayé d'implémenter tous les organigrammes en utilisant lucidchart [2].

La figure suivante illustre ce diagramme en détail

*Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle*  
*Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid*

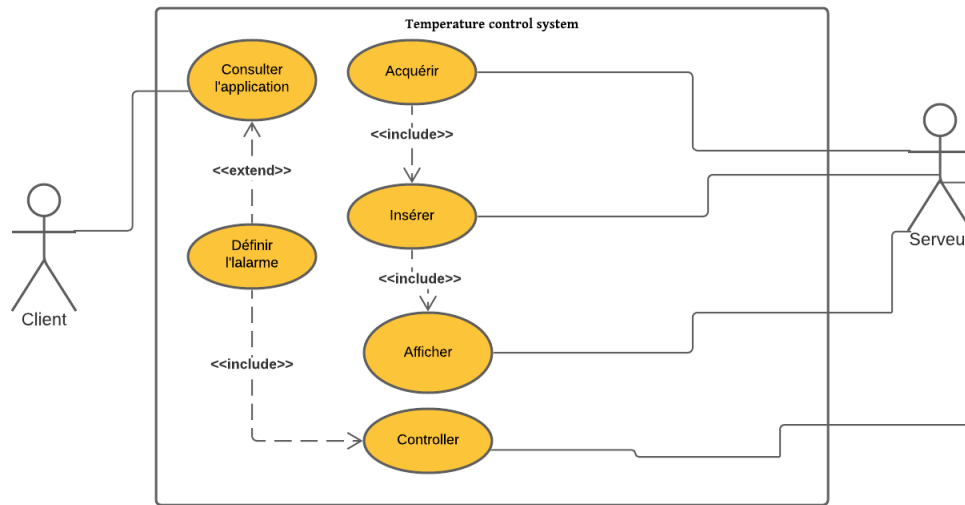


Figure 3: Diagramme de cas d'utilisation

### 2.1.1.2 Diagramme de séquence

Dans ce diagramme on s'aperçoit des communications réalisées par notre serveur principal, ce dernier interagit principalement avec les capteurs et la base de données locale, le serveur interroge les capteurs, reçoit les valeurs, les traite et les envoie à la base de données.

La figure suivante illustre les interactions citées plus en détail

## Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid

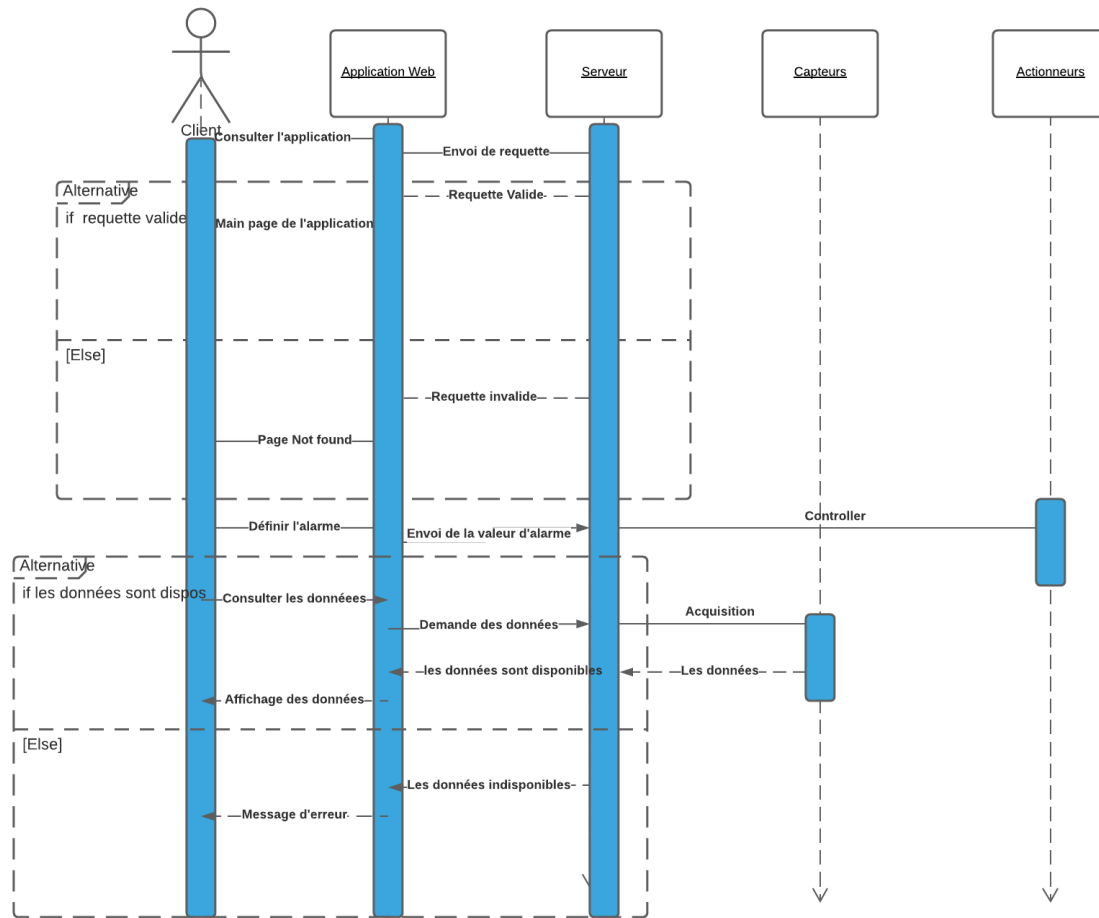


Figure 4: Diagramme de séquence

## 2.2 Architecture

Pour réaliser un tel système, on doit déterminer l'architecture globale, cette dernière doit contenir les différents composants en interaction avec notre système ainsi que les communications entre ces différents composants.

Notre système se compose d'un ordinateur principal, qui est dans notre cas la raspberry pi3. Ce ordinateur communique avec les composants du système à travers des protocoles de communication tel que I2C, UART, PWM et HTTP.

Le système est décomposé en 4 parties, la première partie est celle qui contient les différents capteurs est qui est responsable de l'acquisition des données. La deuxième partie est la partie serveur embarqué qui est responsable sur les traitements réalisés par le système. La troisième partie est celle de la base de données qui stocke les différentes acquisitions traitées par le serveur la quatrième et dernière est celle des actionneurs qui vont appliquer les actions

## Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid

venantes de la part du serveur .

le schéma ci-après illustre l'architecture globale du système.

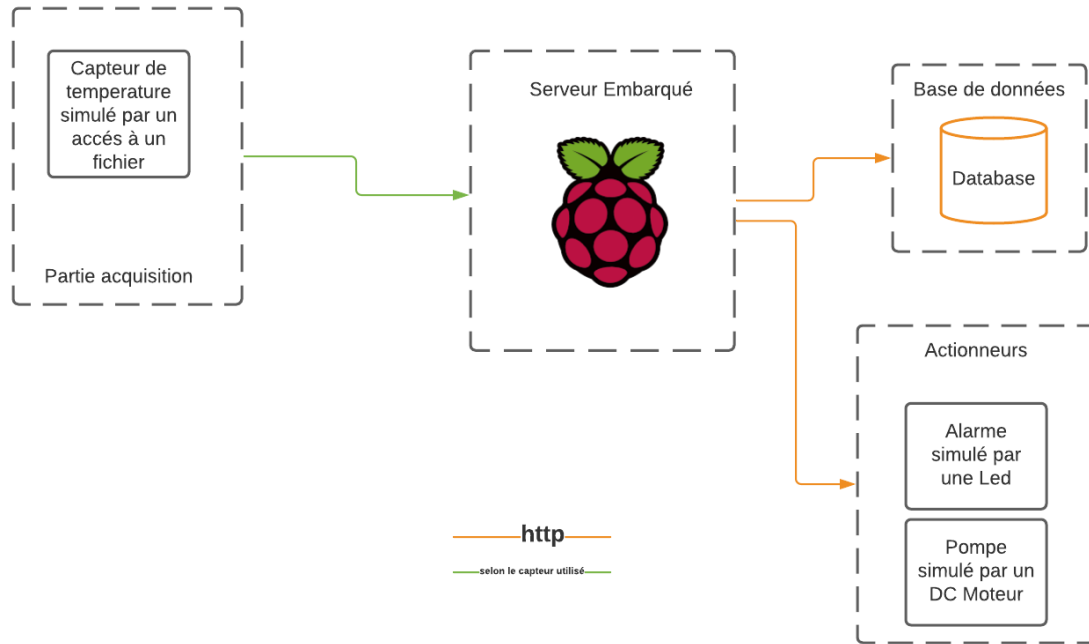


Figure 5: Architecture du système

## 2.2.1 Communication

Dans chaque projet la communication entre les différents composants s'avère la tâche la plus délicate en terme de répartition des ressources et de réponse en temps réel.

Dans notre cas j'ai opté à utiliser des protocoles dédiés au communication pour les systèmes embarqués

### 2.2.1.1 Http

Hypertext Transfer Protocol[3], protocole de la couche application, c'est la fondation des communications de données sur le web. Créé en 1989, puis standardisé par l'IEE et le W3C en 1997, le http a permis de communiquer les données à travers internet de façon fluide. Fonctionnant sous le principe de requête/réponse dans le modèle client/serveur, ce protocole bénéficie de la force et la fiabilité du protocole TCP. Les requêtes HTTP sont généralement divisés en 3 méthodes principales : PUT, POST, GET.

Pour ce système, le protocole http permet l'envoi et la réception des données entre le la partie web et le serveur embarqué

## *Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle* *Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid*

### *2.2.1.2 Protocole utilisé en acquisition*

Pour cette partie normalement on va utiliser l'un des protocoles pour l'acquisition des données de la température et les envoyer au serveur, selon le capteur qu'on a choisi, on peut utiliser le Protocol 1-wire ou bien I2C. Pour ce projet je n'ai pas ces capteurs donc j'ai essayé de simuler cette partie par des accès à un fichier.

## 2.3 Environnement du projet

### 2.3.1 Environnement Matériel

Une fois l'architecture globale décidée, ainsi que l'étude climatologique réalisée, le choix des différents composants s'avère plus facile

#### *2.3.1.1 Serveur embarqué*

Le cœur de chaque système embarqué est le calculateur qui gère la totalité du système et qui orchestre les communications du système.

Le calculateur embarqué doit respecter les contraintes de coup et de fiabilité.

Parmi les choix les plus présents dans le marché : la raspberry pi[4], qui est un nano ordinateur possédant plusieurs entrées/sorties, avec un processeur Broadcom BCM2837 64 bit à quatre cœurs ARM Cortex-A53 à 1,2 GHZ.

La raspberry pi permet de connecter plusieurs esclaves I2C et permet d'accéder aux données acquises par communication série grâce au port USB.

Le système d'exploitation de la raspberry permet d'installer une base de données capable de gérer les différentes acquisitions faites par les capteurs.

#### *2.3.1.2 Capteurs*

Dans notre projet la tâche la plus critique était de choisir les capteurs adéquats à notre besoin en terme de seuils et en terme de performance

Capteur de la température

Ce capteur est simulé par des accès à un fichier texte dont lequel on génère des valeurs aléatoires de la température.

#### *2.3.1.3 Actionneurs*

Les actionneurs dans notre cas sont les éléments qui vont assurer l'asservissement du système.

Alarme

Cette alarme est simulée par une Led qui s'allume chaque fois la température passe le seuil.

Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle  
Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid

## Moteur

Ce moteur a pour rôle d'ouvrir une pompe où la fermer selon la situation.

### 2.3.2 Environnement Logiciel

### 2.3.2.1 Architecture Linux

Ce système opère sous une architecture linux [5] classique, le système d'exploitation choisi est le raspbian. C'est un système qui nous permet de supporter plusieurs langages grâce à l'abondance des sources des librairies et bibliothèques. le système d'exploitation représente la couche d'orchestration qui permet aux différentes applications de s'exécuter. La figure suivante illustre les différentes couches de l'architecture Linux.

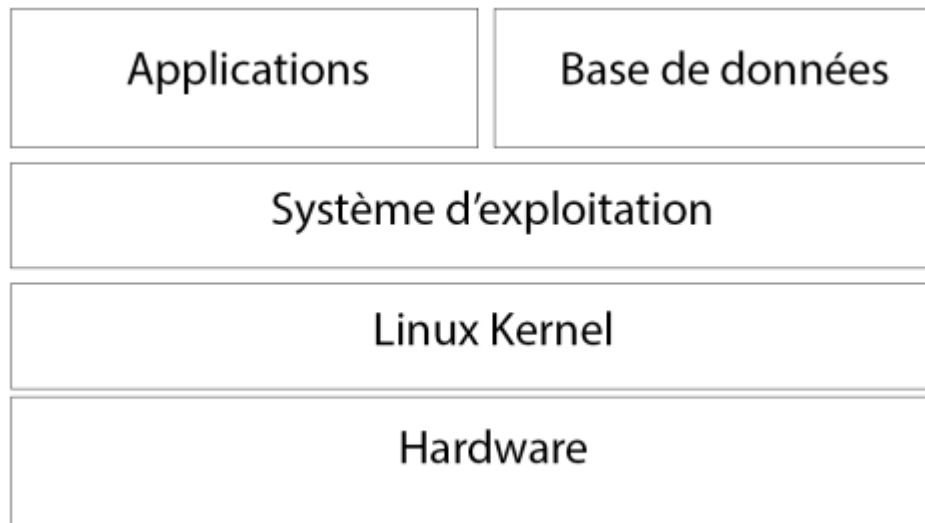


Figure 6:Architecture Linux

### 2.3.2.2 SQLite

SQLite écrite en langage C qui propose un moteur de base de données relationnelle accessible par le langage SQL.

SQLite est une bibliothèque de logiciels qui implémente un moteur de base de données SQL transactionnel autonome, sans serveur, sans configuration. SQLite est le moteur de base de données SQL le plus largement déployé au monde. Le code source de SQLite est dans le domaine public.

### 2.3.2.3 PHP

HyperText Préprocesseur, plus connu sous son sigle PHP, est principalement utilisé pour produire des pages Web dynamiques via un serveur HTTP, mais

## *Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle* *Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid*

pouvant également fonctionner comme n'importe quel langage interprété de façon locale. PHP est un langage impératif orienté objet. PHP a permis de créer un grand nombre de sites web célèbres, comme Facebook et Wikipédia<sup>19</sup> Il est considéré comme une des bases de la création de sites web dits dynamiques mais également des applications web.

### *2.3.2.4 Langage C*

C est un langage de programmation impératif généraliste, de bas niveau. Inventé au début des années 1970 pour réécrire UNIX, C'est devenu un des langages les plus utilisés, encore de nos jours. De nombreux langages plus modernes comme C++, C#, Java et PHP ou JavaScript ont repris une syntaxe similaire au C et reprennent en partie sa logique. C offre au développeur une marge de contrôle importante sur la machine notamment sur la gestion de la mémoire ...

### *2.3.2.5 Python*

est un langage de programmation interprété, multi-paradigme et multiplateformes. Il favorise la programmation impérative structurée, fonctionnelle et orientée objet. Il est doté d'un typage dynamique fort, d'une gestion automatique de la mémoire par ramasse-miettes et d'un système de gestion d'exceptions.

## **2.4 Conclusion**

Ce chapitre a fait l'objet d'une présentation de l'environnement technique du projet. Le chapitre suivant décrit la phase de réalisation de notre système .



Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle  
Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid

### 3 EME CHAPITRE

## REALISATION ET TEST DU PROJET

Le troisième chapitre présente la phase de la réalisation de notre projet ainsi la phase de test et validation du projet afin de déterminer les différentes limites du système.

### 3.1 Réalisation

Le système est constitué d'une plate-forme embarquée capable de recevoir les données en provenance des capteurs puis les traiter et les stocker dans une base de données puis les afficher dans une interface Web et de contrôler les différents actionneurs .

#### 3.1.1 Technologies utilisées

La figure suivante illustre les technologies utilisées ainsi que les langages dans la réalisation de ce projet

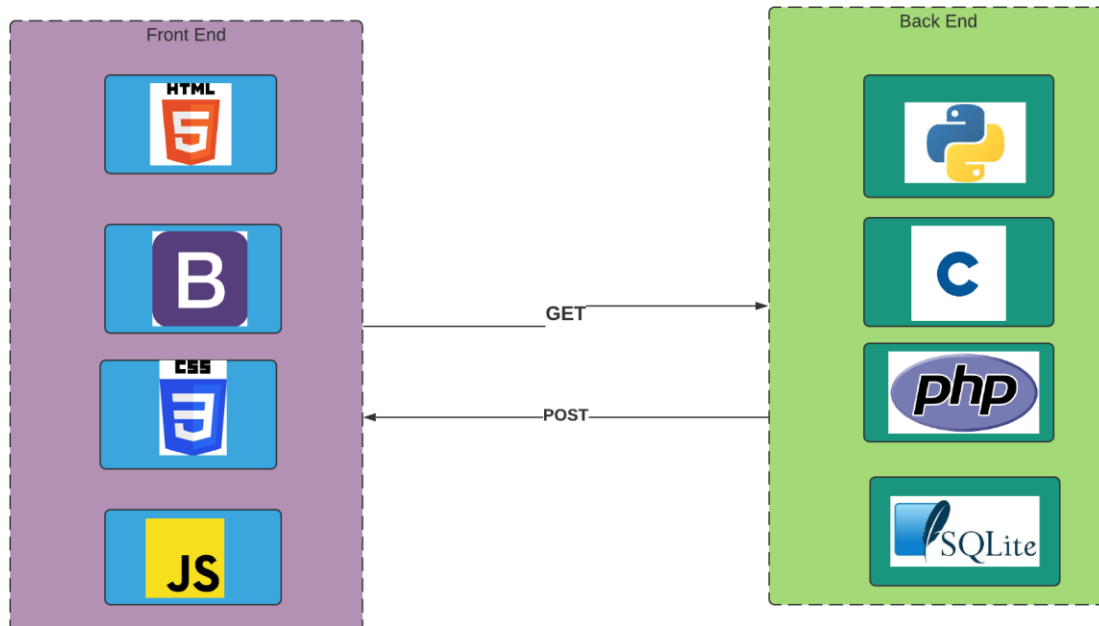


Figure 7: Technologies et langages utilisées

*Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle*  
*Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid*

### 3.1.2 Organigramme d'acquisition

La figure suivante illustre le flux d'acquisition de la température

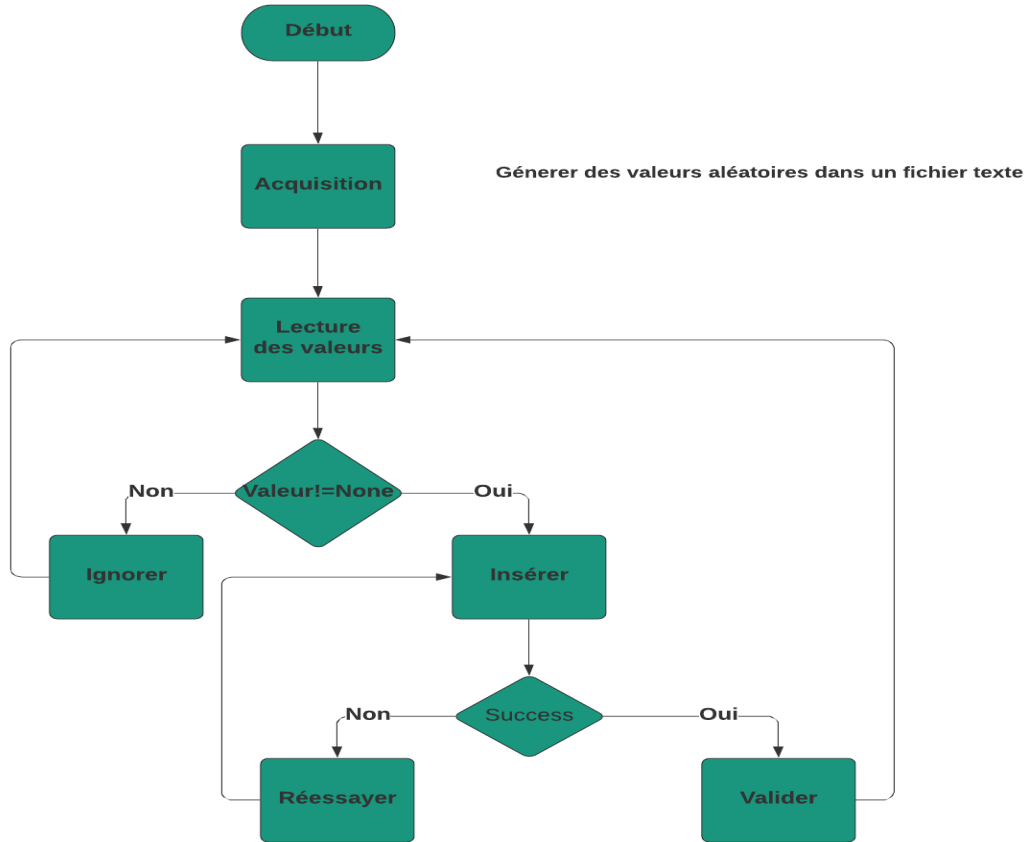


Figure 8: Organigramme d'acquisition

### 3.1.3 Organigramme de control

La figure suivante montre le processus de control du projet

## Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid

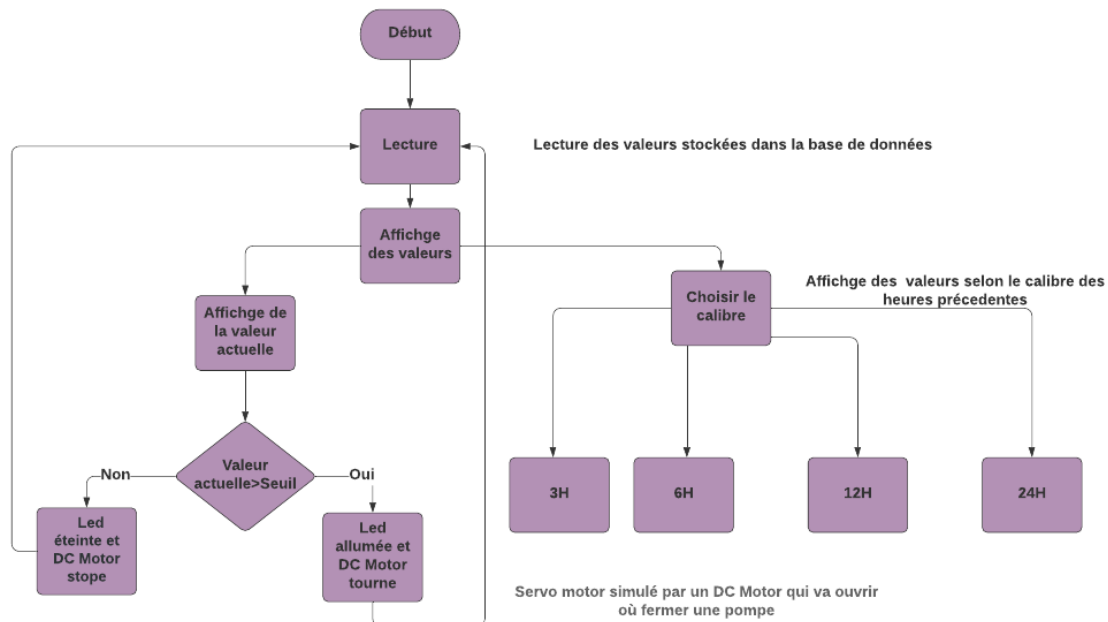


Figure 9: Organigramme de control

### 3.2 Test de l'application

Pour tester le fonctionnement de notre application on ajoute dans le crontab les commandes nécessaires pour la génération périodique des valeurs dans le fichier texte conçu pour la simulation du capteur de la température ainsi que l'insertion de ces valeurs dans la base de données.

La figure suivante illustre le lancement de l'application

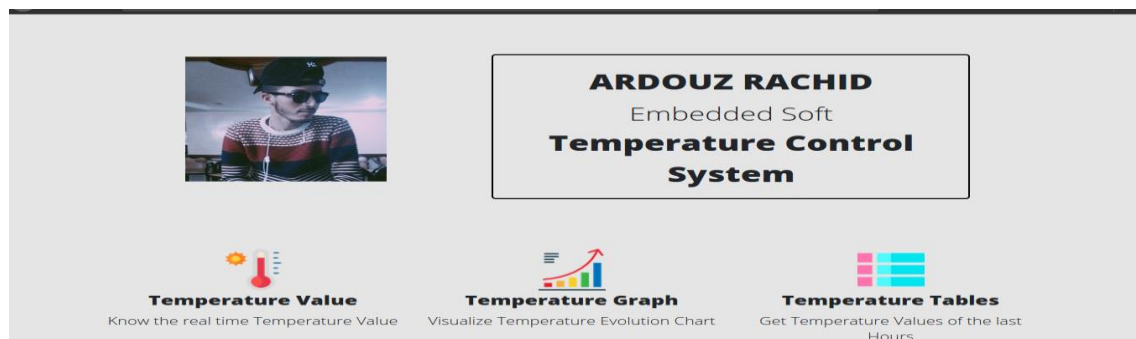


Figure 10: L'interface IHM

*Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle*  
*Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid*

La figure suivante illustre l'affichage de la valeur instantanée de la température

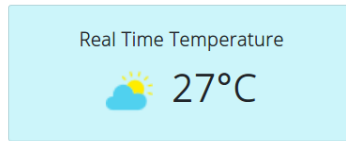


Figure 11: Affichage de la valeur instantanée de la température

### 3.2.1 Stratégie de test

Dans chaque projet embarqué le test est une tâche prépondérante. Dans la méthodologie utilisée cette phase occupe la dernière étape et elle est liée aux spécifications fixées au début du projet.

#### Cas de test 1

---

Préconditions d'exécution :  
raspberry alimenté et en marche

multimètre en marche

valeurs de test

**pins 5V**

**pins 3.3V**

résultat attendu

**pins 5V  $\approx$  5V**

**pins 3.3V  $\approx$  3.3V**

Résultat du test des pins d'alimentation

Pour le cas du test des pins d'alimentation (5V et 3.3V), le multimètre retourne des valeurs comme attendu, ce qui indique que les sorties d'alimentations sont opérationnelles

Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle  
Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid  
Cas de test 2

Préconditions d'exécution :  
Raspberry alimenté et en marche  
valeurs de test  
Température=26  
Seuil d'alarme=27  
résultat attendu  
Température=26  
Alarme off Led éteinte DC Motor stope

Résultat du test

La figure suivante illustre le résultat de ce test

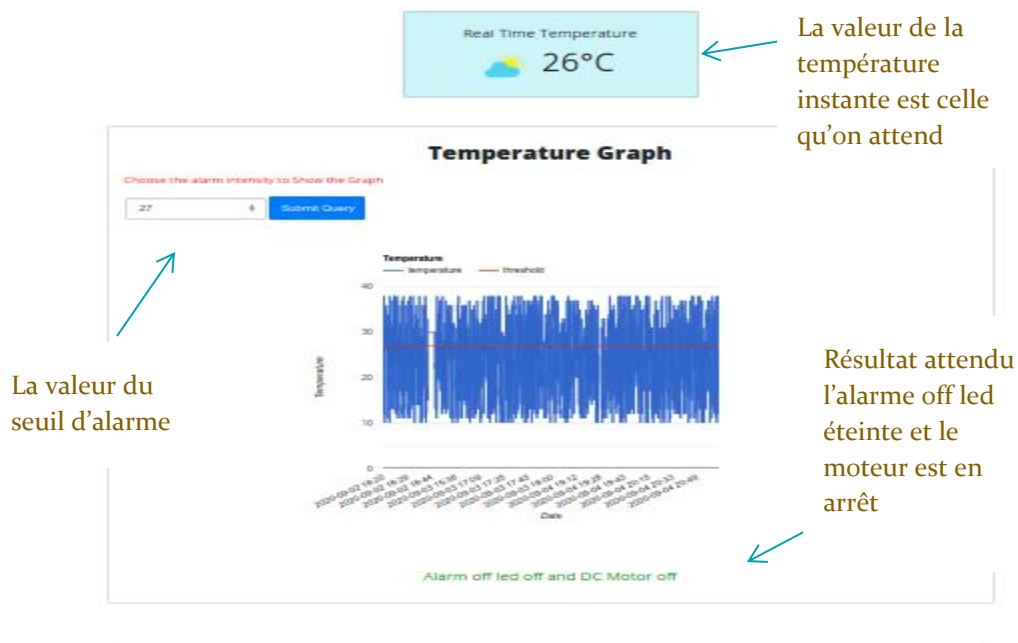


Figure 12:Résultat du test 2

*Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle*  
*Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid*  
**Cas de test 3**

Préconditions d'exécution :  
Raspberry alimenté et en marche  
valeurs de test

Température=20

Seuil d'alarme=15

résultat attendu

Température=20

Alarme on Led allumée DC Motor tourne

Résultat du test

La figure suivante illustre le résultat de ce test

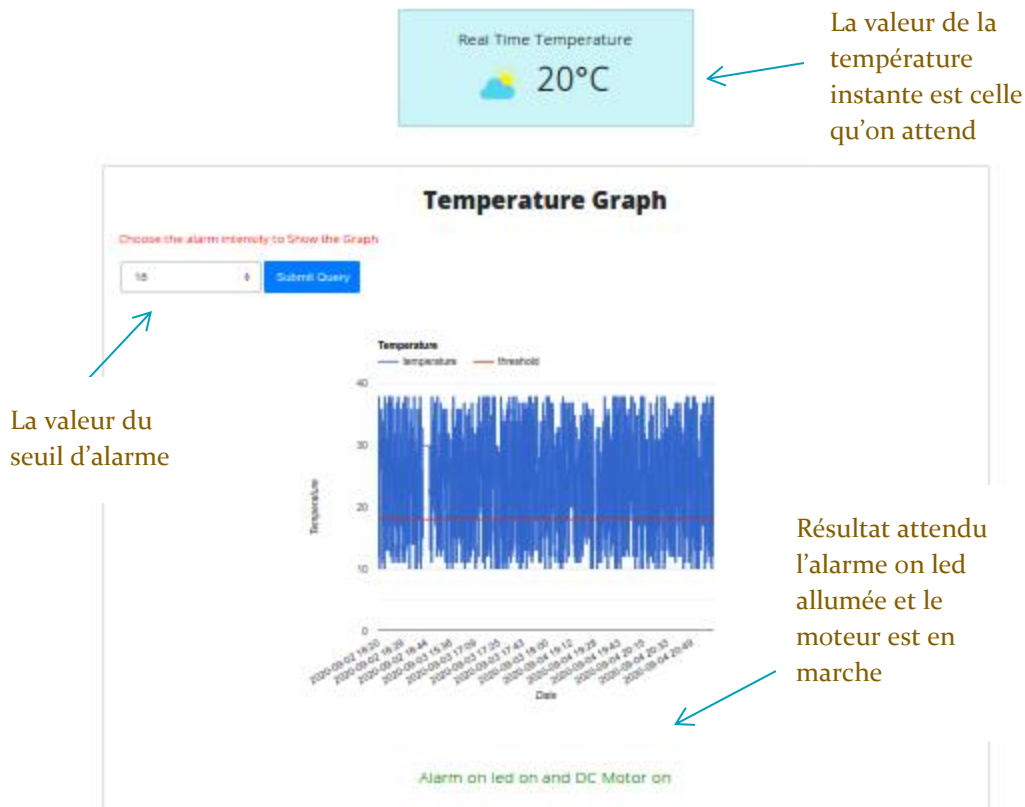


Figure 13: Résultat du test 3

*Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle*  
*Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid*

### 3.3 Conclusion

Dans ce chapitre on a illustré les différents étapes et scénarios envisagés pour tester le système, ainsi que les phases de la réalisation.

*Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle*  
*Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid*

## CONCLUSION GENERALE

Ce projet avait comme but de concevoir un système asservi de control de la température, ce système est capable de collecter les données et de commander les actionneurs selon l'état du seuil d'alarme, en se basant sur l'architecture Client-serveur.

J'ai opté durant la conception et dimensionnement de la solution de suivre le cycle de vie méthodologique de la conception jusqu'au test de l'application.



*Génie des Systèmes Embarqués et Informatique Industrielle*  
*Rapport Rédigé par ARDOUZ Rachid*

## References

- [1] : <https://stph.scenari-community.org/bdd/lap2prs/co/webUC002archi.html?mode=html>
- [2] : <https://app.lucidchart.com/>
- [3] : <https://www.geeksforgeeks.org/http-full-form/>
- [4] : The raspberry project team. raspberry pi 3, 2019
- [5] : Pierre Ficheux. Linux embarqué : Mise en place et développement. November 2016