

Cahier des Charges : Projet PISTE

Résumé :

Ce document décrit les fonctionnalités et les exigences demandées pour la réalisation du **PROJET "Conception d'une application IoT basée sur les réseaux de capteurs sans fil pour l'acquisition et le contrôle de données agro-environnementales"**. Le travail demandé rentre dans le cadre du projet PISTE de la dominante SYSTEL. Il s'agit d'un projet d'intégration où les étudiants utiliseront leurs connaissances dans les divers domaines des télécommunications pour réaliser une application concrète. Dans ce **PROJET**, on s'intéresse à réaliser un système de contrôle distant de paramètres environnementaux permettant de mieux réguler le procédé de l'irrigation agricole.

Equipe d'enseignants : Leïla Najjar, Leila Nasraoui, Maymouna Ben Saïd, Riadh Abdelfattah, Zakia Jellali.

1 Cadre du projet

Ce projet est une partie intégrante du projet PISTE dispensé aux étudiants INDP2 de la dominante SYSTEL. L'objectif principal est de développer l'initiative de l'étudiant et de lui donner l'opportunité d'améliorer son autonomie et son aptitude du travail en groupe. Le projet reflète les défis auxquels feront face les futurs diplômés. En effet, les étudiants doivent faire preuve d'un grand niveau d'autonomie et de professionnalisme lors de la conception de la solution demandée.

2 L'application et son intérêt

Ce projet vise à proposer et à développer une solution de supervision et de contrôle à distance d'infrastructures agricoles. L'avantage escompté est celui de minimiser les déplacements inutiles des agriculteurs et de planifier des procédés optimisés pour l'irrigation. Cela permettra d'une part un meilleur usage des ressources hydriques devenues rares, en minimisant le gaspillage de l'eau. Cela permettra d'autre part l'obtention d'une meilleure qualité des récoltes.

Il s'agit de concevoir et de développer une application IoT basée sur les réseaux de capteurs sans fil pour l'acquisition et le contrôle des données agro-environnementales.

Cette application permet la collecte des informations relatives à l'état du milieu agricole et plus précisément concernant l'humidité du sol ainsi que la luminosité et la température et ce au moyen de capteurs sans fil déployés dans la zone agricole à contrôler. Le système prévu envoie les mesures effectuées à une plateforme cloud IoT ou vers un serveur local. Les mesures rendues accessibles à distance, sont exploitées pour le suivi en temps réel et le contrôle de l'état du sol ainsi que des

paramètres environnementaux. L'analyse des données issues des capteurs permet une gestion distante de l'irrigation.

3 Problématique du projet

La solution que les étudiants doivent réaliser peut être décomposée en plusieurs éléments fonctionnels comme illustré sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**. Les élèves ingénieurs sont amenés à réaliser une solution de bout en bout qui commence par l'étude, la réalisation et la validation de cinq sous-projets effectués en binômes. L'intégration de l'ensemble des travaux devrait permettre la validation de la solution globale.

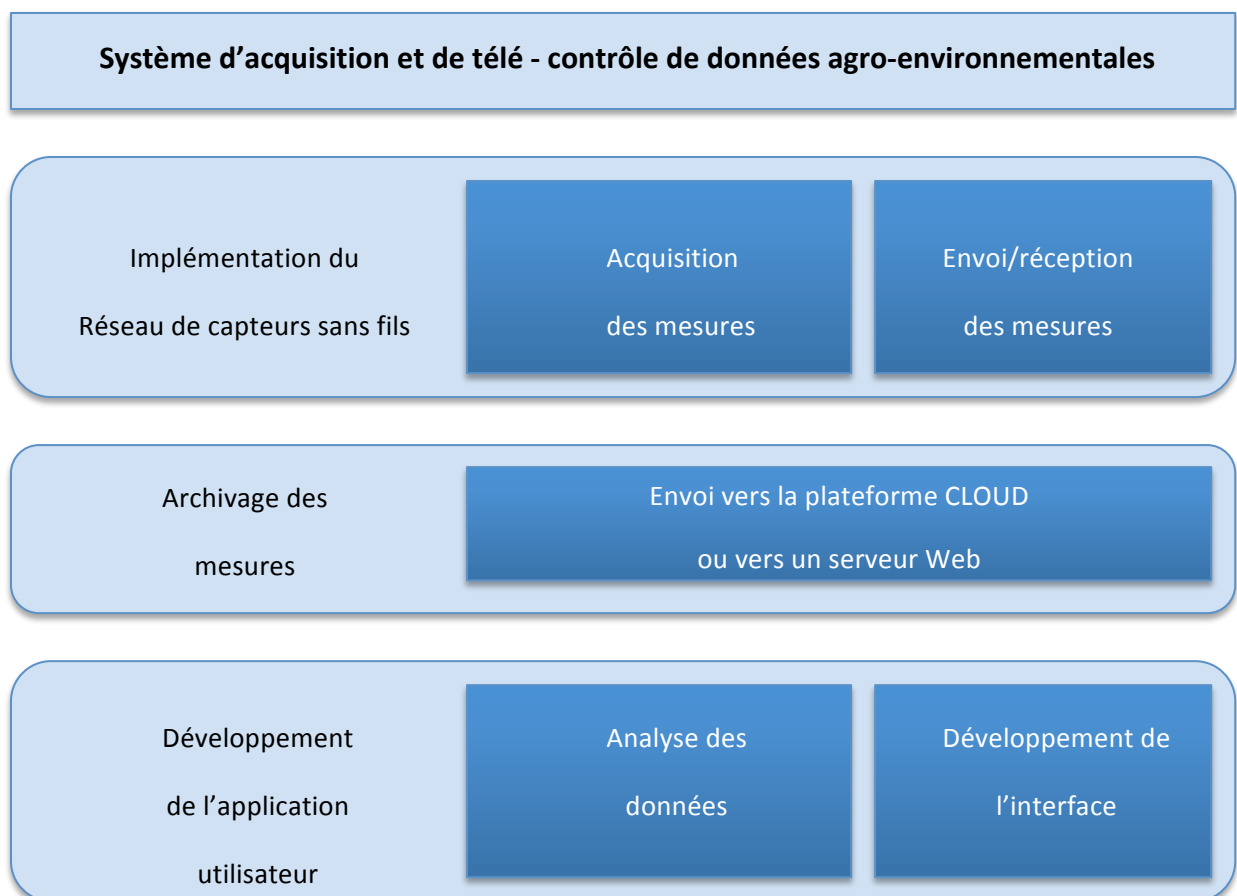


Fig. 1. Architecture de la solution à réaliser

4 Exigences fonctionnelles

La validation de la solution proposée se fait sur la base des fonctionnalités suivantes :

1. Mesure des paramètres environnementaux à partir des divers capteurs,
2. Transmission des mesures vers un nœud collecteur (sink),
3. Rapatriement des mesures pour archivage sur une plateforme cloud ou sur un serveur Web,
4. Analyse des données,
5. Affichage des mesures et de résultats d'analyse sur une interface utilisateur.

5 Contraintes sur le projet

5.1 Contraintes non-négociables

Le projet ne peut être validé que si la solution de bout en bout est présentée et validée devant un jury.

5.2 Contraintes sur la solution

La solution doit être basée sur le déploiement d'un réseau de capteurs sans fil dont les nœuds sont des modules Zolertia auxquels les capteurs de données physiques sont directement connectés. Le réseau de capteurs sans fil véhicule l'ensemble des mesures vers un nœud collecteur sink lequel est connecté à une passerelle ou gateway de type carte Raspberry Pi. C'est le gateway qui transmet les données du sink sur la plateforme IoT sur laquelle l'interface utilisateur est développée. Cette interface donne accès aux données mesurées et aux résultats d'analyse de ces données.

5.3 Environnement de fonctionnement

L'architecture fonctionnelle du système adopté est donnée par la Figure 2.

Le système comprend

- Un réseau de modules sans fil qui formeront la plateforme de développement cible (capables d'interpréter l'OS Contiki). Ces nœuds sont directement reliés aux capteurs physiques servant à l'acquisition des mesures des données agro-environnementales (humidité, luminosité et température).
Les modules utilisés sont les capteurs sans fil Zolertia z1 et sont reliés à des capteurs externes installés au niveau du milieu physique (sol, air).
- Un nœud sink Zolertia (z1) pour la collecte des mesures envoyées par les nœuds z1 capteurs.
- Une carte passerelle, ou Gateway, qui permet de relayer les mesures vers le réseau Internet. Le Gateway adopté est une carte Raspberry Pi 2 ou 3.

La partie analyse des données se fera sur l'outil Matlab et pourra être transposée par la suite pour se faire par cloud computing sur les données récupérées au niveau de la plateforme IoT.

La partie affichage devrait se faire à travers une interface à développer sur la plateforme cloud.

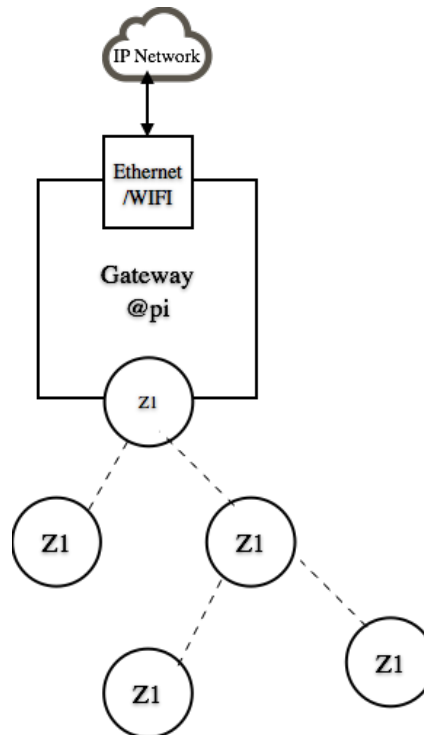


Fig. 2. Architecture du système

5.4 Durée du projet

Le projet s'étale sur 14 semaines du deuxième semestre de la deuxième année de formation.

Le travail envisagé est réparti en cinq sous-projets, tel que décrit dans la Figure 1. L'intégration des travaux issus des différents sous-projets, prévue à partir de la semaine 11, devrait permettre la validation de la solution globale. Les sections suivantes décrivent les travaux relatifs aux différents sous-projets.

6 Exigences détaillées de la partie 1

6.1 Plateforme matérielle

Capteurs pour la mesure de l'humidité du sol, la luminosité et la température. Modules Zolertia z1.

6.2 Plateforme logicielle

Pour les nœuds Zolertia, la plateforme de travail est le Contiki qui est un système d'exploitation à base de Linux. La programmation des nœuds est en langage C.

6.3 Travail demandé

Acquisition des mesures : cette phase consiste à programmer les nœuds z1 pour la lecture des mesures depuis les capteurs externes connectés à ses ports.

Cette étape d'acquisition utilise deux composantes

- le capteur qui est chargé d'intercepter les données du monde physique (température, humidité, luminosité) et de les transformer en signaux analogiques,
- le module Zolertia qui assure en premier lieu la conversion de ces signaux analogiques en données numériques (Analog to Digital Converter, ADC) compréhensibles par l'unité de traitement.

Les données captées et traitées sont ensuite envoyées vers l'unité de transmission qui est chargée d'exécuter les protocoles de communication basés sur les technologies de communication sans fil à faible portée.

7 Exigences détaillées de la partie 2

7.1 Plateforme matérielle

Modules Zolertia z1.

7.2 Plateforme logicielle

La plateforme de travail est le Contiki qui est un système d'exploitation à base de Linux. La programmation des nœuds est en langage C.

7.3 Travail demandé

Envoi et réception des mesures : Les nœuds Zolertia z1 peuvent jouer le rôle de capteurs, directement reliés aux éléments de mesure des paramètres physiques, ou le rôle de nœud sink, qui collecte les lectures des nœuds capteurs et les transmet vers le gateway (ici la carte Raspberry Pi). Le gateway a pour mission de faire transiter les mesures à travers la couche réseau vers l'emplacement prévu pour les traitements.

L'objectif de cette partie est l'implémentation d'un réseau entre le nœud capteur (z1) et le nœud sink (z1) pour assurer la transmission et la réception des données. Cette phase nécessite la mise en place d'un protocole de communication entre les deux entités pour que la nature (humidité / luminosité / température) et la source (adresse nœud / localisation) de la mesure reçue soient identifiées correctement. Le succès de cette phase est primordial pour l'étape qui suivra et qui consiste au relaiage des mesures jusqu'à la plateforme IoT.

Remarque : Il est à noter que les parties 1 et 2 (relatives aux sections 6 et 7 ci-dessus) seront réalisées, chacune, selon trois scénarios successifs:

- a) Scénario1 : réseau élémentaire comprenant un seul nœud capteur.
- b) Scénario2 : extension de l'étude pour implémenter un réseau de capteurs sans fil RCSF composé par plusieurs capteurs sur une étendue réduite à la portée des nœuds (communications à un saut unique ou one hop). Dans ce schéma, chaque nœud communique avec le nœud sink sans relayer les lectures à travers des nœuds intermédiaires.
- c) Scénario3 : étude du contexte sans fil multi-sauts sur une étendue spatiale plus large. Ce scénario permet de couvrir des surfaces supérieures à la portée du nœud. Il remédie également aux cas éventuels de nœuds défaillants.

8 Exigences détaillées de la partie 3

8.1 Plateforme matérielle

Carte Raspberry Pi (2 ou 3).

8.2 Plateforme logicielle

La plateforme est le Raspbian qui est un système d'exploitation à base de Linux. La programmation de la carte Raspberry Pi est en langage Python.

8.3 Travail demandé

Envoi des mesures à la plateforme cloud : L'objectif de ce traitement est d'utiliser une plateforme IoT sur le cloud et ainsi de pouvoir étendre les mesures issues des différents nœuds z1 capteurs formant le réseau de capteurs sans fil local à Internet, les rendant ainsi accessible à distance. Cette phase consiste à l'envoi de ces mesures sur Internet.

Les données sont lues depuis la passerelle ou le gateway, directement connecté au sink. La carte Raspberry Pi utilisée comme gateway est reliée au sink sur le port USB. Elle envoie par la suite les lectures à la plateforme IoT. Selon le type de la carte Raspberry Pi (2 ou 3), cette transmission peut utiliser une connexion Ethernet (filaire) ou une transmission sans fil de type WiFi.

Un traitement local est possible avant l'envoi des données et ce selon la définition des besoins spécifiques de l'application.

9 Exigences détaillées de la partie 4

9.1 Plateforme matérielle

Carte Raspberry Pi ou ordinateur.

9.2 Plateforme logicielle

Le développement se fera sur le progiciel MATLAB. Une adaptation permettant de tirer profit des potentiels de traitements sur cloud (cloud computing) sera envisagée.

9.3 Travail demandé

Conception de l'application utilisateur : Analyse des données: cette étape correspond à l'exploitation des mesures des capteurs sans fil et ce en établissant des analyses et des statistiques par application de règles d'inférence sur les mesures. Celles-ci devront aider à une gestion optimisée de l'irrigation.

L'objectif de cette partie est d'implémenter et de valider l'algorithme de logique floue pour une irrigation intelligente qui optimise la dépense de l'eau. Il s'agit à partir de la fusion des données de température, de radiation solaire et de l'humidité d'établir le volume d'eau nécessaire à l'irrigation ainsi que la durée et le débit nécessaires.

En première phase, on simulera des données (trois fichiers des données) de ces trois paramètres qu'on exploitera pour le test de l'algorithme qui sera implémenté sous Matlab. Plus des détails sur l'algorithme sont disponible dans les références suivantes (Villarrubia et al. 2017) et (Touati et al., 2013).

En deuxième phase, les données générées à partir de la partie trois (après calibration) seront scrutées directement en temps réel et l'algorithme sera adapté pour ce mode de fonctionnement.

En plus de ce livrable (l'algorithme de logique floue adapté pour l'irrigation intelligente) il faudra illustrer par des courbes l'évolution en temps réel de la variation de plusieurs paramètres (durée d'irrigation, température, radiation, humidité).

Références :

- [Touati, F.; Al-Hitmi, M.; Benhmed, K.; Tabish, R., 2013], « A fuzzy logic based irrigation system enhanced with wireless data logging applied to the state of Qatar ». *Comput. Electron. Agric.* **2013**, 98, 233–241.
- [Gabriel Villarrubia, Juan F. De Paz, Daniel Hernández de La Iglesia, Javier Bajo, 2017], “Combining Multi-Agent Systems and Wireless Sensor Networks for Monitoring Crop Irrigation ». *Sensors* 17(8): 1775 (2017).

10 Exigences détaillées de la partie 5

10.1 Plateforme matérielle

Carte Raspberry pi.

10.2 Plateforme logicielle

Le développement se fera en : Python, PHP, MySQL pour la configuration des bases de données Django pour la création des applications web.

10.3 Travail demandé

Conception de l'application utilisateur : Affichage : Cette étape consiste à l'établissement de l'interface utilisateur (dashboard) au niveau de la plateforme cloud. Cette interface affiche d'une part les mesures effectuées selon une fréquence bien choisie, elle affiche aussi des résultats de l'analyse et des statistiques effectuées sur ces données.

Les plateformes cloud IoT offrent une variété de ressources informatiques accessibles à la demande et selon trois modèles de service différents :

- Infrastructure-as-a-Service (IaaS) : les ressources sont disponibles sous forme d'instances de machines virtuelles et stockage virtuel.
- Platform-as-a-Service (PaaS) : les utilisateurs peuvent développer ou déployer des applications en utilisant les outils, services, API mises en disposition par le fournisseur dans le cloud.
- Software-as-a-Service (SaaS) : le fournisseur met en disposition des utilisateurs une application ou une plateforme logicielle complète pour l'accès et le traitement des données.

Dans cette partie du travail, on envisage de développer l'application selon les solutions logicielles offertes par les plateformes cloud. La Figure 3, représente l'architecture de déploiement du système.

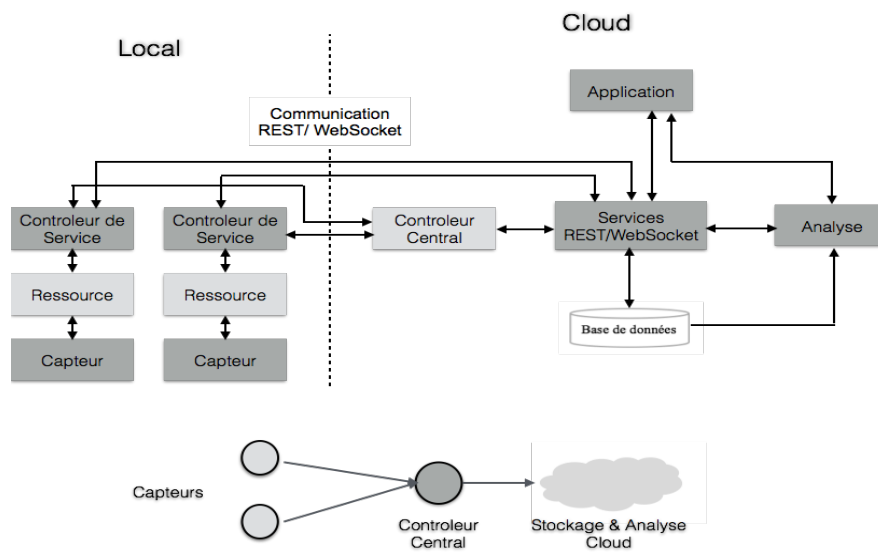


Figure 3 Architecture de déploiement du système [Bahga and Madiseti, 2014]

Avec

- Capteur : nœud physique pour l'acquisition de la mesure.
- Ressource : les ressources sont les composantes logicielles utilisées dans l'entité capteur et réalisant les opérations de traitement et de stockage des mesures, du contrôle de l'actuateur, etc.
- Contrôleur de service : service qui s'exécute dans le capteur et qui gère les interactions avec le service web.

Le contrôleur envoie les mesures au service web / reçoit les commandes depuis l'application.

- Contrôleur central : contrôleur de service du nœud sink /Gateway.
- Service web : gère les interactions entre application, capteur et base de données.

Le type de service web adapté (REST / WebSocket) définit les modalités de communication entre entités tel que : modèle de communication (requête-réponse, full duplex), connexion TCP, entête et surcharge, etc.

La conception de l'application web sur la plateforme cloud se déroule en trois phases :

1. Phase de spécification : description des fonctionnalités offertes par l'application et spécification du cadre d'utilisation.
2. Etude conceptuelle : consiste à l'établissement des modèles de description 'informatique' des données qui seront utilisées, du stockage de l'information et la structuration de l'application en des modules.
3. Phase d'implémentation de la solution logicielle :
 - Sélection de divers outils et services web telle que le choix du framework (pour la création de l'application web), le choix du serveur de base de données, ainsi que le choix du service web pour la conception de l'API (Application Programming Interface).
 - Installation et configuration de l'environnement de travail logiciel.
 - Développement HTML (xml, CSS, javascript, csv, etc.).

La phase d'implémentation dépend du choix de la plateforme cloud. Nous proposons de faire la conception de l'application avec trois plateformes différentes :

- Plateforme PaaS : Xively (ou ThingSpeak).
- Plateforme IaaS : AWS (Amazon Web Service) EC2.
- Plateforme SaaS : Ubidots.

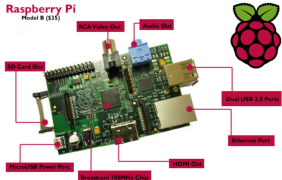

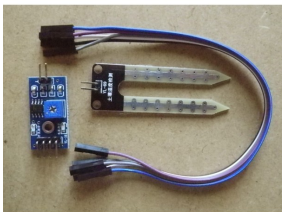
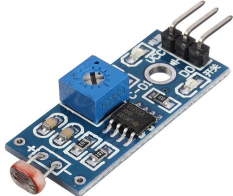
Références:

- [Antonio Liñán Colina, Alvaro Vives, Antoine Bagula, Marco Zennaro and Ermanno Pietrosemoli, 2016], « IoT in 5 days », Revision 1.1, March 2016 (accessible à http://wireless.ictp.it/school_2016/book/IoT_in_five_days-v1.0.pdf)
- [Bahga, A. and Madisetti, V., 2014]. « Internet of Things : A Hands-On Approach ». Vijay Madisetti.

11 Planning des activités du projet

	Binôme1	Binôme 2	Binôme 3	Binôme 4	Binôme 5
<u>Sous-projet</u> Semaines	<u>Acquisition</u> mesures	<u>Envoi/Réception</u> données	<u>Archivage</u> données	<u>Analyse données</u>	<u>Interface</u> utilisateur
S1	Lecture globale du projet et dégagement des tâches relativement à chaque sous-projet				
S2					
S3	réseau élémentaire	réseau élémentaire	Archivage	Simulation mesures	Spécification
S4					
S5	réseau saut unique	réseau saut unique	Traitement local données	Implémentation et test de l'algorithme de logique floue	Conception
S6					Implémentation
S7					
S8	réseau multi sauts	réseau multi sauts	Envoi données	Traitement temps réel, affichage de statistiques	
S9					
S10					
S11	Premier niveau d'Intégration pour les sous-projets 1, 2 et 3			Premier niveau d'Intégration pour les sous-projets 4 et 5	
S12					
S13	Deuxième niveau d'intégration pour toutes les parties du projet				
S14					

Annexe : Liste du Matériel requis

Item	Libellé	Spécifications	Nombre	
Cartes microordinateur	Raspberry Pi B (2 ou 3, selon la disponibilité)	Starter Kit avec micro SD, câble HDMI, câble USB/micro-USB	5	
Jumper Wire			40	
Capteurs	<u>Capteurs d'humidité</u>	Type : Module de mesure d'humidité de sol (capteur d'humidité du sol avec réglage de seuil, et double sortie, numérique et sortie analogique.) Tension de fonctionnement : 3V-5V Résolution : $\pm 0,1\%$ Hv	10	
	<u>Capteurs de lumière</u>	4 broches pour 5V, Gnd, sortie digitale TTL et sortie analogique La sensibilité numérique est ajustable pour modifier le seuil Tension alimentation de 3 - 5V Sensibilité réglable avec le potentiomètre (bleu) intégré au circuit	10	
Actionneurs	<u>Pompe à eau+ tuyau</u>	Type : mini pompe à eau Tension entrée : 12V	1	