وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPEREUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

N° d'ordre : M ...../GE/2019

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN ELECTRONIQUE

Option : Electronique des systèmes embarqués

Par

SHEHADA Khaled

Etude et réalisation d'un Datalogger à base d'Arduino pour enregistrement des données : Application à une maison agricole

Soutenu le **18 juillet 2019** devant le jury composé de :

Président :	AHMADOUCHE Ahmed	MCA	Université de Mostaganem
Examinateur :	BOUKORTT Abdelkader	Prof.	Université de Mostaganem
Examinateur :	BENTOUMI Mohamed	MCB	Université de Mostaganem
Rapporteur :	LARBI BEKLAOUAZ Hadj	MCB	Université de Mostaganem
Co- Rapporteur :	ABED Mansour	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2018/2019

إهـــــــداء

أهدي نجاحي ومشروع تخرجي

إلى وطني فلسطين

الى من كلل العرق جبينه, ليعلمني أن الصبر والعزيمة مفتاح الكاد حين...

الى سندي الأول و قدوتي في هذه الدنيا, ومصدر فخري واعتزازي...

الى من أضاء بعلمه عقل غيره, و هدى بالجواب الصحيح حيرة سائليه...

الذي وفّر كل غالٍ من أجل العلم...

الى من احمل اسمه بكل فخر...

الى و الدي..

عاشت معي كل لحظاتي بكل تفاصيلها..

صغيرها وكبيرها وجميلها...فكانت لي العون والسند..

من كنت لها الأمل الذي راودها في حياتها فحلمت أن تراني في مثل هذا اليوم , إلى من كان دعائها سر نجاحي..

إلى أغلى الحبايب ..

الى و الدتي..

الى من أرى التفاؤل بعيونهم..

الى من تطلعتم لنجاحي بنظرات الأمل..

الى من عشت معهم وأعطوني الأمل دائما..

الى إخوتي..

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A Mes très chers parents pour leur soutien infaillible durant toutes mes années d'études.

Mes frères et mes sœurs.

Toute ma famille sans exception.

Tous ceux qui m'aiment.

Toute la promotion de master en électronique des systèmes embarqués 2018-2019.

Remercîments

En préambule à ce mémoire, nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Nous tenons à remercier sincèrement Messieurs LARBI BEKLAOUZ Hadj et ABED Mansour, qui en tant qu'encadreur et co-encadreur de mémoire, nous ont donné le meilleur d'eux-mêmes en contribuant à augmenter notre savoir durant nos études.

Nous exprimons nos gratitudes à tous les consultants et internautes rencontrés lors des recherches effectuées et qui ont accepté de répondre à mes questions avec gentillesse. Ils se sont toujours montrés à l'écoute et très disponibles tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'ils ont bien voulus nous consacrer et sans qui ce travail n'aurait jamais vu le jour.

Sans oublier nos parents pour leurs contributions, leur soutien et leur patience.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenus et encouragés au cours des longues années d'études.

Merci à tous et à toutes.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES DATALOGGERS

I.1 Introduction 2

I.2 L'idée du projet 2

I.3 Objectifs du projet 3

I.4 Datalogger 3

1.4.1 Définition 3

1.4.2 Applications 4

1.4.3 Avantages 5

1.4.4 Inconvénients 5

I.5 Mesure de la température et thermomètres 5

I.6 Humidité de sol : Les différentes techniques de mesure 6

I.7 Surveillance d'humidité du sol pour amélioration des décisions d'irrigation 6

I.8 Conclusion 8

CHAPITRE 2 : ANALYSE STRUCTURELLE DU DATALOGGER REALISE

II.1 Introduction 9

II.2 Structure de base du datalogger 9

II.3 Montage de base 11

II.4 Schéma électrique 13

II-5 Microcontrôleurs 14

II-5-1 Définition 14

II-6 Arduino 14

II-6-1 Définition 14

II-6-2 Les avantages de l'arduino 15

II-6-3 Les types de l'arduino 15

II-6-4 Arduino uno 16

II.7 Capteurs et modules 17

II.7.1 Mesure d'humidité & de température par DHT11 17

II-7-1-1 Composant 18

II.7.1.2 Déroulement d'une communication 18

II.7.1.3 Caractéristiques 19

II-7-2 Module d'horloge temps réel DS3231 AT24C32 19
II.7.2.1 Fonctionnement et caractéristiques du module 20
II-7-3 Module de carte SD 20
II.8 Algorithme implémenté en Arduino 21
II-8 Conclusion 21
CHAPITRE 3 : Résultats d'expériences, discussions et commentaires
III-1 Introduction 23
III-2 Expérience n°1 23
III-3 Expérience n°2 37
III.4 Interprétation des résultats, discussion et analyse 49
III.5 Conclusion 51
CONCLUSION GENERALE 52
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES
ANNEXE A
ANNEXE B

Liste des Tableaux

Chapitre 2

Tableau 2.1 : Brochage des pins Arduino-dht11. 12
Tableau 2.2 : Brochage des pins Arduino-dht11-2. 12
Tableau 2.3 : Brochage des pins Arduino-RTC module. 12
Tableau 2.4 : Brochage des pins Arduino-SD card. 12
Tableau 2.5 : Les caractéristiques des DHT11. 19

Chapitre 3

Tableau 3.1 : Mesures de température et humidité matinales (sol sec). 24
Tableau 3.2 : Mesure de la température et de l'humidité à l'après midi (sol sec). 26
Tableau 3.3 : Mesure de la température et de l'humidité pendant le soir (sol sec). 29
Tableau 3.4 :mesure de la température et de l'humidité matinal (sol arrosé). 31
Tableau 3.5 : Mesure de la température et de l'humidité à l'après midi (sol arrosé). 33
Tableau 3.6 : Mesure de la température et de l'humidité pendant le soir (sol arrosé). 35
Tableau 3.7 : Mesures de température et humidité matinales (sol sec, deuxième jour). 38
Tableau 3.8 : Mesures de la température et de l'humidité à l'après midi (sol sec, deuxième jour). 40
Tableau 3.9 : Mesures de la température et de l'humidité pendant le soir (sol sec, deuxième jour) 42
Tableau 3.10 : Mesures de température et humidité matinales (sol sec, cinquième jour). 44
Tableau 3.11 : Mesures de la température et de l'humidité à l'après midi (sol sec, cinquième jour). 46
Tableau 3.12 : Mesures de la température et de l'humidité pendant le soir (sol sec, cinquième jour). 48

Liste des Figures

Chapitre 1

Figure 1.1 : Disponibilité de l'eau du sol 7
Figure 1.2 : Texture du sol 7

Chapitre 2

Figure 2.1 : Schéma synoptique du datalogger réalisé. 10
Figure 2.2 : Diagramme de base du datalogger réalisé. 11
Figure 2.3 : Schéma éclectique du datalogger conçu. 13
Figure 2.4 : Schéma de l'Arduino UNO. 16
Figure 2.5 : Capteur d'humidité et de température DHT11. 17
Figure 2.6 : Processus de communication global. 18
Figure 2.7 : Module d'horloge temps réel DS3231. 19
Figure 2.8 : Module de carte SD. 21
Figure 2.9 : Algorithme implémenté en Arduino. 22

Chapitre 3

Figure 3.1: Datalogger mis en sol sec et sous la plante par un matin. 23
Figure 3.2 : Graphique périodique de température du sol sec (mesures matinales). 24
Figure 3.3 : Graphique périodique d'humidité du sol sec (mesures matinales). 25
Figure 3.4: Datalogger mis en sol sec et sous la plante à l'après midi. 26
Figure 3.5 : Graphique périodique de température du sol sec (mesures d'après-midi). 27
Figure 3.6 : Graphique périodique d'humidité du sol sec (mesures d'après-midi). 27
Figure 3.7: Datalogger mis en sol sec et sous la plante pendant le soir. 28
Figure 3.8 : Graphique périodique de température du sol sec pendant le soir. 29
Figure 3.9 : Graphique périodique d'humidité du sol sec pendant le soir. 30
Figure 3.10: Datalogger mis en sol arrosé et sous la plante par un matin. 31
Figure 3.11 : Graphique périodique d'humidité du sol arrosé. 32
Figure 3.12 : Graphique périodique de température du sol arrosé. 32
Figure 3.13: Datalogger mis en sol arrosé et sous la plante à l'après midi. 33
Figure 3.14 : Graphique périodique d'humidité du sol arrosé. 34
Figure 3.15 : Graphique périodique de température du sol arrosé. 34

Figure 3.16: Datalogger sur le sol arrosé et sous la plante à pendant le soir. 35
Figure 3.17 : Graphique périodique d'humidité du sol arrosé. 36
Figure 3.18 : Graphique périodique de température du sol arrosé. 36
Figure 3.19: Datalogger mis en sol sec et sous la plante par un matin en deuxième jour. 37
Figure 3.20 : Graphique périodique d'humidité du sol sec en deuxième jour (mesures matinales). 38
Figure 3.21 : Graphique périodique de température du sol sec en deuxième jour (mesures matinales). 39
Figure 3.22 : Datalogger mis en sol sec et sous la plante à l'après midi en deuxième jour. 39
Figure 3.23 : Graphique périodique d'humidité du sol sec en deuxième jour (mesures de l'après-midi). 40
Figure 3.24 : Graphique périodique de température du sol sec en deuxième jour (mesures de l'après-midi). 41
Figure 3.25 : Datalogger mis en sol sec et sous la plante pendant le soir en deuxième jour. 41
Figure 3.26 : Graphique périodique de température du sol sec en deuxième jour (mesures du soir). 42
Figure 3.27 : Graphique périodique d'humidité du sol sec en deuxième jour (mesures du soir). 43
Figure 3.28: Datalogger mis en sol sec et sous la plante par le matin du cinquième jour. 43
Figure 3.29 : Graphique périodique d'humidité du sol sec en cinquième jour (mesures matinales). 44
Figure 3.30 : Graphique périodique de température du sol sec en cinquième jour (mesures matinales). 45
Figure 3.31: Datalogger mis en sol sec et sous la plante en après-midi du cinquième jour. 45
Figure 3.32 : Graphique périodique de température du sol sec en cinquième jour (mesures de l'après-midi). 46
Figure 3.33 : Graphique périodique d'humidité du sol sec en cinquième jour (mesures de l'après-midi). 47
Figure 3.34: Datalogger mis en sol sec et sous la plante pendant le soir du cinquième jour. 47
Figure 3.35 : Graphique périodique d'humidité du sol sec en cinquième jour (mesures du soir). 48

Figure 3.36 : Graphique périodique de température du sol sec en cinquième jour (mesures du soir). 49

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La maison agricole est une structure généralement en verre conçue pour protéger et contrôler l'environnement afin de cultiver des plantes à l'intérieur. Cette culture se pratique manuellement pendant une longue durée car elle exige la surveillance et le labourage. Pour atteindre une haute qualité et une grande quantité de production, il nous faut une gestion correcte et une collection de donnée qui nous seront nécessaire pour le contrôle des conditions climatiques à l'intérieure de la maison agricole.

On s'intéresse en fait à la réalisation et le test sur terrain d'un enregistreur de données, appelé aussi Datalogger, appliqué à une maison agricole pour but de surveillance omniprésente, prises de décision et contrôle des paramètres environnementaux.

Le système conçu vise aussi à surveiller à distance et contrôler la maison agricole à l'aide d'un capteur de température, d'un capteur de lumière, de l'humidité du sol, d'un capteur de niveau d'eau et d'actionneurs autour d'un circuit programmable, l'Arduino, dont le fonctionnement est personnalisé.

De plus, la représentation graphique des mesures par Excel est aussi présentée pour chacune des expériences et ceci à partir des données stockées sur une mémoire SD. Cela permettra une lecture plus pertinente des variations climatiques au sein de l'espace agricole de test ainsi qu'une surveillance améliorée et donc une analyse plus approfondie.

Chapitre 1
Généralités sur les dataloggers

I.1 Introduction

Dans les années quatre-vingt et quatre-vingt-dix du siècle dernier, le monde a vécu l'ère de l'informatique et des ordinateurs personnels et cette vague qui a duré environ 15 ans, est la nature de cette époque, où nous avons atteint le niveau actuel.

Un appareil sur chaque bureau et dans chaque maison, et avec l'évolution des processeurs et des écrans, nous sommes passés à l'ère de la mobilité, où l'émergence de l'iPhone au début de 2007, le début de la nouvelle réalité de la technologie et de la nouvelle ère de l'informatique.

À partir de ce moment, nous avons dans nos poches ce qui peut faire plus qu'un énorme ordinateur de bureau installé sur nos bureaux il ya 10 ans.

La pensée à la technologie de télécommunication, nous ramène immédiatement à l'esprit les techniques de la communication vocale, l'envoi et la réception des SMS, l'internet, et tout ce qui fonctionne en utilisant cette technologie moderne introduite dans notre vie quotidienne.

Notre objectif à travers ce projet de Datalogger s'appliquant sur une maison agricole est d'évaluer la température, l'humidité, et le confort optimal avec des unités simples, modifiable à souhait et enregistrable sur un support mémoire pour qu'il soit exploitable par le propriétaire intéressé.

I.2 L'idée du projet

L'idée de notre projet provient du désir de moderniser l'agriculture en l'Algérie en se servant de systèmes intelligents interactifs. Ces derniers permettent de résoudre le problème du temps et de la main-d'œuvre en contrôlant directement ou indirectement la croissance des plantes et, par conséquent, la production agricole. L'idéal est d'atteindre ces objectifs à l'aide exclusive de la technologie moderne, sans intervention humaine, mais de nombreux obstacles s'opposent à son application sur le terrain réel.

À travers ce projet, nous démontrerons l'accessibilité d'un tel système et la possibilité de mettre en place des systèmes similaires dans de nombreux autres domaines. De plus, il est possible d'élargir l'idée en elle-même afin d'y inclure de nombreuses fonctionnalités nouvelles destinées à développer l'agriculture et à augmenter la production.

Transformer les systèmes qui nous entourent en systèmes d'information rendra la vie plus facile et plus sophistiquée, mais rendre ces systèmes plus intelligents et plus interactifs que l'intervention humaine ouvrira certainement de vastes horizons que nous n'aurions jamais pu imaginer.

I.3 Objectifs du projet

Face aux pressions croissantes de la vie et à l'élargissement des responsabilités, il était nécessaire de développer les choses qui nous entouraient pour devenir plus intelligents. A partir de ce besoin, le datalogger est apparu comme une technologie moderne facilitant la tâche aux personnes de haute qualité, mais cette tâche nécessite un travail long et intensif. Par conséquent, il devient nécessaire de collecter des données et de les gérer correctement afin que la maison agricole intelligente soit utilisée d'une façon optimale. En outre, les données enregistrées sur le datalogger fournissent une base intéressante pour la surveillance de la croissance et le développement sain des plantes avec les moindres dépenses en termes de …….

I.4 Datalogger

1.4.1 Définition

Un datalogger ou encore appelé enregistreur de données peut être simplement défini autant que n'importe quel dispositif utilisé pour stocker des données. Cela comprend de nombreux dispositifs d'acquisition de données telles que des cartes enfichables ou des systèmes de communication série (enregistrement de données en temps réel). Cependant, dans la pratique commune, un datalogger est un dispositif considéré autonome capable d'acquérir des signaux électriques présentant plusieurs types de sources analogiques en utilisant des capteurs convenables, et de stocker les données numérisées dans une mémoire interne pour plus tard les télécharger sur un ordinateur.

En fait, l'avantage principal des dataloggers est qu'ils peuvent fonctionner indépendamment d'un ordinateur. Cette autonomie est fortement souhaitée lorsqu'on travaille sur des terrains dégagés nécessitant les moindres exigences de câblage et d'alimentation. Ceci s'applique parfaitement sur les maisons agricoles intelligentes.

Les enregistreurs de données sont disponibles en différentes formes et tailles. La gamme comprend des collecteurs de fonction fixe à canal unique qui sont plus simples et économiques, jusqu'à des dispositifs programmables plus puissants qui sont capables de traiter des centaines d'entrées. Un enregistreur de données est un dispositif automatique, voire programmable, qui enregistre des valeurs de mesure individuelles et des séries de mesure sur une longue période (pouvant couvrir plusieurs mois). Elles peuvent être transmises par le biais d'une interface à un afficheur, à un PC muni d'un logiciel (pour visualisation et analyse), une imprimante, ou à un téléphone intelligent [1].

On veut dire par signal mesuré toute grandeur physique telle que: température, humidité relative (% HR), intensité, tension, vitesse du vent, pression, intensité lumineuse et sonore, ainsi que toute grandeur convertible en tension ou courant.

Les dataloggers peuvent être raccordés à des sondes (capteurs) externes (sonde d'immersion, sonde alimentaire de pénétration pour congelés, pour haute température, etc.) et disposer de plusieurs canaux (un canal de mesure par sonde connectée) [1]. L'autonomie du datalogger peut aller jusqu'à l'affichage et l'interaction par mini clavier.

La capacité de mémoire interne (par exemple de type flash) doit être suffisante pour stocker dans certains cas des milliers de données. Dans le cas contraire, il peut être nécessaire, lors de la programmation préalable du microprocesseur, de diminuer la cadence à laquelle la mesure doit être réalisée [1]. Ceci était réalisé dans notre projet.

La connexion de l'interface de l'enregistreur au PC se fait par interface série (RS 232), USB, LAN, Bluetooth, communication en champ proche, etc. Les plus récents peuvent être mis en réseau et servir des pages web, une alimentation par énergie solaire peut être utilisée en complément d'une batterie [1]. Il est à noter que, comme est le cas de tous les instruments de mesure, un enregistreur de données doit être étalonné au moins une fois par an par un laboratoire accrédité.

1.4.2 Applications

Voici une liste non limitative d'applications:

- En laboratoires, en production (procédés de fabrication).
- Capteur météorologique.
- Diagnostic médical (holter cardiaque...) en logement dans les musées.
- Comptage du trafic routier.
- Surveillance d'ouvrages (ponts, barrages...), comme Jauge de déformation.
- Recherche sur la faune.
- Surveillance de postes électriques.
- Enregistrement d'une station météorologique (par exemple, vitesse / direction du vent, température, humidité relative, rayonnement solaire).
- Enregistrement hydrographique (p. Ex. Niveau de l'eau, profondeur de l'eau, débit de l'eau).
- Enregistrement de pression de gaz.

1.4.3 Avantages

L'enregistreur de données permet à l'utilisateur de contrôler et de faciliter efficacement les objets à proximité et à distance. L'enregistreur de données de température sert à garantir que les aliments non transformés sont stockés à la température correcte dans les réservoirs de réfrigérant. Il est également utilisé dans les fours et les lignes de production pour garantir que les aliments sont chauffés à la bonne température pendant la période requise, les enregistreurs de données sont souvent de petites pièces, assez pour être placé dans un récipient isolé ou directement à un produit dans un camion réfrigéré ou un conteneur réfrigéré. Ceci surveille la température des produits expédiés. Pour surveiller la température de l'air.

1.4.4 Inconvénients

L'inconvénient majeur de datalogger est la nécessité de câblages entre Arduino et capteurs ce qui nécessite une certaine prudence et entraine des risques d'endommagement d'interconnexions lors des travaux quotidiens des agriculteurs comme c'est le cas de notre projet. De plus, il faudra utiliser un grand nombre de capteurs et de câbles afin d'assurer les mesures sur toute la maison agricole.

I.5 Mesure de la température et thermomètres

La température est mesurée à l'aide d'un thermomètre . L'unité légale de température dans le système international est le kelvin de symbole K.

L'échelle de température la plus répandue est le degré Celsius (0°=273K). L'échelle Fahrenheit est aussi utilisée (0 °C = 32 °F et 100 °C = 212 °F). Les types de thermomètres qui existe : le thermomètre à résistance électrique, le thermomètre à bilame et Le thermomètre à alcool… Par exemple, la station météorologique comprend cinq thermomètres :

- Un premier thermomètre qui mesure la température.
- Un second thermomètre vertical dont la pointe est entourée d'un tissu dont un bout trempe dans l'eau et qui mesure la température humide. La différence entre ces deux températures permet de calculer le taux d'humidité de l'air.
- Un troisième thermomètre, oblique, mesure la température maximale : il est conçu comme un thermomètre médical. Il possède ainsi un étranglement du capillaire au-dessus du réservoir, ce qui empêche le liquide de redescendre quand la température baisse après avoir atteint sa valeur maximale.
- Un quatrième thermomètre, horizontal, mesure la température minimale. Il comporte un index noyé dans le liquide. L'index descend avec le liquide, mais ne remonte pas.

- Un cinquième thermomètre, à minimum, mesure la température minimale au sol. Il est placé hors de la station, à 5 cm du sol.

Ces thermomètres peuvent être remplacés par un thermomètre enregistreur dans la station, un thermomètre enregistreur au sol et un hygromètre enregistreur dans la station [2].

I.6 Humidité de sol : Les différentes techniques de mesure

L'humidité du sol détermine la variation des caractéristiques de différents matériaux ou sols. Le taux d'humidité du sol détermine la diffusion ou le stockage de l'eau de ce sol. Ces caractéristiques concernent aussi les intrants solides que liquides qui vont pénétrer dans le sol.

Il existe différentes techniques de mesure de l'humidité :

- **Méthode gravimétrique :** Cette méthode consiste à chauffer jusqu'a 105 °C un échantillon de sol et connaître ensuite par pesée finale, le poids d'eau contenu par l'échantillon.
- **Méthode par sonde à neutrons :** elle est efficace mais chère et trop réglementaire pour être utilisée simplement par un opérateur.
- **Méthode par mesure de la conductivité électrique :** est très économique, précise et influencée par la nature du sol et la salinité des sols.
- **Méthode capacimétrique :** Méthode électromagnétique économique mais son volume d'influence est limité et influencé par le type de sol, la température et la salinité.
- **Méthode TDR :** en 1980, la méthode TDR incontournable tant par la qualité que par la convivialité de ses mesures. Le principe de cette mesure est basé sur la détermination du temps de propagation d'une impulsion électromagnétique le long d'une électrode introduite dans le sol. Le temps de propagation de ce pulse dépend étroitement de l'humidité du sol (mesure de permittivité diélectrique). Son volume d'influence est supérieur à celui des techniques capacitives. La mesure est par ailleurs faiblement influencée par la température, la salinité et le type de sol. Cette technologie permet des mesures précises à un tarif maintenant abordable.

IMKO a développé des humidimètres pour tout type d'application industrielle et agronomique (granulats, béton...) offrant une très haute précision. [3].

I.7 Surveillance d'humidité du sol pour amélioration des décisions d'irrigation

L'apport de la bonne quantité d'eau aux cultures, au bon moment est lié à la surveillance de l'humidité du sol. Pour s'aider à gérer cette humidité, au moment opportun, de la bonne quantité d'eau d'irrigation peut procurer : des rendements accrus, un produit de meilleure qualité, une vigueur accrue aux plants, une réduction des maladies, une plus grande valorisation de l'eau et une réduction des coûts d'irrigation.

On voit deux grands points à considérer dans le choix de l'instrument : les données recueillies utilisées et le moyen le plus pratique de recueillir les données. Les coûts de surveillance de l'humidité du sol peuvent aller de **100 $** à **3 000 $.**

Pour le temps que prend la surveillance de l'humidité du sol, cec dépend de l'ampleur des données à consigner et de la plus ou moins grande automatisation des instruments. [4]

Il existe plusieurs gammes d'instruments de surveillance de l'humidité du sol parmi eux :

- ***RDF[1], RT[2]*** : Des instruments portatifs à lecture instantanée.
- ***Pédohygromètre, Tensiomètre, RT, RDF, humidimètre capacitif :*** Instruments enfoui et restant en place avec affichage au champ.
- ***Humidimètre capacitif, Pédohygromètre, RDF, RT, Tensiomètre :*** Instrument enfoui et restant en place, offrant une communication sans fil avec un ordinateur distant.

Réaction des cultures à l'humidité du sol :

Capacité de rétention, Point de flétrissement permanent, Eau disponible dans le sol et Texture du sol et humidité du sol.

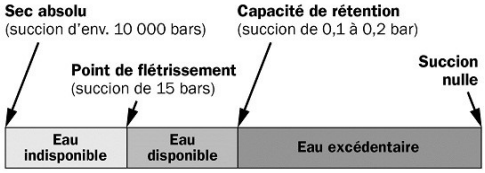


Figure 1.1 : Disponibilité de l'eau du sol.

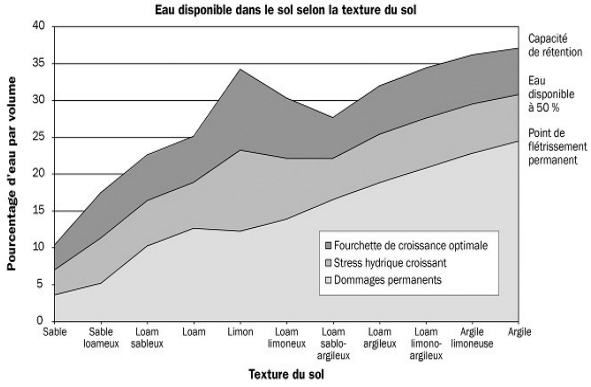


Figure 1.2 : Texture du sol.

Les Instruments de surveillance courants sont :

- *Tensiomètre :* il lit la tension ou la succion de l'eau dans le sol, en centibars. Plus la tension est élevée, plus le sol est sec.
- ***Pédohygromètres :*** Ces appareils mesurent la tension de l'eau dans le sol en centibars. Ils mesurent la résistance électrique du courant passant entre des électrodes enfoncées dans une matière semblable à du sable fin entourée d'un matériau synthétique poreux.
- **Captures diélectriques :**

➢ ***Réflectomètres temporels (RT) :*** La réflectométrie à dimension temporelle est une façon relativement nouvelle de mesurer l'humidité du sol.

➢ ***Réflectomètre dans le domaine fréquence (RDF) :*** La réflectométrie dans le domaine fréquence s'apparente à la réflectométrie à dimension temporelle.

➢ ***Humidimètres capacitifs :*** Les humidimètres capacitifs gagnent en popularité maintenant qu'ils sont offerts sur le marché, car ils fournissent des lectures continues. Il reste qu'en raison de leur coût, ces appareils servent principalement dans des essais [4].

De là, on voit que la surveillance de l'humidité du sol peut aider les producteurs à utiliser et à appliquer l'eau et les éléments nutritifs de manière efficace. L'instrument qui convient le mieux est celui qui est adapté au style de gestion du producteur. Si l'instrument convient au producteur, ce dernier l'utilisera et en tirera des données utiles à ses décisions d'irrigation.

I.8 Conclusion

Généralement autonome, autrefois mécanique, le datalogger est aujourd'hui un dispositif électronique qui peut être programmé pour l'enregistrement de valeurs individuelles sur des périodes de quelques heures à plusieurs mois.

La plupart du temps destiné à surveiller les conditions de température, il permet, selon les versions de mesurer l'humidité relative et ainsi garantir que le produit de santé n'a pas subi de dégradations au cours de son transport et de son stockage. La découverte de ces caractéristiques nous a appris de nouvelles connaissances au niveau de la gestion du temps et des équipes. Notre application, cependant, concerne le domaine des maisons agricoles

Chapitre 2

Analyse structurelle du Datalogger réalisé

II.1 Introduction

Il n'y a pas si longtemps, tout le travail consistait à créer un circuit électronique pour effectuer un certain travail, Grâce aux avancées technologiques dans le domaine des circuits intégrés (CI), il est devenu possible de placer un circuit électronique complet sur une petite puce. Le développement des circuits intégrés a conduit à l'émergence d'une génération de circuits électroniques appelés microcontrôleurs, qui s'apparentent à un micro-ordinateur programmable pour remplir une gamme de fonctions telles que la lecture de la température, contrôle du moteur électrique, et beaucoup d'autres tâches, tout cela se fait simplement par des commandes logicielles et les microcontrôleurs ont la capacité de changer et modifier à tout moment.

Le but essentiel de notre travail est d'utiliser Arduino pour concevoir et commander le datalogger. Pour cela, on aura besoin de circuit d'alimentation et de commande en plus des capteurs convenables ; l'ensemble connecté à carte Arduino contenant le programme qui nous permet de gérer les acquisitions et les enregistrements de données.

II.2 Structure de base du datalogger

La première étape consiste à concevoir une schématique du datalogger. La Figure 2.1 présente la structure principale, permettant de présenter certaines fonctionnalités du datalogger en se servant de deux capteurs (d'humidité et de température) et de deux module (horloge temps réel, module de carte SD). Ces scénarios seront implémentés via la carte « arduino UNO » exécutant les instructions embarquées.

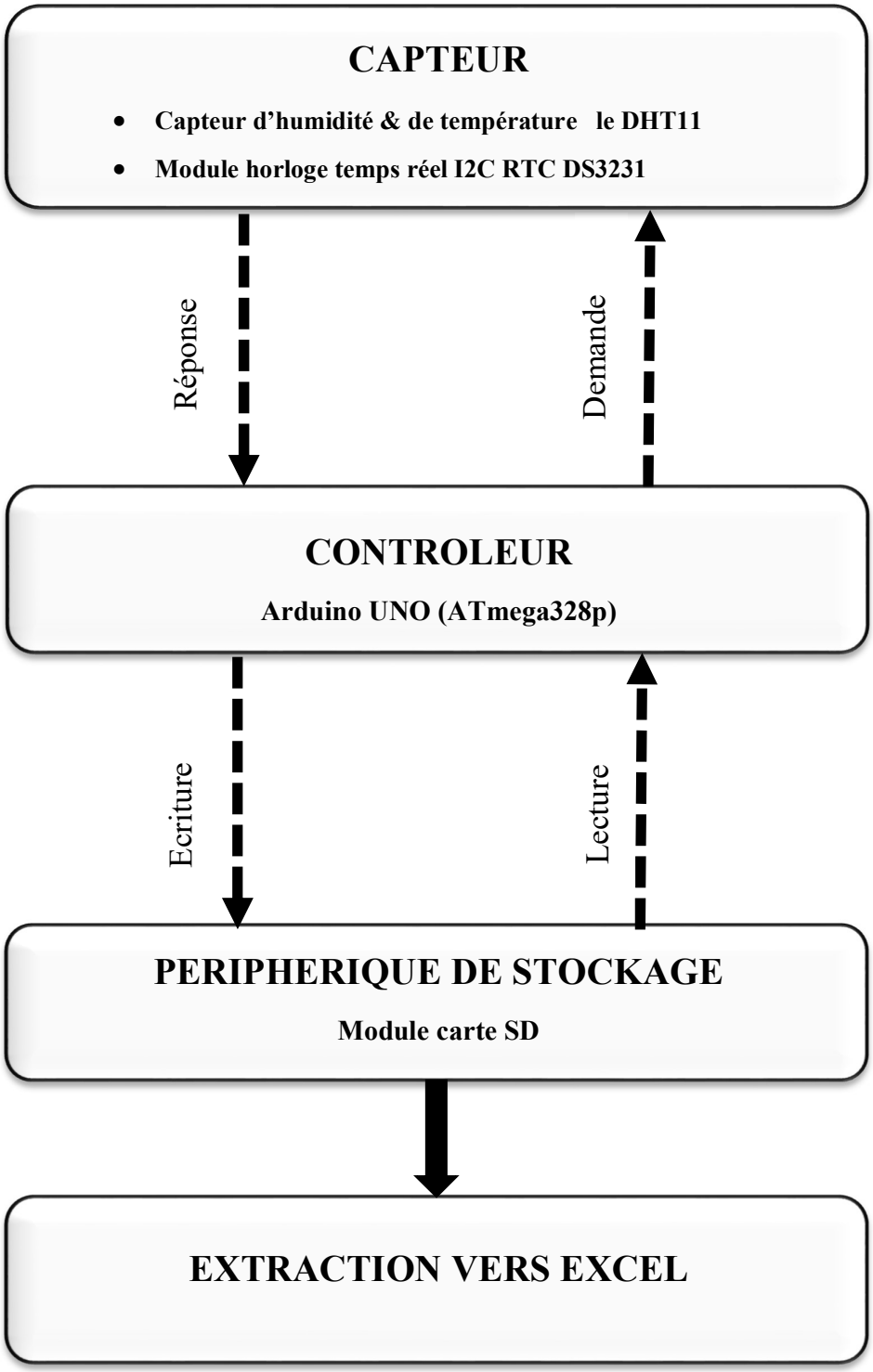


Figure 2.1 : Schéma synoptique du datalogger réalisé.

II.3 Montage de base

Le montage de base pour ce projet d'enregistreur de données est présenté dans la Figure 2.2.

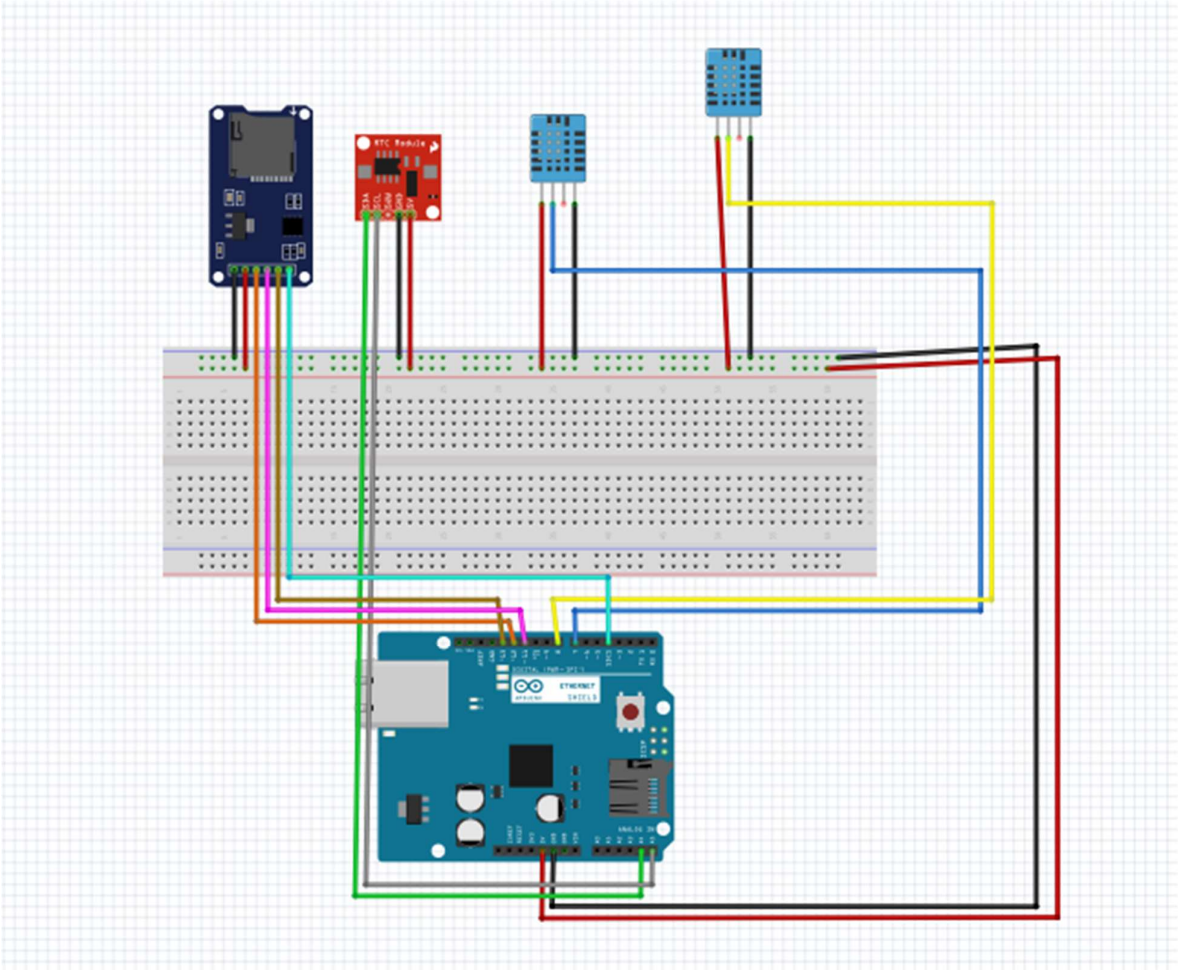


Figure 2.2 : Montage de base du datalogger réalisé.

Comme le montre le schéma de circuit, les connexions sont très simples, car nous les avons utilisées en tant que modules. Nous pouvons les construire directement sur une planche à pain. Les connexions sont en outre classées dans les Tableau 2.1-2.4 ci-dessous.

Tableau 2.1 : Brochage des pins Arduino-dht11.

Arduino Pin	**Module Pin**
Capture de temperature – DHT11	
Vcc	5V
Gnd	Gnd
Nc	Nc
Out	Pin 7

Tableau 2.2 : Brochage des pins Arduino-dht11-2.

Arduino Pin	**Module Pin**
Capture de temperature – DHT11	
Vcc	5V
Gnd	Gnd
Nc	Nc
Out	Pin 8

Tableau 2.3 : Brochage des pins Arduino-RTC module.

RTC module DS3231	
Vcc	5V
Gnd	Gnd
SCL	Pin A5
SDA	Pin A4

Tableau 2.4 : Brochage des pins Arduino-SD card.

SD card Module	
Vcc	5V
Gnd	Gnd
MISO	Pin 12
MOSI	Pin 11
SCK	Pin 13
CS	Pin 4

II.4 Schéma électrique

L'application Fritzing été utilisée pour concevoir et simuler les circuits électroniques, y compris une gamme de capteurs de température différents fournissant une lecture centrale, un ensemble de capteurs d'humidité et d'autres capteurs.

Afin de compléter le processus de programmation du circuit de contrôle du système, le circuit de contrôle a été adopté par le célèbre contrôleur ARDUINO UNO avec le contrôle de ATMEGA328 et des méthodes compatibles ont été utilisées en termes de tension de travail dans la plage de 5 V +. Ce circuit est programmé à l'aide de l'application ARDUINO IDE : application et écriture de code servant au processus de contrôle du circuit.

Fritzing utilise l'outil Design Capture, qui vise à fournir la meilleure offre pour l'introduction de conceptions et d'images pour les circuits électroniques. Il peut prendre en charge les schémas de simulation pour concevoir des cartes de circuits imprimés.

La Figure 2.3 représente le schéma électrique du datalogger conçu en utilisant l'outil Fritzing.

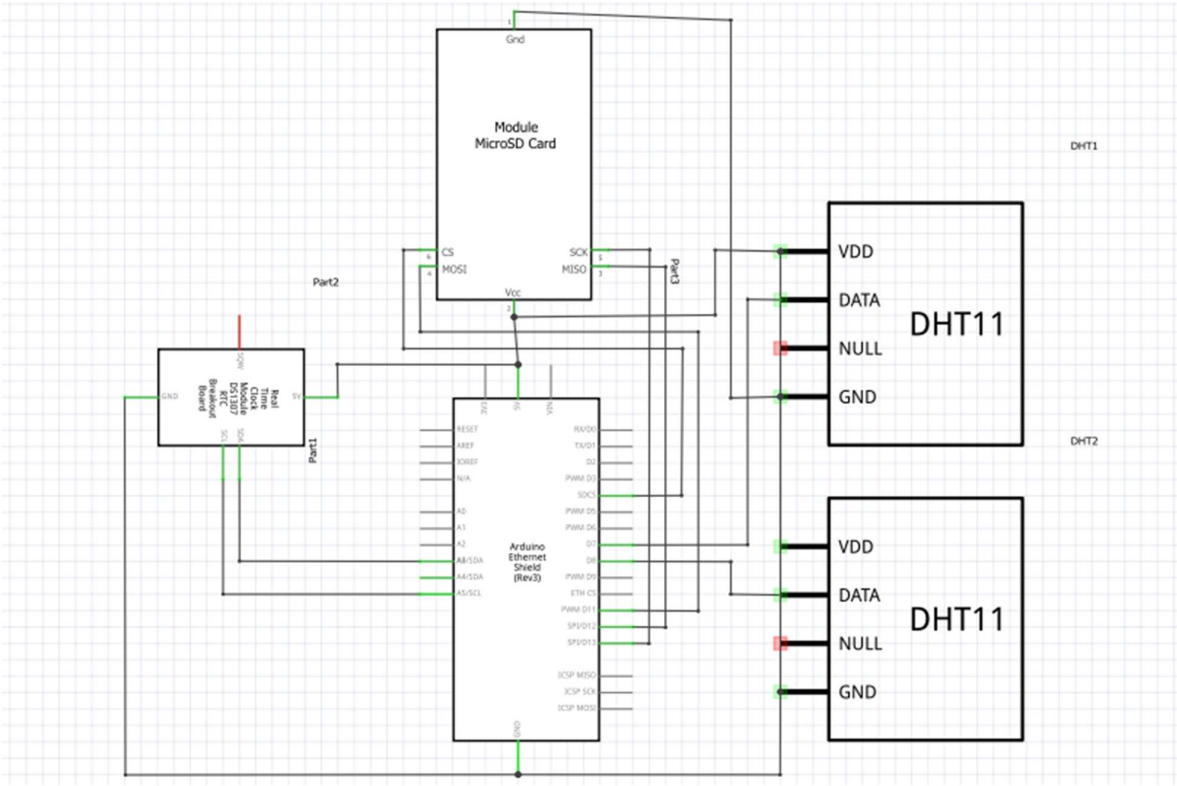


Figure 2.3 : Schéma éclectique du datalogger conçu.

II.5 Microcontrôleurs

II.5.1 Définition

Un microcontrôleur est un circuit électronique intégré contenant un microprocesseur interne et une mémoire interne programmable pour stocker le programme de contrôle. et autres mémoires de traitement de données et contient des portails de saisie et de sortie de données et des commandes de contrôle, et microcontrôleur est une unité de traitement de l'information de type microprocesseur contenant tous les composants d'un système informatique, C'est une puce électronique qui collecte les données et les informations de l'appareil via ses unités d'entrée, telles que les boutons de commande, les capteurs de lumière, la chaleur, l'humidité ou la pression, puis traite les valeurs de ces données et informations dans son unité de traitement, puis affiche les résultats sur ses unités de sortie [5]. Les plus célèbres compagnies qui ont développé et fabriqué des microcontrôleurs sont : MICROSHIP, INTEL, ATMEL, …. Etc. ...

L'utilisation d'un microcontrôleur a plusieurs points forts, il suffit d'examiner la spectaculaire évolution, de l'offre des fabricants de circuits intégrés en ce dernier depuis des années.

Le PIC, en particulier, est un microcontrôleur qui intègre dans un seul et même boîtier plusieurs éléments, il en résulte une diminution de l'encombrement de matériel et de circuit imprimé.

Parmi les conséquences de cette intégration, la simplification du tracé des circuits imprimés puisqu'il n'est plus nécessaire de véhicule des bus d'adresse et de données d'un autre composant (mémoire par exemple).

De plus, l'utilisation d'un microcontrôleur réduit les coûts à plusieurs niveaux [5]:

- Plus économique que les autres circuits qui le remplace,
- Minimiser et diminuer le coût de main d'œuvre,
- Possibilité de réalisation des applications non réalisables avec d'autres composants,
- Gains en vitesse de traitement d'informations, d'où le gain en temps d'exécution.

II.6 Arduino

II.6.1 Définition

Arduino est une plate-forme électronique à code source ouvert basée sur du matériel et des logiciels faciles à utiliser. Les cartes Arduino peuvent lire les entrées et activer un moteur, publier quelque chose en ligne et beaucoup d'autres tâches. Pour ce faire, vous utilisez le langage de programmation Arduino (basé sur le câblage) et le logiciel Arduino (IDE), basé sur Procession (voir Annexe A).

Au fil des ans, Arduino a été le cerveau de milliers de projets, allant des objets du quotidien aux instruments scientifiques complexes. Une communauté mondiale de décideurs - étudiants, amateurs, artistes, programmeurs et professionnels - s'est rassemblée autour de cette plate-forme open source. Leurs contributions ont permis d'accumuler une quantité incroyable de connaissances accessibles qui peuvent être d'une grande aide pour les novices et les experts [6].

II.6.2 Avantages de l'arduino

Arduino est un outil essentiel pour apprendre de nouvelles choses. N'importe qui - amateurs, artistes, programmeurs - peut commencer à bricoler en suivant les instructions pas à pas d'un kit ou en partageant des idées en ligne avec d'autres membres de la communauté Arduino.

Arduino simplifie également le processus de travail avec les microcontrôleurs, mais offre un avantage certain pour les enseignants, les étudiants et les amateurs intéressés par rapport à d'autres systèmes.

Peu coûteux - Les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses par rapport aux autres plates-formes de microcontrôleurs. La version là moins chère du module Arduino peut être assemblée à la main, et même les modules Arduino préassemblés coûtent moins de 50 €.

Multiplateforme - Le logiciel Arduino (IDE) fonctionne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh OSX et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleur sont limités à Windows.

Environnement de programmation simple et clair ; le logiciel Arduino (IDE) est facile à utiliser pour les débutants, mais suffisamment flexible pour que les utilisateurs avancés puissent également en tirer parti. Pour les enseignants, cet environnement est basé sur l'environnement de traitement, de sorte que les étudiants qui apprennent à programmer dans cet environnement seront familiarisés avec le fonctionnement de l'IDE Arduino [6].

II.6.3 Types d'Arduino

Arduino Mega, Arduino Nano, Arduino Mine, Arduino Uno, Arduino Lilybad, Arduino Demulive, Boarduino, sont différents les uns des autres en ce qui concerne le nombre de sorties et d'entrées qui déterminent le nombre de dispositifs contrôlables et le nombre de capteurs pouvant être combinés avec le capteur, À l'intérieur et peut être changé ou non. Dans notre projet, nous utiliserons **Arduino UNO.**

II.6.4 Arduino UNO

Arduino UNO (Figure 2.4) est une carte à microcontrôleur à source ouverte basée sur le microcontrôleur Microchip ATmega328P et développée par Arduino. La carte est équipée d'un ensemble de broches d'entrée / sortie numériques et analogiques pouvant être interfacées avec diverses cartes d'extension (blindages).

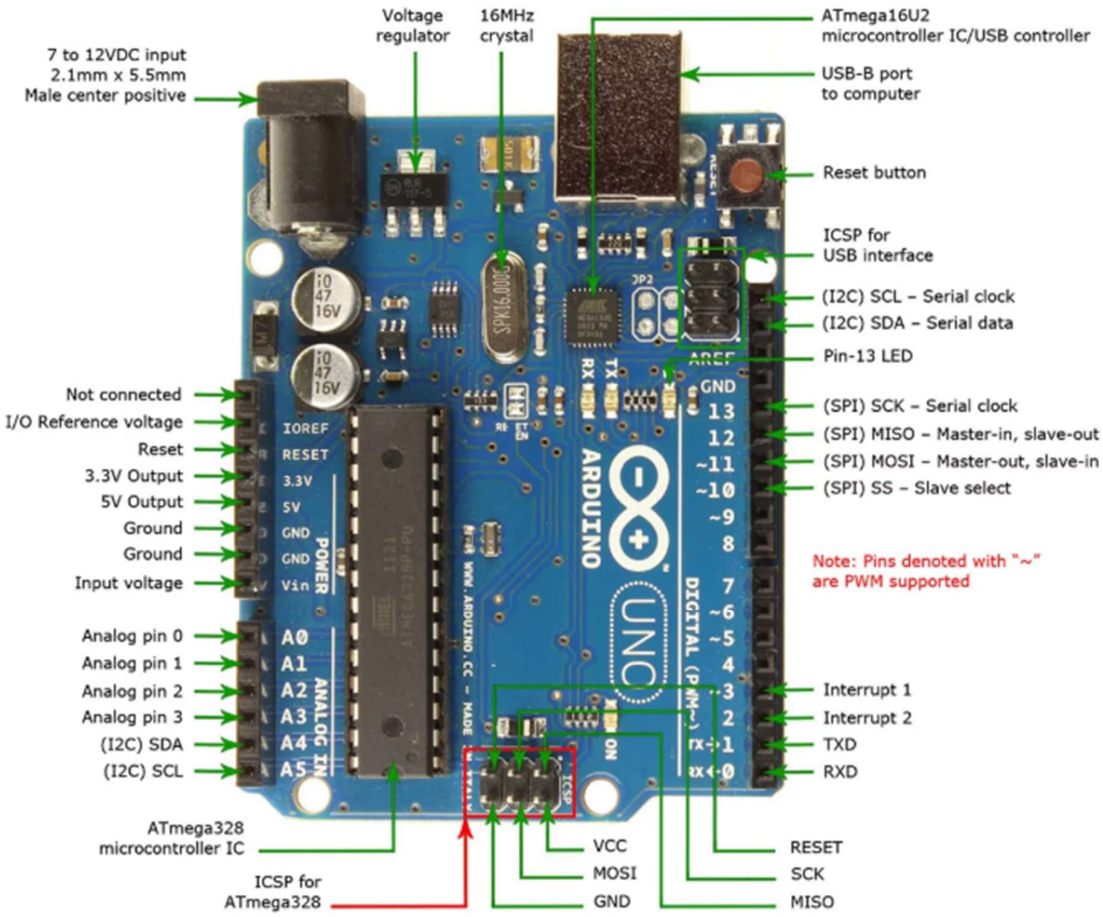


Figure 2.4 : Schéma de l'Arduino UNO.

La carte possède 14 broches numériques, 6 broches analogiques et est programmable avec l'Arduino IDE (environnement de développement intégré) via un câble USB de type B, Il peut être alimenté par un câble USB ou par une batterie externe de 9 volts, bien qu'il accepte des tensions comprises entre 7 et 20 Volts.

Il est également similaire à l'Arduino Nano et à Leonardo. "UNO" signifie un en italien et a été choisi pour marquer la sortie du logiciel Arduino (IDE). La carte UNO et la version 1.0 du logiciel Arduino (IDE) étaient les versions de référence d'Arduino, qui ont maintenant évolué vers de nouvelles versions.

La carte UNO est la première d'une série de cartes USB Arduino et le modèle de référence pour la plate-forme Arduino. L'ATmega328 de l'Arduino UNO est préprogrammé avec un chargeur de démarrage permettant de télécharger du nouveau code sans l'aide d'un programmeur matériel externe. Il communique à l'aide du protocole STK500 d'origine.

UNO diffère également de toutes les cartes précédentes en ce sens qu'elle n'utilise pas la puce de pilote FTDI USB vers série [6].

II.7 Capteurs et modules

II.7.1 Mesure d'humidité & de température par DHT11

Le module « break out » pour le capteur DHT11 (Figure 2.5) fournit une sortie numérique proportionnelle à la température et à l'humidité mesurées. La technologie utilisée pour produire le capteur DHT11 garantit une grande fiabilité, une excellente stabilité à long terme et un temps de réponse très rapide.

Chaque DHT11 est étalonné avec précision en laboratoire. Le coefficient d'étalonnage est mémorisé dans la mémoire interne de l'OTP et cette valeur est utilisée par le processus de détection du signal interne du capteur. L'interface série monofilaire permet une intégration rapide et simple de ce capteur dans le système numérique.

L'interface physique du capteur est réalisée par un connecteur à 3 broches: +5V, GND et DATA. Les deux premières broches sont l'alimentation et la terre et elles sont utilisées pour alimenter le capteur, la troisième est le signal de sortie numérique du capteur.

Sa petite taille physique (1.05 "x0.7") et son poids très léger (seulement 0.1oz) font de cette carte un choix idéal pour la mise en œuvre de petits robots et de systèmes de surveillance d'ambiance [7].

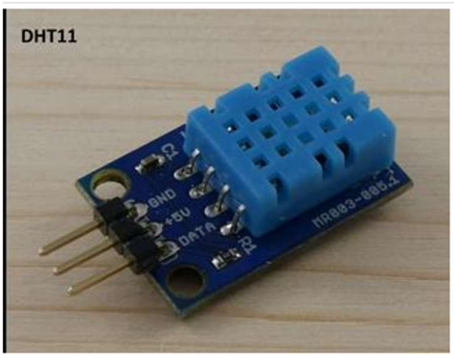


Figure 2.5 : Capteur d'humidité et de température DHT11.

II.7.1.1 Composants

Les capteurs DHT11 communiquent avec le microcontrôleur via une unique broche d'entrée / sortie, donc on verra ensemble le protocole de communication dans la suite de ce chapitre. L'interface physique du capteur est réalisée par un connecteur à 3 broches: +5V, GND et DATA, Le brochage du capteur est le suivant :

- La broche n°1 est la broche d'alimentation (5 volts ou 3.3 volts).
- La broche n°2 est la broche de communication. Celle-ci doit impérativement être reliée à l'alimentation via une résistance de tirage de 4.7K ohms (il s'agit d'une sortie à collecteur ouvert).
- La broche n°3 est la masse du capteur (GND) [8].

II.7.1.2 Déroulement d'une communication

La communication avec un capteur DHT11 se fait en 3 étapes (Figure 2.6) :
Tout d'abord, le microcontrôleur maître (la carte Arduino dans notre cas) réveille le capteur en plaçant la ligne de données à LOW pendant au moins 800µs (au moins 18ms pour le DHT11). Durant ce laps de temps, Le capteur va se réveiller et préparer une mesure de température et d'humidité.

Une fois le temps écoulé, le maître va libérer la ligne de données et passer en écoute.

Une fois la ligne de données libérée, le capteur répond au maître (pour montrer qu'il est bien réveillé) en maintenant la ligne de données à LOW pendant 80µs puis à HIGH pendant 80µs.

Le capteur va ensuite transmettre une série de 40 bits (5 octets). Les deux premiers octets contiennent la mesure de l'humidité. Les deux octets suivants contiennent la mesure de la température et le cinquième octet contient une somme de contrôle qui permet de vérifier que les données lues sont correctes [8].

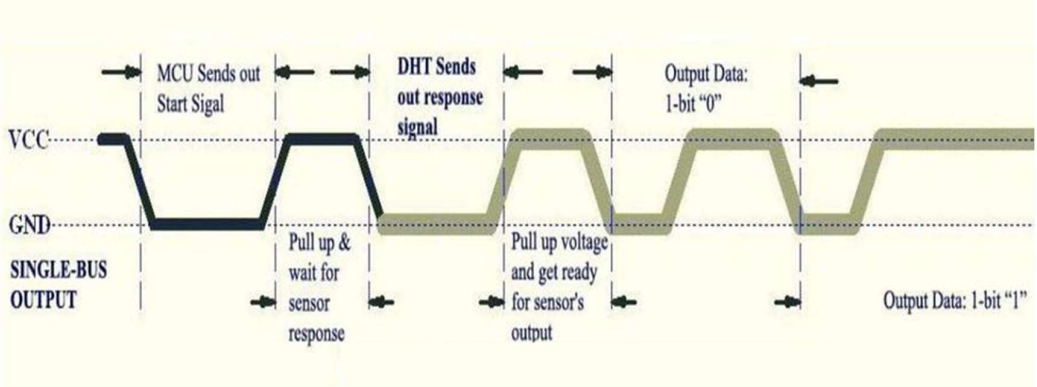


Figure 2.6 : Processus de communication global.

II.7.1.3 Caractéristiques

Les caractéristiques relatives au capteur DHT11 sont reportées sur le Tableau 2.5.

Tableau 2.5 : Les caractéristiques des DHT11.

Humidité (relative %)	20 ~ 80%
Précision (humidité)	+/- 5%
Température	0 ~ +50°C
Précision (température)	+/- 2°C
Fréquence mesure max	1Hz (1 mesure par seconde)
Tension d'alimentation	3 ~ 5 volts
Stabilité à long terme	+/- 1% par an

II.7.2 Module d'horloge temps réel DS3231 AT24C32

Le DS3231 (Figure 2.7) est un modèle économique, « Horloge temps réel » très précise pouvant conserver les heures, les minutes et les secondes, ainsi que des informations sur le jour, le mois et l'année. En outre, il offre une compensation automatique pour les années bissextiles et les mois de moins de 31 jours.

Ce qui le distingue est son fonctionnement avec sa propre batterie externe, ce qui lui permet de maintenir le calcul du temps et même lorsque l'alimentation est coupée de la plaque Arduino, Tandis que la connexion à cette carte est facilitée par le protocole de communication I2C qui est utilisé par le module.

La première question qui vient ici est de savoir pourquoi nous avons réellement besoin d'un RTC pour notre projet Arduino alors que le chronomètre Arduino lui-même est intégré? Le problème, c'est que le module RTC fonctionne sur batterie et peut garder une trace de l'heure même si nous reprogrammons le microcontrôleur ou déconnectons l'alimentation principale [9].

Figure 2.7 : Module d'horloge temps réel DS3231.

II.7.2.1 Fonctionnement et caractéristiques du module

Le module peut fonctionner sur 3.3 ou 5 V, ce qui le rend approprié pour de nombreuses plates-formes de développement ou microcontrôleurs. L'entrée de la batterie est de 3 V et une pile CR2032 3 V typique peut alimenter le module et conserver les informations pendant plus d'un an. Ses caractéristiques sont mentionnées comme suite :

• Dimension: 38mm * 22mm * 14mm

• Poids: 8g

• Tension de fonctionnement: 3.3 - 5.5 V

• Puce d'horloge: puce d'horloge de haute précision DS3231

• Précision de l'horloge dans la plage: 0-40 C°, précision 2 ppm, erreur d'environ 1 minute

• Sortie d'onde carrée programmable

• Horloge en temps réel, elle peut générer des secondes, des minutes, des heures, des jours, des dates, des mois et des années, et fournir du temps jusqu'à 2100, avec compensation de l'année bissextile.

• Le capteur de température de la puce interne est livré avec une précision de ± 3 °

• Puces de mémoire: AT24C32 (capacité de stockage de 32K)

• Interface de bus I2C, la vitesse de transmission maximale de 400KHz (tension de fonctionnement de 5V)

• Les autres appareils I2C peuvent être en cascade, l'adresse de mémoire 24C32 peut être modifiée par un court-circuit A0 / A1 / A2, l'adresse par défaut est 0x57

• Avec une batterie CR2032, l'horloge fonctionne encore même éteint [10].

II.7.3 Module de carte SD

Nous allons montrer comment utiliser un module de carte SD (Figure 2.8) avec Arduino pour lire et écrire des fichiers sur une carte SD.

Le module de carte SD est particulièrement utile pour les projets nécessitant un enregistrement de données, l'Arduino peut créer un fichier sur une carte SD pour écrire et sauvegarder des données à l'aide de la bibliothèque SD.

Il existe différents modèles de différents fournisseurs, mais ils fonctionnent tous de manière similaire, en utilisant le protocole de communication SPI. Le module (adaptateur de carte Micro SD) est un module de carte Micro SD de lecteur, et l'interface SPI via le pilote de système de fichiers, système de microcontrôleur pour compléter la carte Micro SD lire et écrire fichiers.
Les utilisateurs Arduino peuvent utiliser directement l'Arduino IDE qui est livré avec une carte SD pour finaliser l'initialisation de carte, de bibliothèque et lecture-écriture...

Les fonctionnalités du module sont les suivants : Support Micro SD carte (<= 2G), carte Micro SDHC (<= 32G) (haute carte de débit). Le niveau de conversion carte de circuit qui peut interface niveau est 5 v ou 3.3 V, carte d'interface de communication (standard SPI interface 4 M2 trous de vis de positionnement pour une installation facile Taille: 4.1 x 2.4cm).

L'interface de contrôle se présente comme suit: Un total de six broches (GND, VCC, MISO, MOSI, SCK, CS), GND à la masse, VCC est l'alimentation, MISO, MOSI, SCK est le bus SPI, CS est la sélection de puce signal de broche circuit régulateur 3.3V: LDO sortie du régulateur 3.3V comme puce de convertisseur de niveau, carte Micro SD alimentation circuit de conversion de niveau: carte Micro SD dans le sens des signaux en 3.3V, carte Micro SD vers la direction du signal MISO d'interface de commande est également converti en 3.3V, système de microcontrôleur AVR générale peut lire le signal [11].

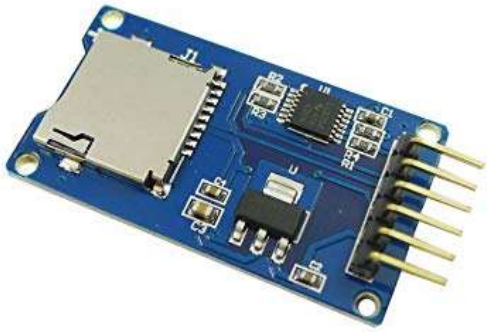


Figure 2.8 : Module de carte SD.

II.8 Algorithme implémenté en Arduino

La Figure 2.9 montre les différentes étapes d'implémentation de notre code sur Arduino. Le code source relatif se trouve à l'Annexe B.

II.9 Conclusion

Le long de ce chapitre, nous avons décrit le schéma synoptique, le schéma électrique ainsi que les fonctionnalités de chaque composante contenue dans notre enregistreur de données réalisé. Le but est de permettre d'acquérir, lire et enregistrer les différents paramètres physiques telle que l'humidité et la température avec la commande du rythme des prises de valeurs. Les résultats d'expériences sur terrain seront présentés, commentés et discutés dans le chapitre suivant.

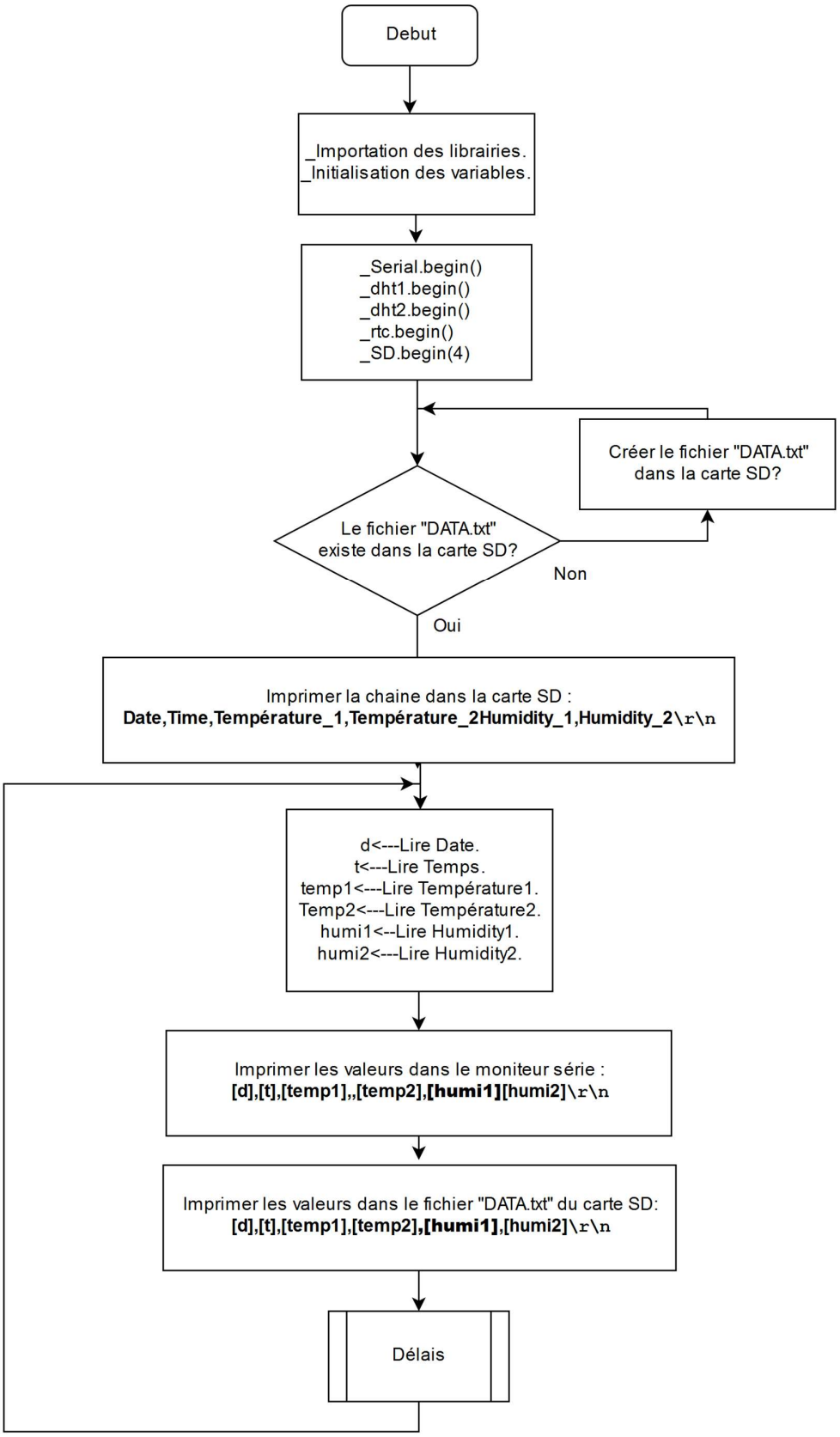


Figure 2.9 : Algorithme implémenté en Arduino.

Chapitre 3
Résultats d'expériences, discussions et commentaires

III-1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats les plus pertinents des expériences effectuées sur un terrain réel afin de valider le bon fonctionnement de notre Datalogger réalisé. Ces expériences ont été menées sur un 1 m^2 de sol sec et de sol arrosé afin de mettre en évidence les différentes conditions d'humidité et de température. Le Datalogger évalue le taux d'humidité et de température chaque cinq minute pendant une heure. Les résultats numériques de mesure ont été récupérées de la carte mémoire SD puis tracées sur Excel.

III-2 Expérience n°1

Etant donnée une plante dans du sol sec; on a placé deux capteurs un de température et un autre d'humidité, le premier proche de la plante et l'autre loin d'elle. On fera un suivi des résultats à trois reprises pendant 24h ; de 9h à 10h, de 13h à 14h et de 16h à 17h. Les résultats qu'on a obtenus sont représentés dans les tableaux et les figures suivantes.

III-2-1 De 9h à 10h

La Figure 3.1 montre le placement du Datalogger sur le sol sec et sous la plante. Cette expérience permet de mesurer l'humidité et la température de la plante non arrosée. Les résultats de mesure sont reportés sur le Tableau 3.1

Figure 3.1: Datalogger mis en sol sec et sous la plante par un matin.

Tableau 3.1 : Mesures de température et humidité matinales (sol sec).

Date	Temps	Température.1	Température.2	Humidité.1	Humidité.2
27.05.2019	9:16:17	23	23	49	47
27.05.2019	9:21:17	21.5	21	50	49
27.05.2019	9:26:17	20.9	20.3	65	63
27.05.2019	9:31:17	21.6	20.7	60	59
27.05.2019	9:36:17	22.7	21.6	50	55
27.05.2019	9:41:17	22.2	21	44	52
27.05.2019	9:46:17	22.8	21.5	48	50
27.05.2019	9:51:17	22.9	20.3	48	53
27.05.2019	9:56:17	22.4	22.1	49	49
27.05.2019	10:01:17	23.8	22.5	45	46
27.05.2019	10:06:17	24.6	23.6	35	44
27.05.2019	10:11:17	24.6	22.7	32	45
27.05.2019	10:16:17	24.8	22.6	33	46

Les représentations graphiques des données sauvegardées sur la mémoire sont illustrées sur les Figures 3.2-3.3.

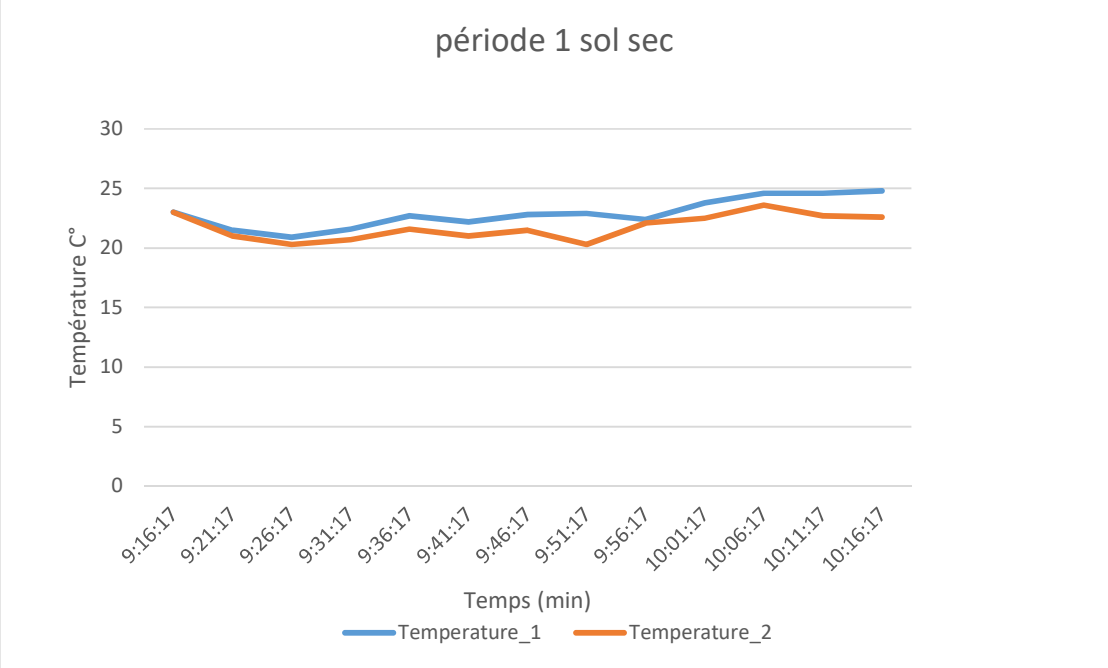


Figure 3.2 : Graphique périodique de température du sol sec (mesures matinales).

On remarque sur la Figure 3.2 un léger changement de température pour les deux capteurs (un capteur proche de la plante et le deuxième plus loin). On en déduit que la température est plus élevée près de la zone où se trouve la plante due à l'activité organique de celle-ci et ceci nous donne des informations sur sa progression.

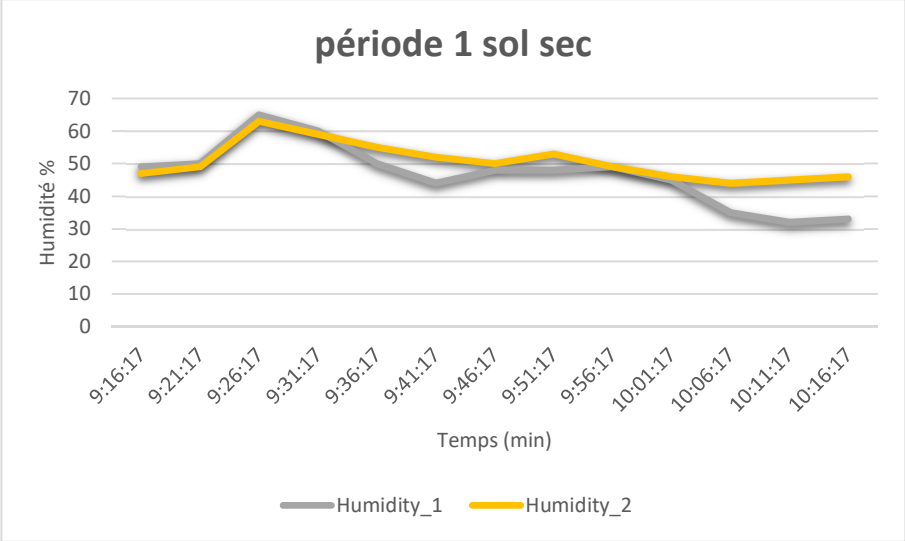


Figure 3.3 : Graphique périodique d'humidité du sol sec (mesures matinales).

On remarque sur la Figure 3.3 un changement de pourcentage d'humidité au niveau des deux capteurs tel que:

- Le pourcentage d'humidité augmente progressivement pour les deux emplacements du capteur. Autrement dit, pour l'emplacement 1 et 2 ; arrivé au point (9 :26 :17 ; 65%-h1 ;63%-h2), on remarque une chute importante pour le premier emplacement (capteur 1 proche de la plante) et une chute progressive pour le deuxième (capteur 2 loin de la plante).
- Arrivé à 60 minute d'observation, on constate que le deuxième taux d'humidité (46%) lu à partir du capteur 2 est plus élevé que le premier taux (33%) lu du premier capteur.

On en déduit que le taux d'humidité est plus élevé près de la zone où se trouve la plante due à l'activité organique de la plante et ceci nous informe aussi sur sa progression.

III-2-2 De 13h à 14h:

La Figure 3.4 montre le placement du Datalogger par un après-midi sur un sol sec et sous la plante pour but de mesurer la température de la plante non arrosée ainsi que l'humidité. Les résultats de mesure sont reportés sur le Tableau 3.2

Figure 3.4: Datalogger mis en sol sec et sous la plante à l'après midi.

Tableau 3.2 : Mesure de la température et de l'humidité à l'après midi (sol sec).

Date	Temps	Température.1(C°)	Température.2(C°)	Humidité.1(%)	Humidité.2(%)
27.05.2019	13:20:21	36	37.4	31	27
27.05.2019	13:25:21	36.3	37.8	29	26
27.05.2019	13:30:21	39.4	41.3	23	21
27.05.2019	13:35:21	40.2	40.7	20	20
27.05.2019	13:40:22	40.2	41.1	21	21
27.05.2019	13:45:22	40.8	41.4	19	20
27.05.2019	13:50:22	40.1	39.1	15	18
27.05.2019	13:55:22	40.1	40.5	16	17
27.05.2019	14:00:22	39	39.6	20	19
27.05.2019	14:05:22	39.3	40	18	17
27.05.2019	14:10:22	39.2	38.5	18	20
27.05.2019	14:15:23	40.3	41.5	17	18
27.05.2019	14:20:23	39.8	39.8	17	19
27.05.2019	14:25:23	39.3	40.6	20	18

Les représentations graphiques des données enregistrées sur la mémoire sont illustrées sur les Figures 3.5-3.6.

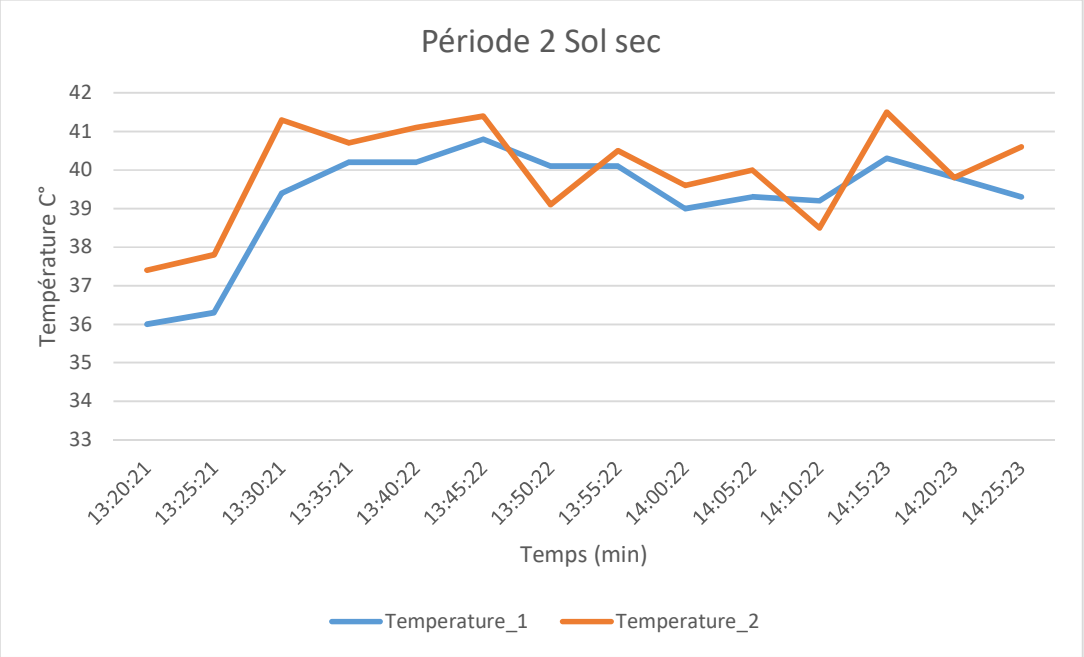


Figure 3.5 : Graphique périodique de température du sol sec (mesures d'après-midi).

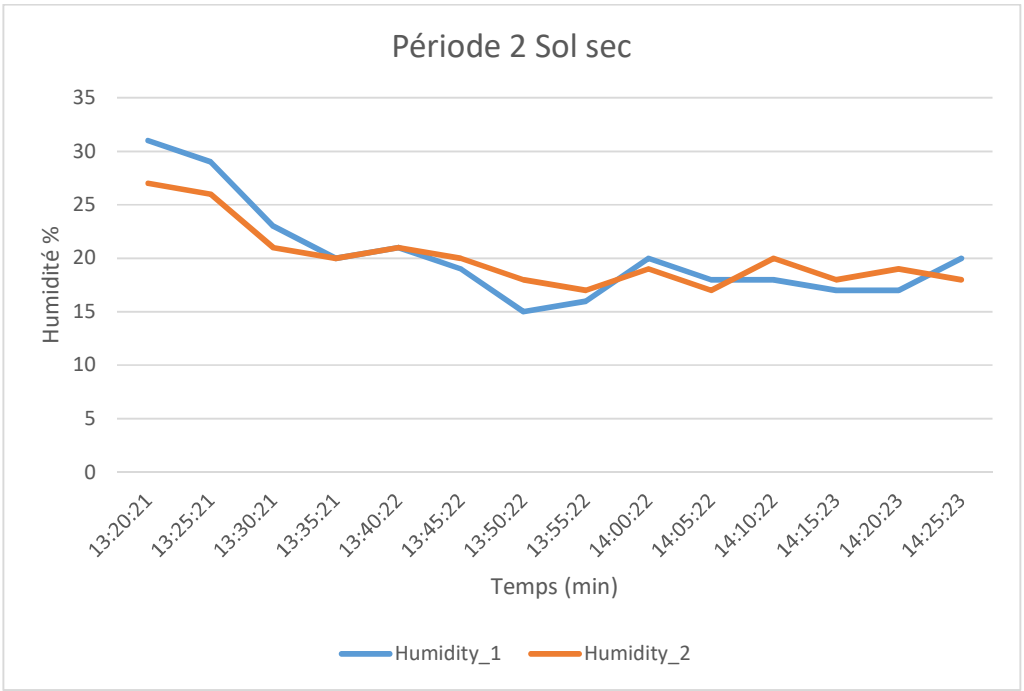


Figure 3.6 : Graphique périodique d'humidité du sol sec (mesures d'après-midi).

On remarque sur la Figure 3.5 un changement non régulier (augmentation et diminution) de température pour les deux capteurs (un capteur proche de la plante et le deuxième loin) :

-Température 1 allant de 36C° jusqu'à 40.8C°

-Température 2 allant de 37.4C° jusqu'à 41.5C°

D'autre part, on remarque sur la Figure 3.6 un changement de pourcentage d'humidité au niveau des deux capteurs :

- Le pourcentage d'humidité diminue fortement pour capteurs 1 et 2. Arrivé au point (13 :50:22 ; 15%- h1 ;18%-h2), on remarque que la chute du pourcentage d'humidité 1 et 2 commence à être non régulière (augmentation et diminution),
- Arrivé à 60 minute d'observation, on remarque que l'humidité 1 (20%) issue du capteur 1 est plus élevé que l'humidité 2 (18%) issue du capteur 2.

III-2-3 De 16h à 17h:

La Figure 3.7 montre le placement du Datalogger sur le sol sec et sous la plante pour les mesures du soir. Les résultats sont reportés sur le Tableau 3.3.

Figure 3.7: Datalogger mis en sol sec et sous la plante pendant le soir.

Tableau 3.3 : Mesure de la température et de l'humidité pendant le soir (sol sec).

Date	Temps	Température.1	Température.2	Humidité.1	Humidité.2
27.05.2019	16:14:59	23.6	23.3	50	49
27.05.2019	16:19:59	26.2	27	45	42
27.05.2019	16:24:59	31	30.8	33	32
27.05.2019	16:29:59	30.9	29.3	30	33
27.05.2019	16:34:59	27.8	25.2	33	39
27.05.2019	16:39:59	26.2	25	37	39
27.05.2019	16:44:59	26.3	25.2	39	41
27.05.2019	16:49:59	25.9	24.9	40	42
27.05.2019	16:54:59	25.4	24.3	41	43
27.05.2019	16:59:59	25.3	24.3	41	43
27.05.2019	17:04:59	24.5	24	41	43
27.05.2019	17:09:59	24.6	24.1	44	45
27.05.2019	17:14:59	24.6	24.1	44	45

Les représentations graphiques des données sont illustrées sur les Figures 3.8-3.9.

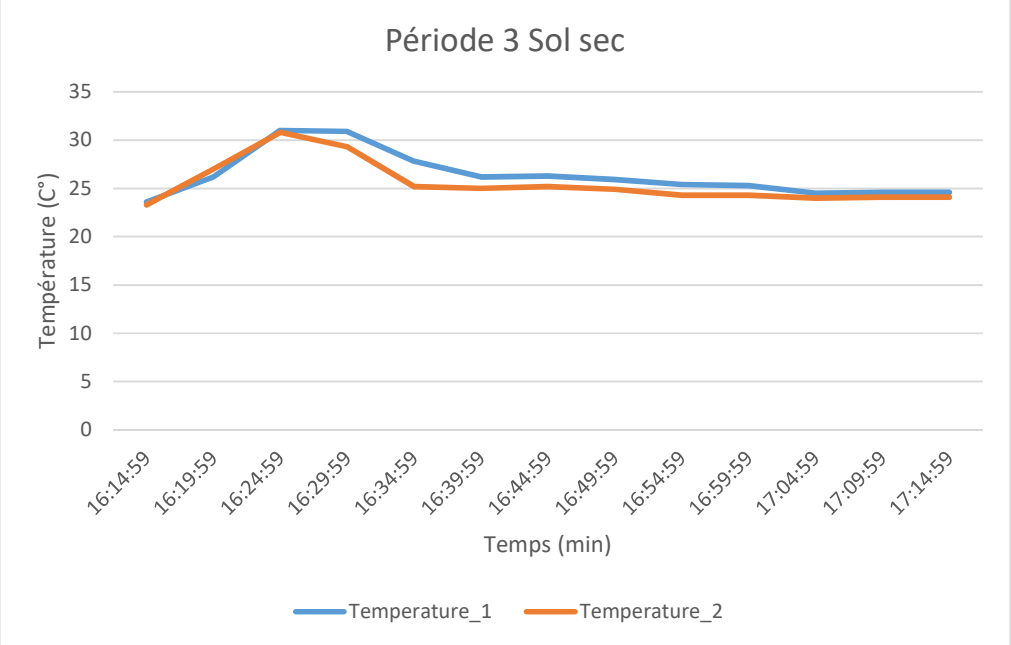


Figure 3.8 : Graphique périodique de température du sol sec pendant le soir.

On remarque sur la Figure 3.8 un léger changement de température pour les deux capteurs (un capteur proche de la plante et le deuxième loin) : Augmentation de la température jusqu'à (31C° – T1 et 30.8C° - T2) puis une diminution légère de la température jusqu'à 60 minutes d'observation.

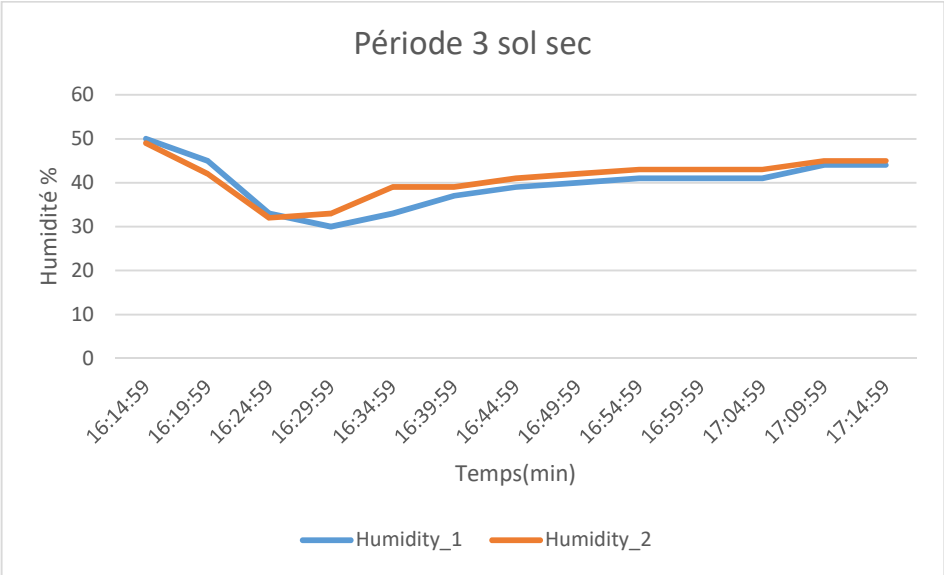


Figure 3.9 : Graphique périodique d'humidité du sol sec pendant le soir.

On remarque sur la Figure 3.9 un changement de pourcentage d'humidité au niveau des deux capteurs :

- Le pourcentage d'humidité diminue progressivement pour capteurs 1 et 2. Arrivé au point (16 :29:59 ; 30%- h1 ;33%-h2), on remarque une légère augmentation de l'humidité.
- Arrivé à 60 minute d'observation, on a une stabilisation du pourcentage de l'humidité 1 (44%) lue à partie du premier capteur et l'humidité 2 (45%) lue par le deuxième capteur.

Maintenant, on expose les résultats obtenus en menant les mêmes essais sauf que la plante est arrosée en utilisant de l'eau minérale (bouteilles de 1 L et de 1.5 L).

III.2.4 De 09h à 10h:

La Figure 3.10 montre le placement du Datalogger sur le sol arrosé et sous la plante. Cette expérience permet de mesurer l'humidité et la température de la plante arrosée. Les résultats de mesure sont reportés sur le Tableau 3.4

Figure 3.10: Datalogger mis en sol arrosé et sous la plante par un matin.

Tableau 3.4 :mesure de la température et de l'humidité matinal (sol arrosé).

Date	Temps	Température.1	Température.2	Humidité.1	Humidité.2
28.05.2019	9:16:17	22	23	45	47
28.05.2019	9:21:17	21.3	21	50	49
28.05.2019	9:26:17	21.5	21.3	65	63
28.05.2019	9:31:17	21.7	21.7	60	59
28.05.2019	9:36:17	22.7	22.6	55	55
28.05.2019	9:41:17	23.7	23	47	52
28.05.2019	9:46:17	22.8	22.5	50	50
28.05.2019	9:51:17	22.9	22.3	48	53
28.05.2019	9:56:17	23.5	22.9	49	49
28.05.2019	10:01:17	23.4	23.5	45	46
28.05.2019	10:06:17	24.6	24.4	33	44
28.05.2019	10:11:17	26.7	26.9	31	45
28.05.2019	10:16:17	27.8	27.6	33	46

Les représentations graphiques des données sauvegardées sur la mémoire sont illustrées sur les Figures 3.11-3.12.

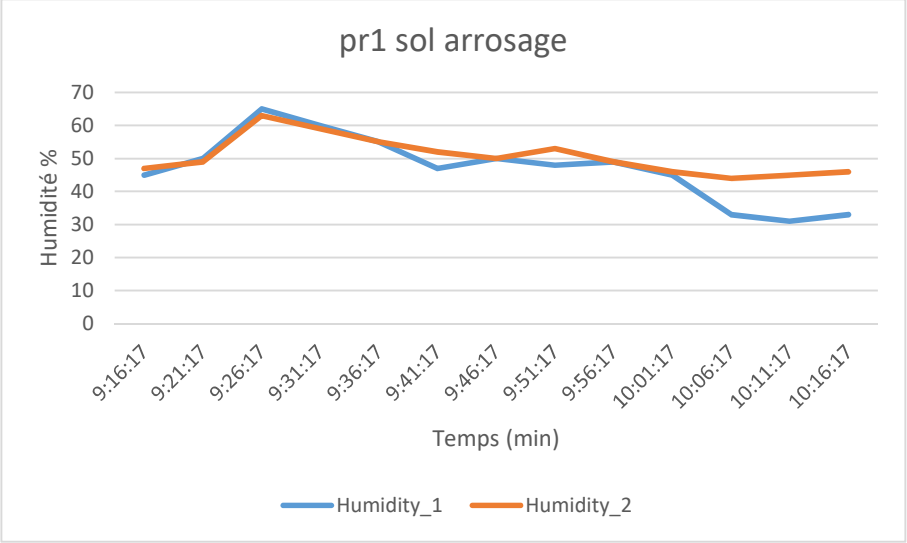


Figure 3.11 : Graphique périodique d'humidité du sol arrosé.

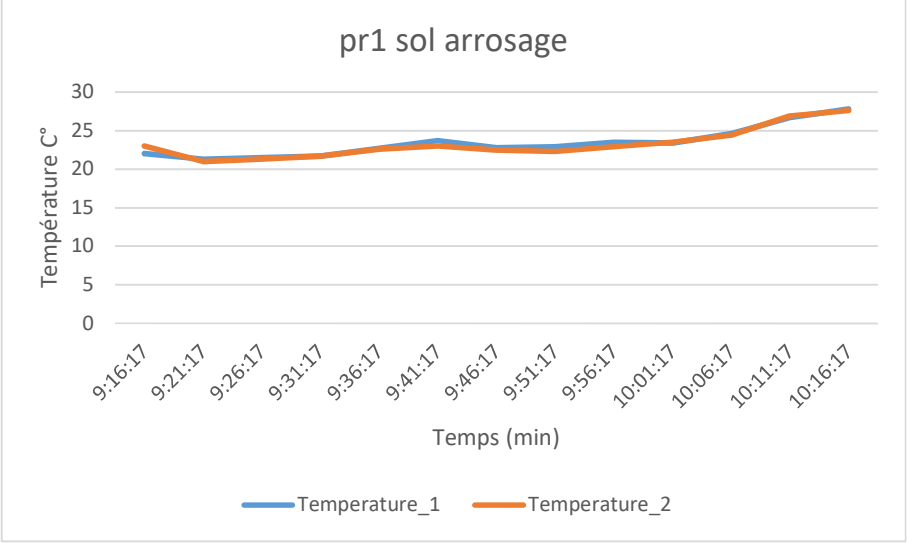


Figure 3.12 : Graphique périodique de température du sol arrosé.

On remarque sur la Figure 3.11 un changement de pourcentage d'humidité au niveau des deux capteurs. On récapitule comme suit :

- Le pourcentage d'humidité augmente pour capteurs 1 et 2. Au point (9 :26:17 ; 65%- h1 ; 63%-h2), on remarque qu'il y a diminution progressive des deux humidités.

- Arrivé à 60 minute d'observation, on constate que l'humidité 2 (46%) issue du capteur 2 qui est loin de la plante est un peu plus élevé que l'humidité 1 (33%) du capteur 1 qui est près de la plante.

On remarque sur la Figure 3.12 une légère augmentation de température pour les deux capteurs (un capteur proche de la plante et le deuxième loin) :

- Après 60 minute d'observation, on a une température qui change de 22 C° à 27.8 C° pour le capteur de température 1 et de 23 C° jusqu'à 27.6 C° pour le capteur de température 2.

III.2.5 De 13h à 14h:

La Figure 3.13 montre le placement du Datalogger sur le sol arrosé et sous la plante. Le Tableau 3.5 reporte les mesures obtenues de la carte SD.

Figure 3.13: Datalogger mis en sol arrosé et sous la plante à l'après midi.

Tableau 3.5 : Mesure de la température et de l'humidité à l'après midi (sol arrosé).

Date	Temps	Température.1	Température.2	Humidité.1	Humidité.2
28.05.2019	13:21:07	28.8	29.3	31	29
28.05.2019	13:26:07	31	31.9	36	27
28.05.2019	13:31:07	35.8	34.2	27	25
28.05.2019	13:36:07	36.5	35.3	24	22
28.05.2019	13:41:07	36.3	35.5	24	21
28.05.2019	13:46:07	36.7	33.8	24	24
28.05.2019	13:51:07	36.3	34.5	24	23
28.05.2019	13:56:07	36.1	34.1	24	23
28.05.2019	14:01:07	35.8	35.5	23	22
28.05.2019	14:06:07	34.6	32	26	27
28.05.2019	14:11:08	35.4	31.8	23	25
28.05.2019	14:16:08	34.9	33.3	21	24
28.05.2019	14:21:08	36.3	34.7	21	21

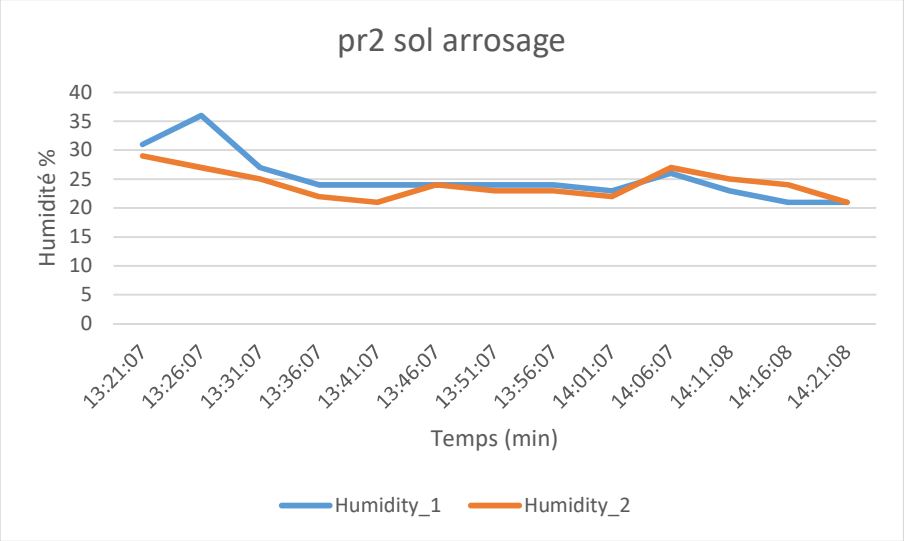


Figure 3.14 : Graphique périodique d'humidité du sol arrosé.

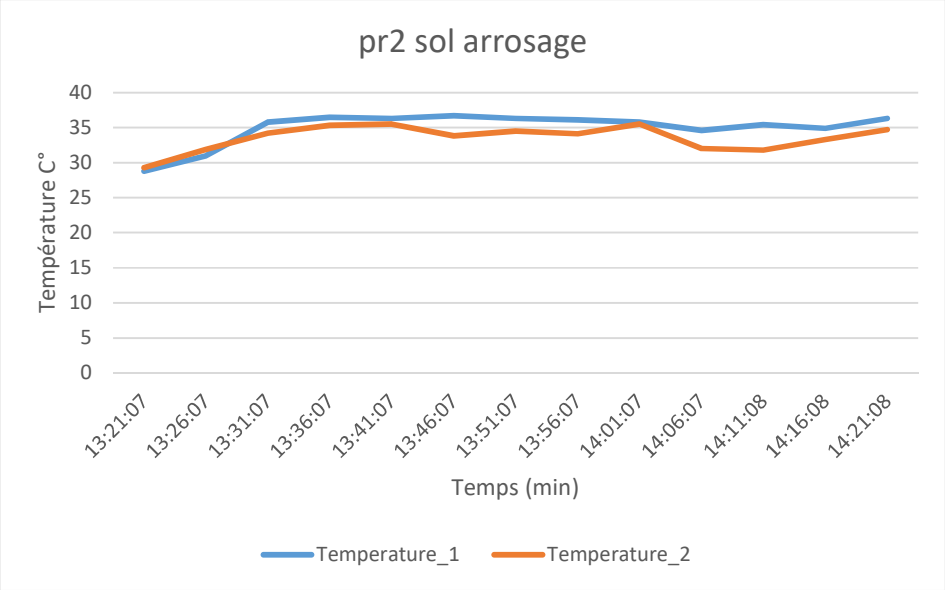


Figure 3.15 : Graphique périodique de température du sol arrosé.

On remarque sur la Figure 3.14 un léger changement de pourcentage d'humidité au niveau des deux capteurs :

- Le pourcentage d'humidité commence à diminuer jusqu'au point (13 :41:07 ; 24%- h1 ; 27%-h2) où le taux d'humidité commence à se stabiliser en fluctuant légèrement entre augmentation et diminution.
- Après 60 minutes d'observation, on constate que les deux capteurs de l'humidité 1 et 2 arrivent au même taux d'humidité (21%).

On remarque sur la Figure 3.15 une légère augmentation de température pour les deux capteurs, proche et loin. Après 60 minute d'observation, on a une température qui change de 28.8 C° à 36.3 C° pour capteur 1 et de 29.3C° jusqu'à 34.7C° pour capteur 2.

III.2.6 De 16h à 17h:

La Figure 3.16 montre le placement du Datalogger sur le sol arrosé et sous la plante pour les mesures du soir présentées sur le Tableau 3.6.

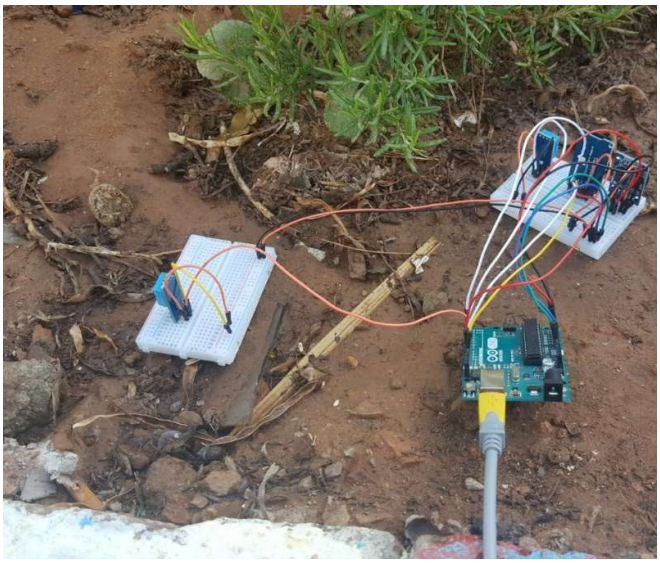


Figure 3.16: Datalogger sur le sol arrosé et sous la plante à pendant le soir.

Tableau 3.6 :Mesure de la température et de l'humidité pendant le soir (sol arrosé).

Date	Temps	Température.1	Température.2	Humidité.1	Humidité.2
28.05.2019	16:41:15	26.8	26.4	36	35
28.05.2019	16:46:15	26.8	26.6	36	35
28.05.2019	16:51:15	26.9	26.6	34	33
28.05.2019	16:56:15	26.9	26.6	33	33
28.05.2019	17:01:15	27.1	26.8	34	33
28.05.2019	17:06:15	27.1	26.8	32	33
28.05.2019	17:11:15	27.1	26.8	35	34
28.05.2019	17:16:15	27.1	26.7	34	34
28.05.2019	17:21:15	27.4	27.3	30	30
28.05.2019	17:26:15	27.5	27.4	27	27
28.05.2019	17:31:15	27.5	27.3	33	33
28.05.2019	17:36:15	26.2	25.9	43	41
28.05.2019	17:41:15	26.5	26.3	41	39

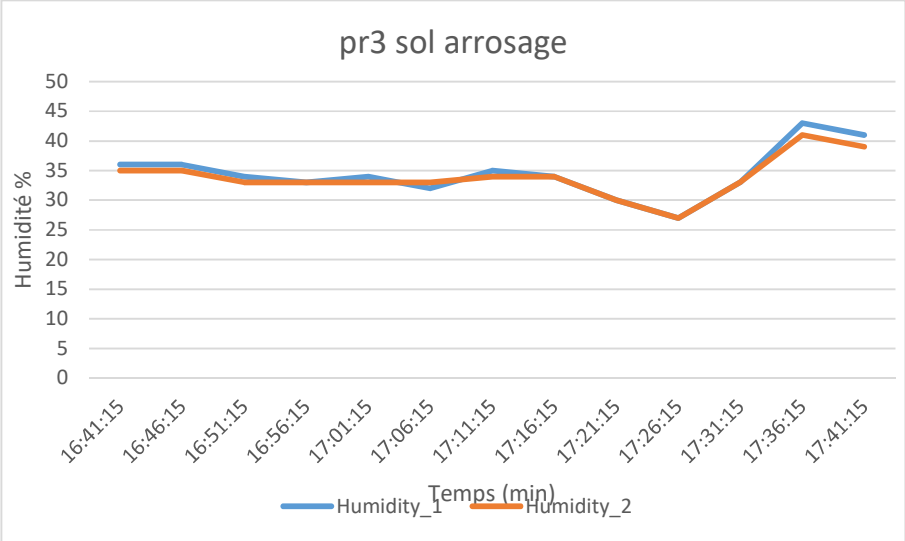


Figure 3.17 : Graphique périodique d'humidité du sol arrosé.

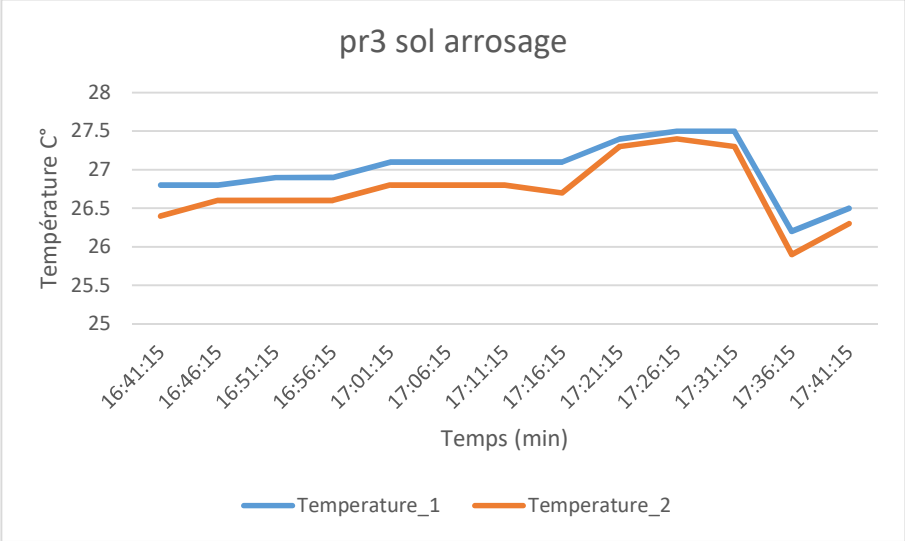


Figure 3.18 : Graphique périodique de température du sol arrosé.

On remarque sur la Figure 3.17 un changement de pourcentage d'humidité au niveau des deux capteurs :

- Le pourcentage d'humidité commence à diminuer légèrement pour les deux capteurs jusqu'au point (17 :26 :15 ; 27%- h1 ;27%-h2) où le taux d'humidité commence à augmenter pour les deux capteurs.
- Après 60 minutes d'observation on enregistre une humidité 1 qui est de 41% et une humidité 2 qui atteint 39%.

On remarque sur la Figure 3.18 une légère augmentation de température pour les deux capteurs (un capteur proche de la plante et le deuxième loin) :

- Arrivé au point (17:31:15 ; 27.5C°-T1 ; 27.3C°-T2), on a une diminution assez importante de température,
- Après une heure d'observation, on a une température qui change de 28.8 C° à 36.3 C° pour le capteur 1 et de 29.3 C° jusqu'à 34.7 C° pour le deuxième capteur.

III-3 Expérience n°2

Dans cette deuxième expérience, on arrose la plante sur le sol sec dans le premier jour. Le jour suivant, on a placé le Datalogger et on a repris les mêmes mesures d'humidité et de température qu'en expérience 1 et pendant les mêmes horaires. Durant le troisième et quatrième jour, on a laissé la plante telle quelle est jusqu'à le cinquième jour où on a placé les capteurs pour voir la réaction du sol avec la plante. Les résultats relatifs au deuxième et cinquième jour sont présentés et discutées ci-après.

III.3.1 Deuxième jour : De 09h à 10h:

La Figure 3.19 montre le placement du Datalogger sur le sol sec et sous la plante. Cette expérience permet de mesurer l'humidité et la température de la plante non arrosée en deuxième jour matin. Les résultats de mesure sont reportés sur le Tableau 3.7

Figure 3.19: Datalogger mis en sol sec et sous la plante par un matin en deuxième jour.

Tableau 3.7 : Mesures de température et humidité matinales (sol sec, deuxième jour).

Date	Temps	Température.1	Température.2	Humidité.1	Humidité.2
04.06.2019	9:00:29	26.8	26.2	60	60
04.06.2019	9:05:29	27.3	28	60	56
04.06.2019	9:10:29	28.2	34	55	38
04.06.2019	9:15:29	30.5	36.4	47	35
04.06.2019	9:20:29	31.7	35	44	34
04.06.2019	9:25:29	34	34.7	39	34
04.06.2019	9:30:29	35.2	34.6	37	40
04.06.2019	9:35:30	37	36	34	35
04.06.2019	9:40:30	35.8	33.7	34	37
04.06.2019	9:45:30	36.7	33	32	43
04.06.2019	9:50:30	37	30.7	34	43
04.06.2019	9:55:30	36.2	28.3	34	47
04.06.2019	10:00:30	34.6	27	37	51
04.06.2019	10:05:30	32.8	25.4	38	53

Les représentations graphiques des données sauvegardées sur la mémoire sont illustrées sur les Figures 3.20-3.21.

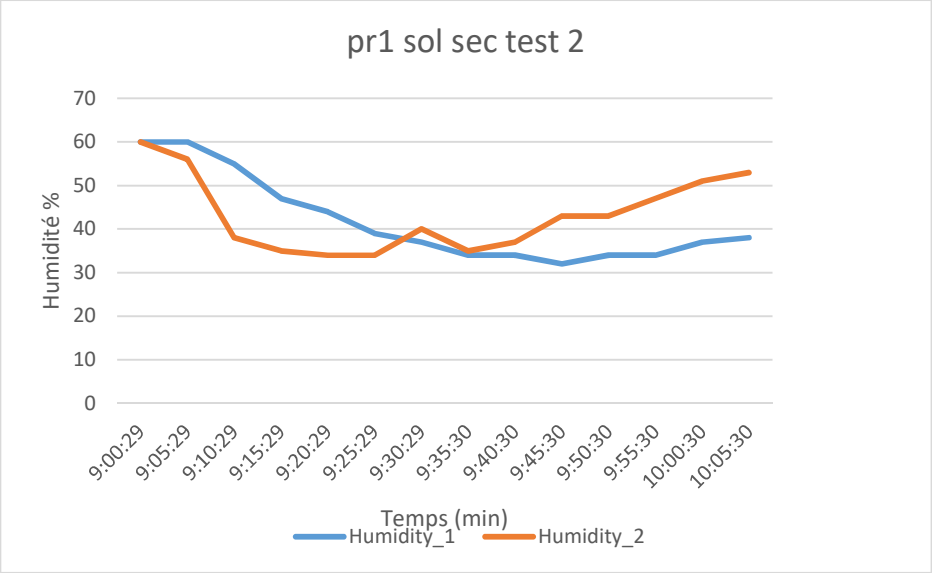


Figure 3.20 : Graphique périodique d'humidité du sol sec en deuxième jour (mesures matinales).

On remarque sur la Figure 3.20 un changement de pourcentage d'humidité au niveau des deux capteurs tel que:

- Le pourcentage d'humidité commence à diminuer progressivement pour les deux capteurs. Arrivé au point (9 :50 :30 ; 34%- h1 ; 43%-h2) ; le taux d'humidité commence à augmenter légèrement pour le capteur 2 et à se stabiliser pour le capteur 1.
- Après 60 minutes d'observation, l'humidité 1 est arrivée à 38% et l'humidité 2 atteint 53%.

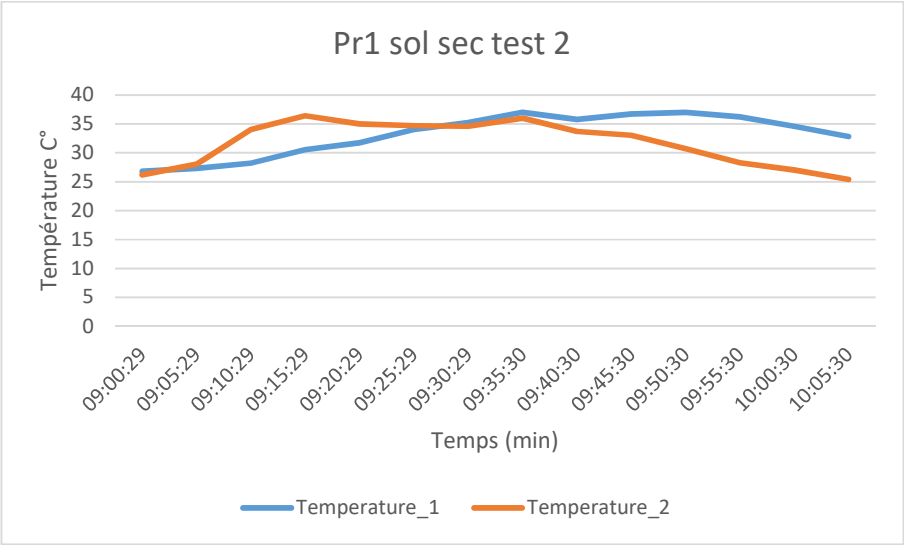


Figure 3.21 : Graphique périodique de température du sol sec en deuxième jour (mesures matinales).

On remarque sur la Figure 3.21 une augmentation de température pour les deux capteurs (un capteur proche de la plante et le deuxième loin) suivie d'une diminution à partir du point (09:35:30 ; 37C°-T1 ; 36C°-T2).

-Après 60 minute d'observation, on a une température qui fluctue d'une façon irrégulière entre augmentation et diminution pour atteindre, à la fin, 32.8 C° pour T1 et 25.4 C° pour T2.

III.3.2 Deuxième jour : De 13h à 14h:

La Figure 3.22 montre le placement du Datalogger sur le sol sec et sous la plante pour mesures de température et d'humidité en deuxième jour l'après-midi. Les résultats sont affichés sur le Tableau 3.8.

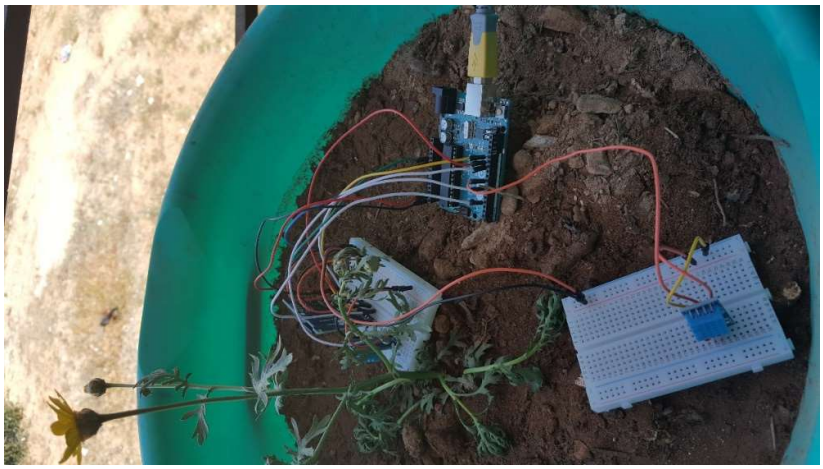


Figure 3.22 : Datalogger mis en sol sec et sous la plante à l'après midi en deuxième jour.

Tableau 3.8 : Mesures de la température et de l'humidité à l'après midi (sol sec, deuxième jour).

Date	Temps	Température.1	Température.2	Humidité.1	Humidité.2
04.06.2019	12:57:28	22.2	21.7	74	67
04.06.2019	13:02:28	22	21.4	74	68
04.06.2019	13:07:28	21.2	20.3	77	70
04.06.2019	13:12:28	21.3	20.5	76	73
04.06.2019	13:17:28	21.3	20.5	76	70
04.06.2019	13:22:28	21.5	20.9	76	70
04.06.2019	13:27:28	21.3	20.7	76	70
04.06.2019	13:56:45	21.2	20.4	80	73
04.06.2019	14:01:45	21.1	20.3	81	72
04.06.2019	14:06:45	21	20.4	79	71
04.06.2019	14:11:45	20.8	20.3	77	71
04.06.2019	14:16:45	21.3	20.7	78	71
04.06.2019	14:21:45	21.6	20.9	76	70

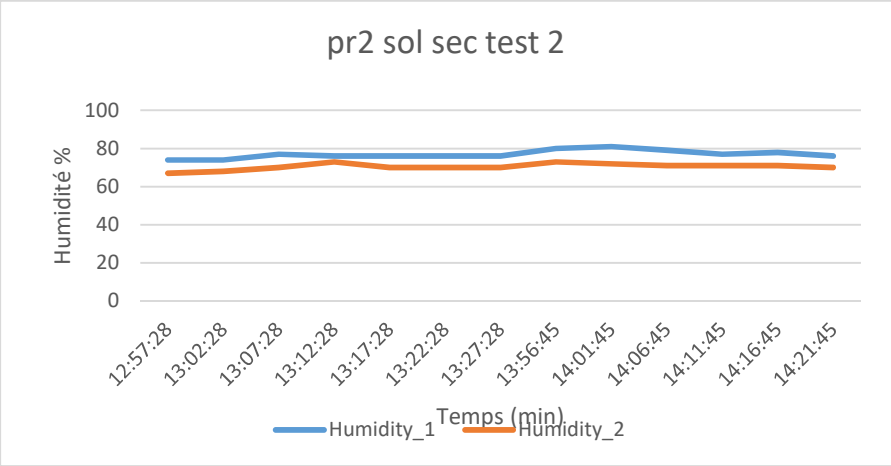


Figure 3.23 : Graphique périodique d'humidité du sol sec en deuxième jour (mesures de l'après-midi).

On remarque sur la Figure 3.23 un changement très léger de pourcentage d'humidité au niveau des deux capteurs : Le pourcentage d'humidité change légèrement avec le temps pour atteindre un taux d'humidité de 76% pour H1 et 70% pour H2.

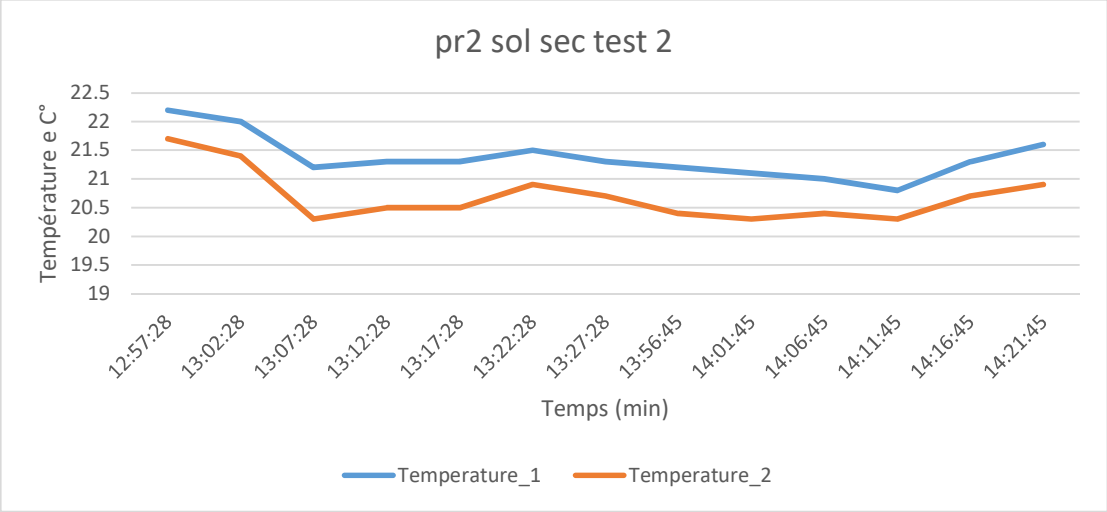


Figure 3.24 : Graphique périodique de température du sol sec en deuxième jour (mesures de l'après-midi).

On remarque sur la Figure 3.24 une diminution de température pour les deux capteurs (un capteur proche de la plante et le deuxième loin) suivie d'une augmentation très légère à partir du point (13:07:28 ; 21.2C°-T1 ; 20.3C°-T2).

- Après 60 minutes d'observation, on enregistre une température qui change d'une façon irrégulière entre augmentation et diminution légère pour à la fin atteindre 21.6 C° pour T1 et 20.9 C° pour T2.

III.3.3 Deuxième jour : De 16h à 17h:

La Figure 3.25 montre le placement du Datalogger sur le sol sec et sous la plante pour mesures en deuxième jour après celui de l'arrosage pendant le soir. Les résultats sont présentés sur le Tableau 3.9.

Figure 3.25 : Datalogger mis en sol sec et sous la plante pendant le soir en deuxième jour.

Tableau 3.9 : Mesures de la température et de l'humidité pendant le soir (sol sec, deuxième jour)

Date	Temps	Température.1	Température.2	Humidité.1	Humidité.2
04.06.2019	15:57:29	23.3	22.7	70	67
04.06.2019	16:02:29	23.2	22.7	69	67
04.06.2019	16:07:29	22.4	21.8	73	68
04.06.2019	16:12:29	22.2	21.5	75	69
04.06.2019	16:17:29	22.3	21.6	75	70
04.06.2019	16:22:29	22.1	21.4	75	69
04.06.2019	16:27:29	22.1	21.5	74	68
04.06.2019	16:32:29	22.1	21.5	72	67
04.06.2019	16:37:29	22.3	21.7	70	67
04.06.2019	16:42:29	22.3	21.8	68	64
04.06.2019	16:47:29	22.3	21.7	69	64
04.06.2019	16:52:29	22.5	22	71	67
04.06.2019	16:57:29	22.6	22	72	67

Les représentations graphiques des données sauvegardées sur la mémoire sont affcihées sur les Figures 3.26-3.27

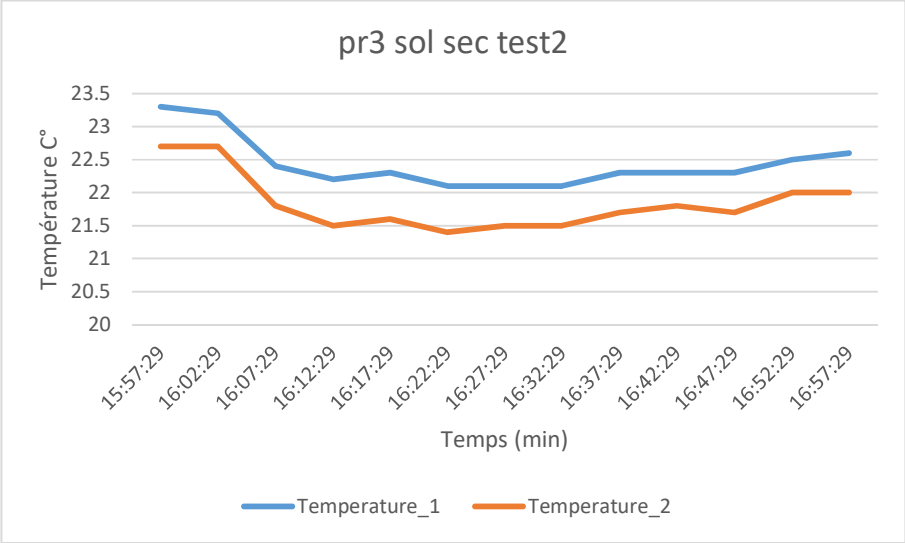


Figure 3.26 : Graphique périodique de température du sol sec en deuxième jour (mesures du soir).

On remarque sur la Figure 3.26 une diminution de température pour les deux capteurs (un capteur proche de la plante et le deuxième loin) suivie d'une augmentation progressive.

-Après 60 minutes d'observation, la température se stabilise à 22.6 C° pout T1 et de 22C° pour T2.

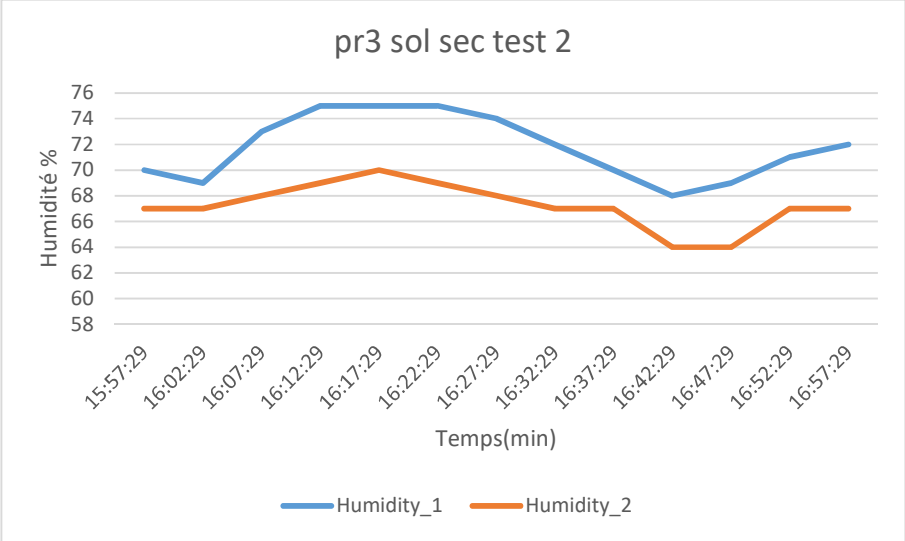


Figure 3.27 : Graphique périodique d'humidité du sol sec en deuxième jour (mesures du soir).

On remarque sur la Figure 3.27 un changement de pourcentage d'humidité au niveau des deux capteurs tel que :

- Le pourcentage d'humidité commence à augmenter puis diminue fortement et à partir du point (16 :42 :29 ; 68%- h1 ; 64%-h2) ; le taux d'humidité recommence à augmenter progressivement pour les deux capteurs d'humidité.
- Après 60 minutes d'observation l'humidité 1 est arrivée à 72% tandis que l'humidité 2 atteint 65%.

III.3.4 Cinquième jour : De 09h à 10h :

La Figure 3.28 montre le placement du Datalogger sous la plante pour but de mesurer les conditions du sol en cinquième jour matin. Les résultats numériques sont reportés sur le Tableau 3.10.

Figure 3.28: Datalogger mis en sol sec et sous la plante par le matin du cinquième jour.

Tableau 3.10 : Mesures de température et humidité matinales (sol sec, cinquième jour).

Date	Temps	Température.1	Température.2	Humidité.1	Humidité.2
07.06.2019	9:10:54	32.8	34.1	25	27
07.06.2019	9:15:54	32.8	34.2	26	28
07.06.2019	9:20:54	34.5	38.1	23	22
07.06.2019	9:25:54	35.8	40.6	20	20
07.06.2019	9:30:54	35.8	40.5	20	18
07.06.2019	9:35:54	36.2	41.6	21	18
07.06.2019	9:40:54	36.3	41.2	19	16
07.06.2019	9:45:54	36.3	40.8	19	16
07.06.2019	9:50:54	37	41	18	17
07.06.2019	9:55:54	36.8	39.8	18	17
07.06.2019	10:00:54	36.6	38	17	16
07.06.2019	10:05:54	37.2	36.6	17	21
07.06.2019	10:10:54	37.4	33.7	17	21

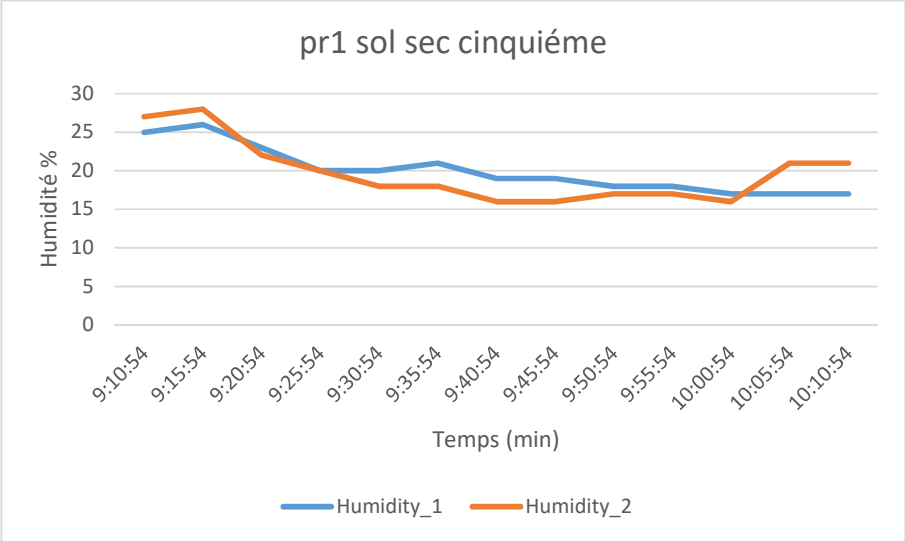


Figure 3.29 : Graphique périodique d'humidité du sol sec en cinquième jour (mesures matinales).

On remarque sur la Figure 3.29 un changement de pourcentage d'humidité au niveau des deux capteurs. On constate que :

- Le pourcentage d'humidité diminue jusqu'au point (10 :00:54 ; 17%- h1 ; 16%-h2) où il se stabilise à H1= 17% et augmente pour l'humidité 2 atteignant la valeur H2=21%.

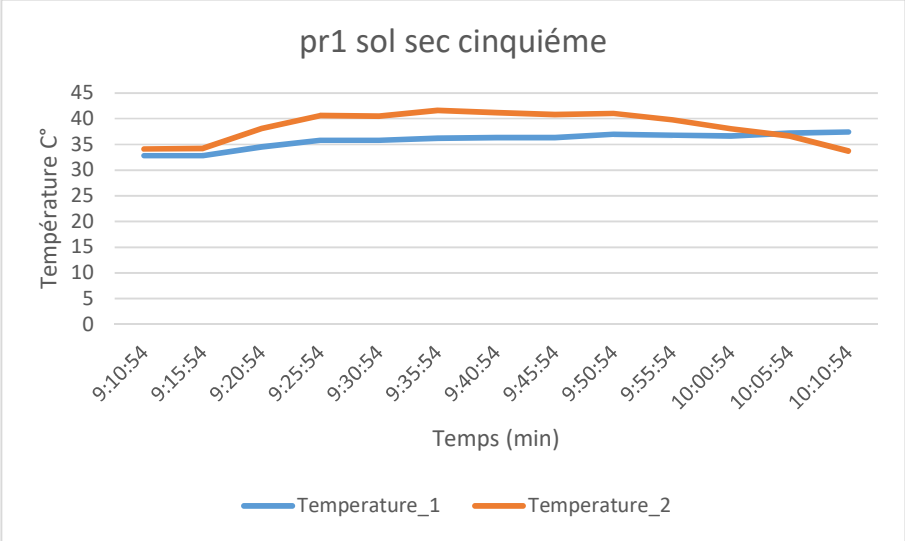


Figure 3.30 : Graphique périodique de température du sol sec en cinquième jour (mesures matinales).

On constate sur la Figure 3.30 une augmentation progressive suivie d'une diminution à partir du point (10 :05 :54) ou T1= 37.2 C° et T2= 33.7 C° (le capteur 1 est plus proche de la plante que le deuxième capteur).

- Après 60 minutes d'observation, la température atteint 37.4 C° pour T1 et 33.7 C° pour T2.

III.3.5 Cinquième jour : De 13h à 14h :

La Figure 3.31 montre le placement du Datalogger sous la plante pour but de mesurer les conditions du sol en cinquième jour l'après-midi. Les résultats numériques sont reportés sur le Tableau 3.11.

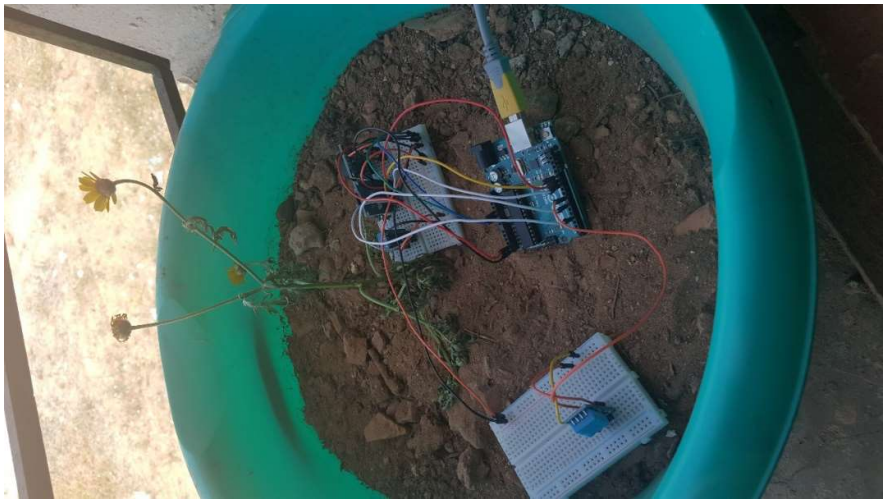


Figure 3.31: Datalogger mis en sol sec et sous la plante en après-midi du cinquième jour.

Tableau 3.11 : Mesures de la température et de l'humidité à l'après midi (sol sec, cinquième jour).

Date	Temps	Température.1	Température.2	Humidité.1	Humidité.2
07.06.2019	13:07:08	24.1	23.7	59	58
07.06.2019	13:12:08	23.9	23.6	59	57
07.06.2019	13:17:08	24	23.5	61	58
07.06.2019	13:22:08	23.9	23.3	61	59
07.06.2019	13:27:08	23.4	22.8	64	61
07.06.2019	13:32:08	23.7	23	62	59
07.06.2019	13:37:08	23.8	23.2	61	59
07.06.2019	13:42:08	22.8	22.5	65	62
07.06.2019	13:47:08	23.6	23.2	63	60
07.06.2019	13:52:08	23.2	22.7	64	61
07.06.2019	13:57:08	22.9	22.5	66	62
07.06.2019	14:02:08	23.5	23.1	65	61
07.06.2019	14:07:08	23.2	22.7	65	62

Les représentations graphiques des données enregistrées sur la mémoire sont reportées sur les Figures 3.32-3.33

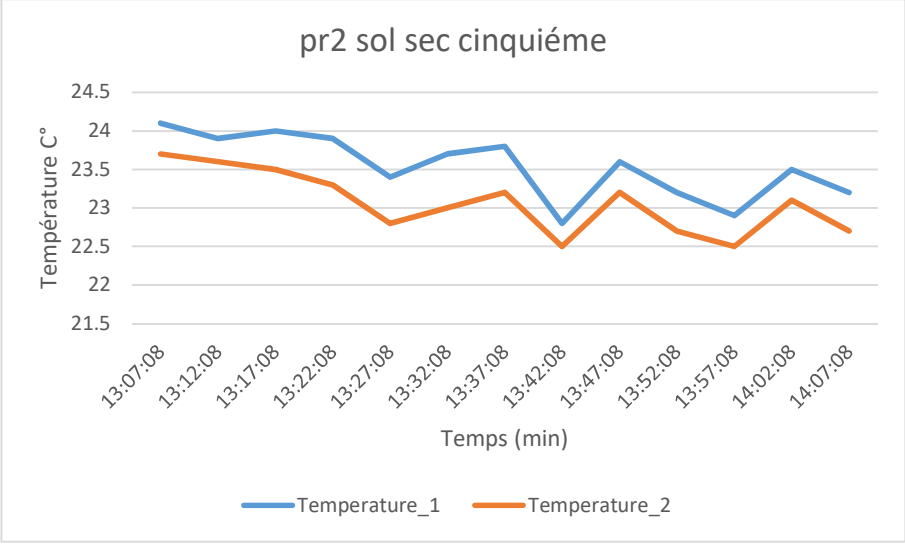


Figure 3.32 : Graphique périodique de température du sol sec en cinquième jour (mesures de l'après-midi).

On remarque sur la Figure 3.32 une diminution puis une augmentation brusque non régulière où

La température change d'un capteur à un autre mais sa progression n'est pas uniforme.

- Après 60 minutes d'observation on a une température qui atteint 23.2 C° pour T1 et 22.7 C° pour T2.

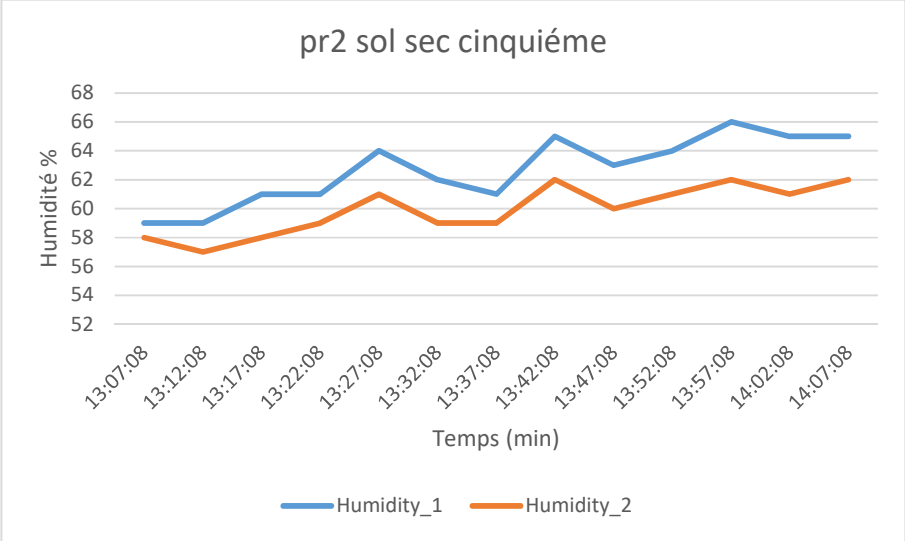


Figure 3.33 : Graphique périodique d'humidité du sol sec en cinquième jour (mesures de l'après-midi).

On remarque sur la Figure 3.33 un changement de pourcentage d'humidité au niveau des deux capteurs :

- Le pourcentage d'humidité augmente progressivement mais on remarque que cette progression n'est pas régulière car sa diminue et recommence à augmenter.
- Après 60 minutes d'observation l'humidité 1 est arrivée à 65% et l'humidité 2 atteint 62%.

III.3.6 Cinquième jour : De 16h à 17h :

La Figure 3.34 montre le placement du Datalogger sous la plante afin de mesurer les conditions du sol en cinquième jour pendant le soir. Les résultats numériques sont reportés sur le Tableau 3.12.

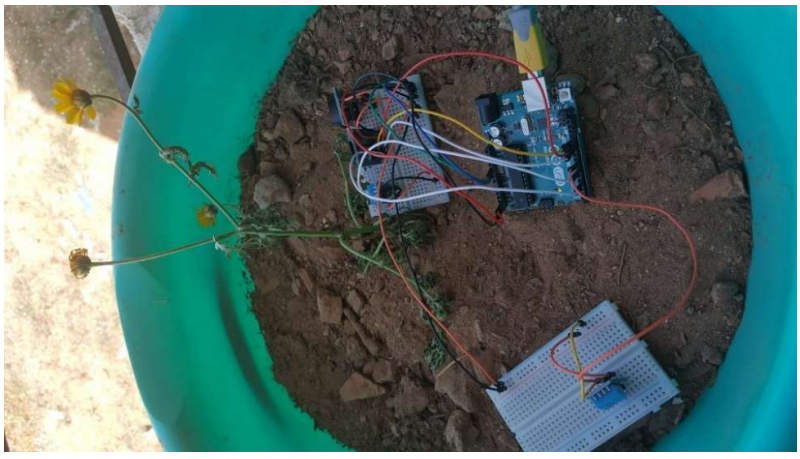


Figure 3.34: Datalogger mis en sol sec et sous la plante pendant le soir du cinquième jour.

Tableau 3.12 : Mesures de la température et de l'humidité pendant le soir (sol sec, cinquième jour).

Date	Temps	Température.1	Température.2	Humidité.1	Humidité.2
07.06.2019	15:55:53	22.5	22.1	72	67
07.06.2019	16:00:53	22.5	22.1	71	66
07.06.2019	16:05:53	22.9	22.6	68	64
07.06.2019	16:10:53	22.9	22.6	69	64
07.06.2019	16:15:53	23.3	22.9	67	63
07.06.2019	16:20:53	23.1	22.6	68	64
07.06.2019	16:25:53	22.7	22.3	70	65
07.06.2019	16:30:53	22.1	21.8	72	66
07.06.2019	16:35:53	21.8	21.5	73	67
07.06.2019	16:40:53	22.2	21.8	72	66
07.06.2019	16:45:53	22.5	22	71	66
07.06.2019	16:50:53	22.3	22	71	67
07.06.2019	16:55:53	22	21.8	73	66

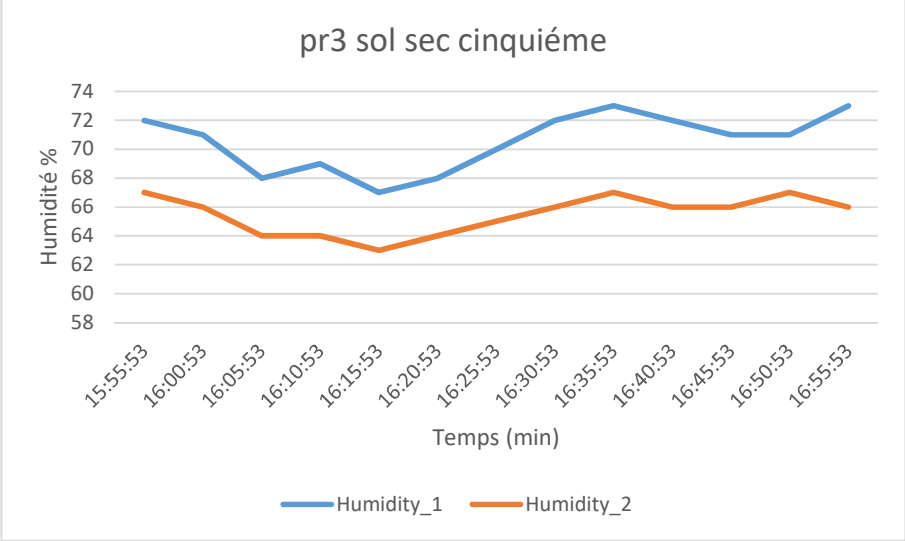


Figure 3.35 : Graphique périodique d'humidité du sol sec en cinquième jour (mesures du soir).

On remarque sur la Figure 3.35 un changement de pourcentage d'humidité au niveau des deux capteurs :

- Le pourcentage d'humidité diminue puis augmente progressivement pour chaque capteur.
- Cependant, on remarque que cette progression n'est pas régulière car elle diminue puis recommence à augmenter.

- Après 60 minutes d'observation, l'humidité 1 continue à augmenter jusqu'à 73% et l'humidité 2 commence à diminuer jusqu'à atteindre 66%.

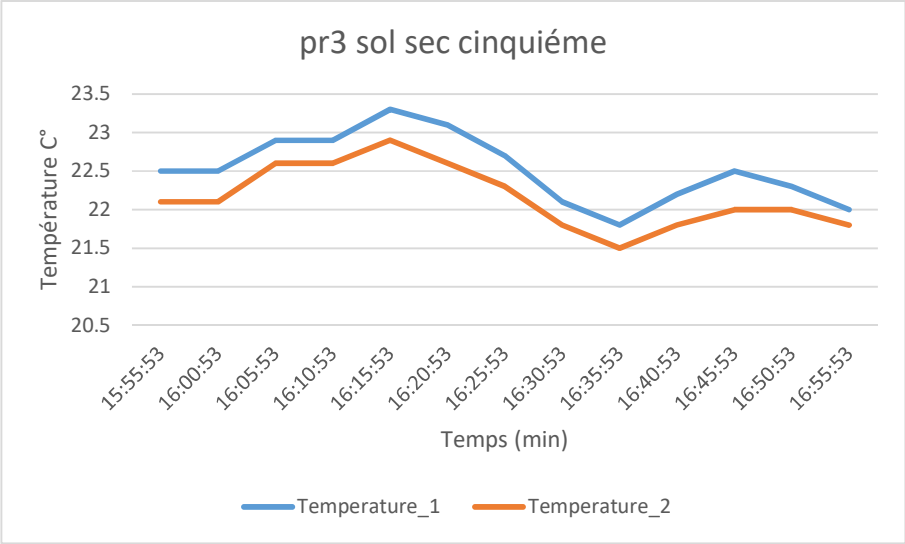


Figure 3.36 : Graphique périodique de température du sol sec en cinquième jour (mesures du soir).

On remarque sur la Figure 3.36 une augmentation puis une forte diminution de la température. Arrivée au point (16 :35 :53), la température augmente et commence à se stabiliser telle que : T1=22 C° et T2= 21.8 C°.

III.4 Interprétation des résultats, discussion et analyse

Grâce à l'enregistreur de données, l'amélioration de la précision des mesures acquises par le DHT11 était évidente malgré le vent à certains intervalles. Le DHT11 était choisi car il possède deux propriétés très intéressantes : (1) Il intègre deux capteurs (température et humidité) en un seul boitier et (2) sa bibliothèque Arduino est disponible. Cependant, une analyse plus objective et plus précise des résultats s'avère nécessaire afin d'expliquer en détail les tests effectués et les modifications constatées et mettre en évidence les facteurs influents.

Premièrement, il est important que les diagrammes aient été obtenus en effectuant une série d'essais sur la plante et le sol. Deuxièmement, l'emplacement du capteur y était défini de telle sorte de couvrir 1 m^2 du sol. Cependant, il serait possible d'aller vers une plus grande surface sous réserve d'effectuer d'autres séries de tests sur terrain.

Lors de la première expérience, nous avons observé le matin que, sur un sol sec, la température était d'environ 23 à 25 °C pendant une heure. Dans le cas d'un sol irrigué, la température était de 23 à 24 °C. Il est clair que la température dépend plus de l'air et la nature de

l'atmosphère entourant la plante que l'état du sol qu'il soit sec ou arrosé. Il en est de même pour l'humidité lors des mesures matinales.

Pendant l'après-midi, dans le cas d'un sol sec, la température était de 36 et atteindra les 42 degrés en une demi-heure. Dans le cas du sol irrigué, elle était de 36°C mais n'excédait pas 39°C. Ceci indique que le capteur a bien évalué l'état du sol. D'autre part, l'humidité à l'état sec a été réduite de 30 à 20, tandis que dans le cas d'irrigation elle diminuait de 29 à 25.

Dans la soirée, la température du sol sec variait de 24 à 25 °C avec une légère hausse au cours de la première demi-heure. La température issue du sol arrosé était de 26.5 et augmentait jusqu'à 27.5 et enfin se stabilisait à 26 °C. Concernant l'humidité, nous avons constaté une variation de son pourcentage de 35 à 40 pour le sol arrosé, tandis qu'à l'état sec ce pourcentage était 50 au pic puis diminuait à 45.

Nous constatons d'après la première expérience, que les mesures varièrent logiquement selon l'état de sol et les horaires de prise des valeurs. Ceci nous assure davantage sur la précision du capteur DHT11 utilisé.

Dans la deuxième expérience, nous avons observé la température dans la matinée du deuxième jour et nous avons remarqué son augmentation à 35°C après une demi-heure. Le premier capteur a continué d'augmenter jusqu'à 35°C tandis que le deuxième capteur a enregistré une chute estimée à 25°C. En cinquième jour, la température était de 35°C avec un léger changement. Concernant l'humidité dans le deuxième jour, elle a diminué de 60 à 35 en une demi-heure. Le deuxième capteur est passé à 53. Pendant le cinquième jour, la valeur variait de 25 à 27 puis diminuait à 20 dans les 20 premières minutes. Tente minutes après, elle fluctuait entre 16 et 17 pour le premier capteur tandis que le second capteur passait à 21.

Dans l'après-midi, le premier capteur affichait une température entre 21.5 et 22.2 °C pendant le deuxième jour. Notons qu'il n'y avait pas de changement significatif pendant cette période. Dans le cinquième jour, nous avons constaté que la température lue par les deux capteurs se situait entre 24 et 23.5 °C puis se réduisait, après une demi-heure dans l'intervalle 22.8-22.5 (°C). Ensuite, elle demeurait quasi constante. Le taux d'humidité, quant à lui, était compris entre 74 et 67.

Pendant le deuxième jour, le taux d'humidité était compris entre 74 et 67. Un léger changement s'est produit en une heure et les valeurs fluctuaient entre 76 et 70. Durant le cinquième jour, l'humidité variait entre 60 et 58 puis augmentait en une heure pour atteindre 65 et 62, respectivement.

Le soir du deuxième jour, une température dans l'intervalle [22.1,21.5](°C) était enregistrée puis, après une demi-heure, elle diminuait entre 22.1 et 21,5 °C. Cependant, après 25 minutes, la température augmentait à 23.3 °C puis elle diminuait à 21.5 °C après 20 minutes. Il est

à noter que les mesures différaient entre le premier et le second capteur. En fait, situé à proximité de la plante, le premier capteur mesure la température autour de la plante tandis que le deuxième capteur fournit des mesures à l'air libre.

Concernant l'humidité, il y avait une différence légère entre le deuxième et le cinquième jour. Durant le deuxième jour, elle était dans l'intervalle 70-67 puis augmentait jusqu'à 75-70 après 25 minutes pour qu'elle diminuait à 68-64. Au cours du cinquième jour, il était à 72-68 ensuit elle se réduisait après environ 30 minutes à 67- 63.

En résumé, nous avons constaté que les après-midis sont les périodes dont les valeurs acquises variaient le plus fortement et ceci dans tous les cas étudiés. De plus, les conditions des jours où nous avons effectué les expériences jouent aussi un rôle dans les variations de mesure.

III.5 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons explicité les différentes étapes qui nous ont permis de réaliser ce datalogger, La réalisation de notre projet et le fait d'approfondir les recherches nous a permis de découvrir un secteur que nous ne connaissions pas vraiment et d'avoir une expérience professionnelle très riche.

Conclusion Generale

Conclusion Générale

A la fin de cette recherche qui a été vivante, entraînante et motivante pour la suite de nos études :

✓ Nous avons pu mettre en évidence tous les aspects de notre projet de fin d'études consistant à réaliser un Datalogger appliqué à une maison agricole. Nous avons développé tous les aspects pratiques de cette recherche à savoir : le choix du matériel, la réalisation, la mise en test sur un terrain agricole, le relevé des mesures climatiques pertinentes et les tracés des résultats obtenus,

✓ Nous avons d'abord étudié les caractéristiques principales de l'enregistreur de données conçu à base d'Arduino, en phase d'acquisition de mesures et en phase d'enregistrement. L'avantage de ce projet est qu'il peut servir de base pour contrôler d'autres systèmes dotés de tâches et d'applications différentes selon les besoins.

Le résultat le plus pertinent de ce projet est que, à partir des mesures d'humidité et de température du sol, qu'il soit sec ou arrosé, l'agriculteur peut être informé par la situation du sol, sa qualité et par conséquent le type de plantes qui sont les plus favorables à semer selon leurs exigences climatiques comparées aux conditions présentes dans la maison agricole.

Les recommandations pour les projets futurs sont très diverses, à savoir :

- Augmentation du niveau de contrôle des pièces de la maison agricole et développement d'un système de sécurité comme par exemple l'identification des empreintes digitales des utilisateurs,
- Sous réserve de fourniture de capteurs professionnels et d'un mécanisme de surveillance efficace, le propriétaire en sera informé par tous les conditions entourant sa maison agricole et donc pourra réagir rapidement en temps réel.
- Elaboration d'une technologie de vision informatique, l'utilisation de capteurs de haute technologie, la liaison du système via Internet et le contrôle à distance des paramètres agricoles étant données les consignes de références.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] https://www.omega.fr/prodinfo/enregistreurs-de-donnees.html?fbclid=IwAR2RZXUwWIGni9jtZ1-lq9WfgLd8GAX31bXcZ1KXhNg024jvY1-k0ox4bOY

[2] https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/meteorologie-instruments-meteorologiques-appareils-utilises-meteorologie-49/page/3/

[3] https://www.sdec-france.com/mesure-humidite-volumique-des-sois-theorie.html

[4] https://www.sdec-france.com/mesure-humidite-volumique-des-sois-theorie.html

[5] https://electronics.howstuffworks.com/microcontroller1.htm

[6] https://www.arduino.cc/

[7] https://boutique.semageek.com/fr/138-dht11-capteur-de-temperature-et-humidite-digital.html

[8] https://www.carnetdumaker.net/articles/utiliser-un-capteur-de-temperature-et-dhumidite-dht11-dht22-avec-une-carte-arduino-genuino/

[9] http://gilles.thebault.free.fr/spip.php?article53

[10] https://www.dzduino.com/ds3231-at24c32-module-horloge-temps-reel-i2c-rtc?search=module%20d%27horloge%20temps%20r%C3%A9el&description=true

[11] http://www.ardwtech.com/shop/development-accessoire/48-lecteur-micro-sd-card-module.html

Annexe A

ANNEXE A

Arduino Ide

Arduino Software (IDE), il est facile d'écrire du code et de le transférer à la carte. Il fonctionne sur Windows, Mac OS X et Linux. L'environnement est écrit en Java et basé sur le traitement et d'autres logiciels. Ce logiciel peut être utilisé avec toute carte Arduino.

L'environnement de programmation officiel de la société Arduino qui prend en charge cet environnement en programmant tous les circuits électroniques produits par la société. Cet environnement est simple et répond à tous les besoins en matière de programmation et d'édition.

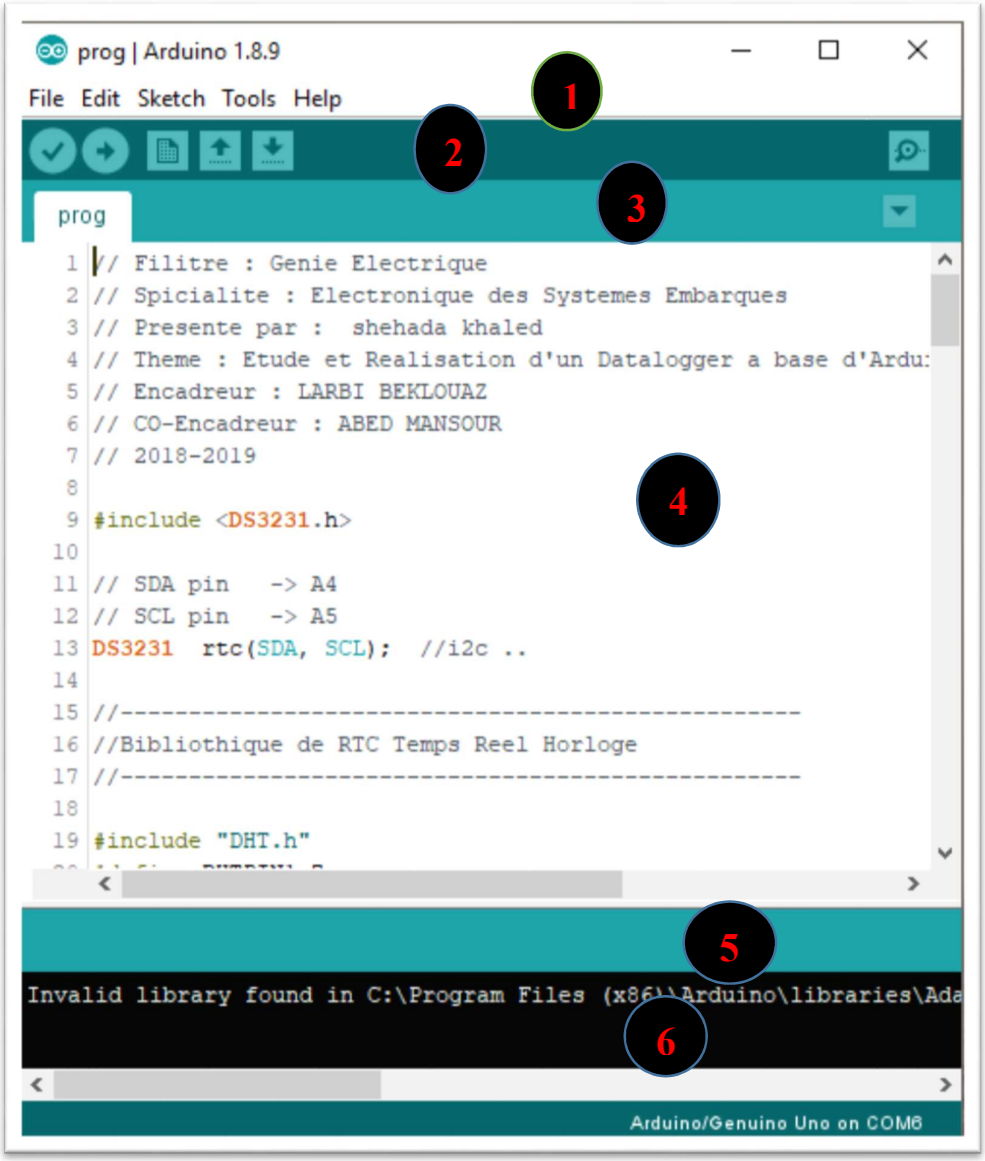
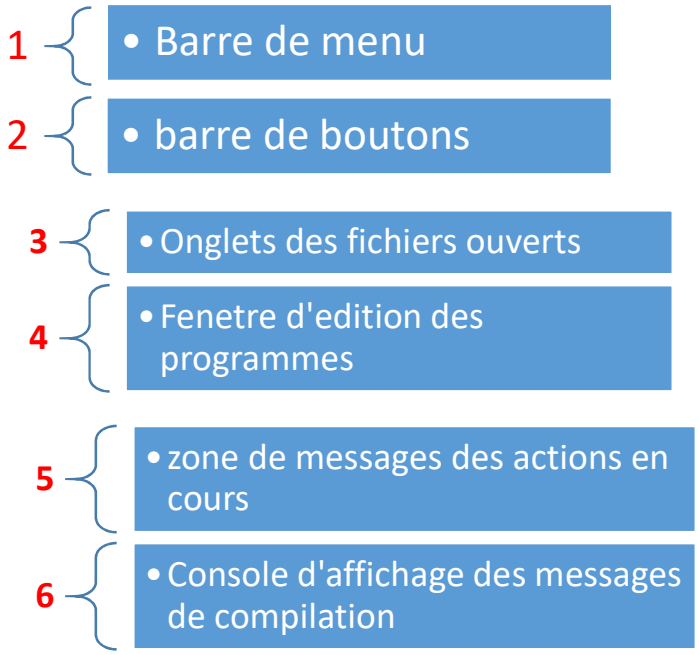


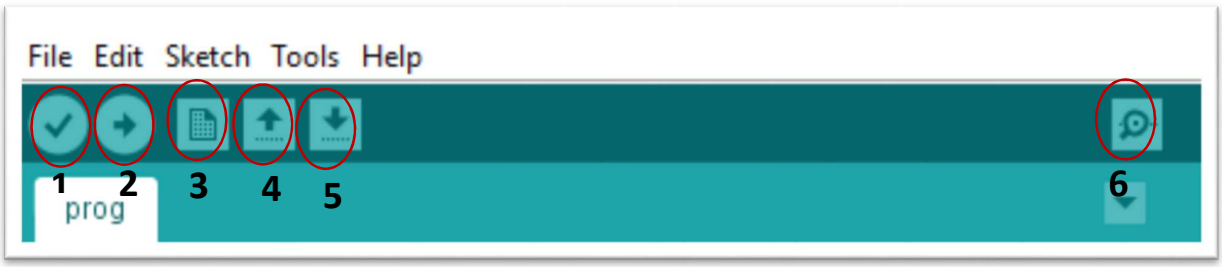
Figure A1: Interface de logiciel arduino



Le cadre numéro 2 : il contient les boutons qui vont nous servir lorsque l'on va programmer nos cartes.

Le cadre numéro 4 : ce bloc va contenir le programme que nous allons créer

Le cadre numéro 6 : celui-ci est important, car il va nous aider à corriger les fautes dans notre programme. C'est le débogueur



- Bouton 1 : Ce bouton permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans votre programme.
- Bouton 2 : Charge (téléverser) le programme dans la carte Arduino.
- Bouton 3 : Crée un nouveau fichier.
- Bouton 4: Ouvre un fichier.
- Bouton 5 : Enregistre le fichier
- Bouton 6 : Ouvre le moniteur série.

A partir de ce schéma synoptique, on peut recenser le nombre d'entrées sorties nécessaires pour ce projet et estimer également son coût comme le montre le tableau ci-dessous :

Composants	Nombre de broches occupées sur l'Arduino	Coût (en DA)
Arduino UNO	1	5000.00
Capture humidité & température DHT11	2	500.00
Module d'horloge temps réel DS3231	1	900.00
Module de carte SD	1	300.00

Annexe B

ANNEXE B

```
// Filitre : Genie Electrique
// Spicialite : Electronique des Systemes Embarques
// Presente par :  shehada khaled
// Theme : Etude et Realisation d'un Datalogger a base d'Arduino pour Enregistrement des donnes
// Encadreur : LARBI BEKLOUAZ
// CO-Encadreur : ABED MANSOUR
// 2018-2019

#include <DS3231.h>

// SDA pin   -> A4
// SCL pin   -> A5
DS3231  rtc(SDA, SCL);  //i2c ..

//--------------------------------------------------
//Bibliothique de RTC Temps Reel Horloge
//--------------------------------------------------

#include "DHT.h"
#define DHTPIN1 7
#define DHTTYPE1 DHT11

DHT dht1(DHTPIN1, DHTTYPE1);

#define DHTPIN2 8
#define DHTTYPE2 DHT11

DHT dht2(DHTPIN2, DHTTYPE2);
//**************************************************
//Bibliothique de DHT11
//**************************************************
```

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

 // MOSI - pin 11
 // MISO - pin 12
 // CLK  - pin 13
 // CS   - pin 4
File Resultat;

//++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
//Bibliothique de SD cart
//Nous creons un fichier et appeler Resultat
//++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++




void setup() {
  Serial.begin(9600);

  dht1.begin();
  dht2.begin();
  rtc.begin();
  SD.begin(4);
  //rtc.setDOW(TUESDAY);     // Set Day-of-Week to SUNDAY
  // rtc.setTime(16, 02, 30);     // Set the time to 12:00:00 (24hr format)
  // rtc.setDate(23,04, 2019);   // Set the date to January 1st, 2014


  Serial.print("Date");
  Serial.print(",");
  Serial.print("Time");
  Serial.print(",");
  Serial.print("Temperature1");
```

```
  Serial.print(",");
  Serial.println("Humidity1");


  Resultat = SD.open("DATA.txt", FILE_WRITE);
  if (!Resultat.available()) {
  Resultat.print("Date");
  Resultat.print(",");
  Resultat.print("Time");
  Resultat.print(",");
  Resultat.print("Temperature_1");
  Resultat.print(",");
  Resultat.print("Temperature_2");
  Resultat.print(",");
  Resultat.print("Humidity_1");
  Resultat.print(",");
  Resultat.println("Humidity_2");
  Resultat.close();
  }


}

void loop() {

  String d = rtc.getDateStr();
  String t = rtc.getTimeStr();

  float temp1 = dht1.readTemperature();
  float humi1 = dht1.readHumidity();

  float temp2 = dht2.readTemperature();
  float humi2 = dht2.readHumidity();
```

```
  Serial.print(d);
  Serial.print(",");
  Serial.print(t);
  Serial.print(",");
  Serial.print(temp1,4);
  Serial.print(",");
  Serial.print(temp2,4);
  Serial.print(",");
  Serial.print(humi1,4);
  Serial.print(",");
  Serial.println(humi2,4);
//


   Resultat = SD.open("DATA.txt", FILE_WRITE);
  if (Resultat) {
  Resultat.print(d);
  Resultat.print(",");
  Resultat.print(t);
  Resultat.print(",");
  Resultat.print(temp1,4);
  Resultat.print(",");
  Resultat.print(temp2,4);
  Resultat.print(",");
  Resultat.print(humi1,4);
  Resultat.print(",");
  Resultat.println(humi2,4);
  Resultat.close();
  }

/*  Resultat = SD.open("DATA.txt");
  if (Resultat) {
    while (Resultat.available()) {
      Serial.write(Resultat.read());
    }
```

```
   Resultat.close();
  }*/

  delay(300000);

//---------------------------------------
// Calculer le temps
// Le temps est calcule a l'aide de : Te(en micro seconde) = T(En minute) * 60 * 1000
// 60 : Pour convertir le temps en seconde
// 1000 : Pour convertir du seconde vers miliseconde
//---------------------------------------
}
```